Anais do VII SIMGEO

Mapeamento da Superfície Terrestre / Estado da Arte

MINICURSOS | 06 e 07 de novembro, 2018, Departamento de Eng. Cartográfica, UFPE.

SIMPÓSIO | 08 e 09 de novembro, 2018, Recife Praia Hotel.

Recife, 2018

Coordenador Geral do VII – SIMGEO
Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves

Coordenação da Comissão Científica
Prof. Dr. Cezário de Oliveira Lima Júnior (UFPE)
Profª. Drª. Maria de Lourdes de Aquino Macedo Gonçalves (UFPE)

Comissão Organizadora
Profª. Drª. Andrea Flávia Tenório Carneiro (UFPE)
Profª. Drª. Andrea de Seixas (UFPE)
Aln. Bel. Bruno Cesar Pereira Pinto (UFPE)
Prof. Dr. Carlos Alberto Pessoa Mello Galdino (UFPE)
Prof. MSc. Erison Rosa de Oliveira Barros (UFPE)
Prof. Dr. Francisco Jaime Bezerra Mendonça (UFPE)
Prof. Dr. Haroldo Antonio Marques (IME)
Prof. Dr. José Luiz Portugal (UFPE)
Profª. Drª. Karoline Paes Jamur (UFPE)
Profª. MSc. Lígia Albuquerque de Alcântara (UFPE)
Eng. Lucas Gonzales Lima Pereira Calado (Aluno de mestrado UFPE)
Profª. Drª. Lucilene Antunes Correia Marques de Sá (UFPE)
Drª. Marcia Cristina de Souza Matos Carneiro (IBGE)
Alnª. Belª. Raquel Arcoverde Vila Nova (UFPE)
Prof. Dr. Silvio Jacks dos Anjos Garnés (UFPE)
Profª. Drª. Simone Sayuri Sato (UFPE)
Aln. Bel. Yan Lukas Muliterno Lucena (UFPE)

Realização:

DECart
Departamento de
Engenharia Cartográfica

UFPE

PGCGTG Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação

Apoio:

CAPES

IBGE
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INCRA

alezi teodolini
EQUIPAMENTOS TOPOGRÁFICOS E COMÉRCIO

cpe tecnologia

Plonus
SOLUÇÕES EM ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE

UFPE

ISBN
978-85-415-1056-1

Título
Simpósio brasileiro de ciências geodésicas e tecnologias da geoinformação (7.: 2018 nov. 08-09 : Recife, PE). Anais Do VII – SIMGEO – Mapeamento Da Superfície Terrestre – Estado Da Arte

Edição
1

Ano Edição
2018

Tipo de Suporte
E-book
-EPUB

Páginas
1232

Editor(a)
Editora UFPE

Participações
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (Organizador)

SUMÁRIO:

Resumo..... 18

Abastract..... 19

Introdução..... 20

Eventos anteriores..... 21

Temas..... 21

Objetivos..... 22

Local do Evento..... 22

Comissão Científica (Avaliadores) 22

Programação Científica..... 25

Artigos..... 27

Cartografia e Sistema de Informações Geográficas..... 28

Adequação da base cartográfica vetorial da UFBA de acordo com as especificações técnicas para estruturação e aquisição de dados geoespaciais vetoriais..... 29
Andressa de S. Cardoso, Gabriela R. Almeida, Érica V. B. da Paixão e Mirele Viegas da Silva

Análise comparativa de diferentes métodos de interpolação para geração de modelos digitais do terreno..... 39
Juliane M. Komazaki, Edmur A. Pugliesi, Edilson Ferreira Flores e Paulo de Oliveira Camargo

Análise da distribuição espacial a partir de geotagging de fotografias disponíveis na rede social flirck voltadas ao turismo em Salvador-BA..... 47
Thaís Góes de Souza, Elias Nasr Naim Elias e Vivian de Oliveira Fernandes

Análise da influência da rugosidade no cálculo de produção eólica utilizando o WINDSIM..... 56
Guilherme Lira, Laiane P. de Almeida Cavalcante e Ligia Albuquerque de Alcantara

Análise da qualidade espacial de uma base cartográfica gerada a partir dos dados do programa Pernambuco tridimensional (PE 3D)..... 66
Nathalia R. S. da Purificação, Renata M. da Silva, Lucilene A. C. Marques de Sá e Silvio J. dos Anjos Garnés

Análise da vulnerabilidade ambiental no Município de São Gonçalo do Gurguéia..... 75
Grenda Juara Alves Costa e Carla Iamara de Passos Vieira

Análise espacial da taxa de mortalidade infantil em período neonatal no estado do Piauí, 2016.. 84
Abílio G. F. Neto, Carlos A. C. da Silva, Juliana G. de Sousa e Gabriela de Sousa Cruz

Análise espaço-temporal da distribuição da dengue no Município de Juazeiro da Bahia – Brasil no período de 2009 a 2010 90
Manuella L. Damasceno, Rômulo A. Silva, Lucilene A. C. Marques de Sá, Dennis M. O. Ramalho de Souza e Carlos A. Borba Schuler

Aplicação da etapa de concepção da análise orientada a objetos ao transporte público na cidade do Recife – Pernambuco 98
Thalles Ramon Pinheiro de Sousa, Lucilene Antunes Correia Marques de Sá

Aplicação de análise espacial da infraestrutura de apoio do corpo de bombeiros militar da Bahia x riscos para o folião do carnaval de Salvador 108
Maria Luiza B. da Silva e Galindo, Francisco A. da Silva, Flávio X. dos Santos e Patrícia L. Brito

Aplicação do método SCAN para a detecção de conglomerados espaciais dos óbitos por Neoplasia pulmonar no estado da Paraíba..... 118
Sandra C. C. L. de Abreu, Ronei M. de Moraes, Camila R. da Silva e Luciano Belas e Silva Filho

Aquisição manual da categoria hidrografia com base em produtos do PE 3D 127
Vanessa N. de Lima, Marcella F. de O. Melo, Ligia A. de Alcântara, Leandro L. S. de França e Joel B. dos Passos

As normas de representação de dados geoespaciais no contexto da evolução da geoinformação 137
Fernando L. Freitas, Pedro R. Martins, Linda S. Issmael e Antonio G. Guimarães Filho

Avaliação da acurácia posicional da base cartográfica do here we go em Viçosa – MG 147
Fernanda Dalvi Nunes, Ana C. Duque Rezende e Afonso de Paula dos Santos

Avaliação da dispersão e heterogeneidade de dados colaborativos do OPENSTREETMAP 154
Elias N. N. Elias, Elaine G. V. de Jesus e Vivian de O. Fernandes

Avaliação da precisão e exatidão posicional de dados fotogramétricos obtidos com a tecnologia VANT no projeto Campusmap 164
Luciene S. Delazari, Leonardo Ercolin Filho e Elizabete B. de Andrade Peixoto

Avaliação de métodos de interpolação probabilísticos aplicados à gestão hídrica de reservatórios 172
Laura C. de Andrade, Italo O. Ferreira, Felipe C. M. Santos e Júlio C. de Oliveira

Avaliação de um modelo de evolução do uso e cobertura da terra para simulação do desmatamento da Amazônia na divisa entre o Pará e o Maranhão 182
João Pedro dos Santos, Guilherme F. do Nascimento Pinto, Welisson W. E. Gomes e Diego R. Macedo

Cartografia aplicada a segurança institucional 190
Carlos F. A. da Silva, Simone Sayuri Sato, Armando L. Nascimento e Gildo J. dos Santos

Comparação de metodologias na aplicação do método buffer duplo para análise de acurácia posicional por feições lineares 196
Diego Teles da Cruz, Priscila de Lima e Silva, Iann G. R. da Fonseca e Afonso de Paula dos Santos

Controle de qualidade de redes unidirecionais topologicamente conectadas utilizando software livre 205
Philipe Borba, João P. O. S. Esperidião, Antonio G. Guimarães Filho e George H. de Oliveira Silva

Determinação da severidade de queimadas no Munícipio de Currais – PI 215
Lucas L. Vieira e Kalima M. Pitombeira

Dinâmica de uso e ocupação do solo do Bioma Amazônia 224
Camila de Lira Alves, Sabrina de O. Gomes, Vanessa N. de Lima e Ligia A. de Alcântara

Elaboração de produtos cartográficos na escala 1:10.000 para a região do cemitério da colônia japonesa do município de Álvares Machado – SP 233
Mayara C. O. Caldeira, Carlos R. T. Caldeira, Heloísa da Silva Victorino e Gabriela T. Miyoshi

Emprego de sistema de informações geográficas (SIG) no monitoramento e controle de obras 243
Leandro L. S. de França

Estudo das ferramentas livres para a disponibilização dos dados geográficos na web para o município de Camaragibe 253
Sylvia I. S. Vasconcelos e Cezario de O. Lima Junior

Ferramentas de WEBSIG aplicadas a gestão de obras e serviços 263
Iara de A. Magalhães e Patricia L. Brito

Geocodificação dos atropelamentos de pedestres na cidade do Recife: Uma espacialização através do estimador de intensidade Kernel 272
Gabriela D. da Silva Monteiro e Lucilene A. C. Marquês de Sá

Geração de base cartográfica tridimensional com uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) .. 280
Manuella A. R. Fagundes e Andrea L. Iescheck

Indicação de áreas potenciais para a criação de corredores ecológicos na APA Aldeia Beberibe, em Pernambuco, Brasil 287
Maria L. da Silva, Pricila A. da Silva e Lucilene A. C. Marques de Sá

Influência das variaveis climáticas e do saneamento ambiental na distribuição espacial dos casos de dengue 297
Siguinaldo Maia e Mara Silva

Inspeção de qualidade de bases cartográficas contínuas. Estudo de caso: Maranhão, escala 1:100.000 304
Odair G. M. Junior, Alex da Silva Santos, Tais V. Gottardo, Ana A. R. Marinho, André H. de Almeida, Ericka D. V. de Andrade; Fábio F. da Silva; Clara C. da Silva Ferreira

Linguagem de Script Python no Qgis e Arcgis para a geração do NDVI: uma comparação 314
Juarez Antônio da Silva Junior e Ana Lúcia Bezerra Candeias

Mapeamento de áreas sujeitas à inundação no município de Barreiros-PE através do método HAND utilizando os dados do Pernambuco tridimensional 320
Ederley R. Vanderlei, Juarez A. da Silva Júnior e Lígia A. de Alcântara

Mapeamento do comércio asiático nos bairros de Santo Antônio e São José na Cidade do Recife/PE 327
Wilisson G. T. da Silva e Simone S. Sato

Metodologia para produção de cartas temáticas para o exercício de simulação de combate do Comando Militar do Nordeste (CMNE) 333
Jefferson V. N. Júnior, Thiago A. Silva, Leandro L. S. de França, Ligia A. de Alcântara e Erison R. de O. Barros

Modelagem espacial da qualidade de serviços hoteleiros de Boa Viagem, Recife 342
Andersonn M. de Oliveira, Erison R. de O. Barros, Rayane C. da Fonseca e Lucas I. D. Silva

Produção de mapa INDOOR para ambiente universitário 350
Danielle M. Cazumbá e Vivian de O. Fernandes

Reajustamento da Rede Altimétrica do SGB em números geopotenciais (REALT-2018) 360
Jéssica C. dos Santos Siqueira, Maira K. Lima e Roberto T. Luz

Tipos de sorotipos confirmados da dengue circulantes no Município de Foz do Iguaçu de 2012 a 2017 370
Claudia L. G. Escobar e Mara R. Silva

Utilização do Google My Maps como ferramenta de confecção de mapa interativo e colaborativo na Universidade Federal de Pernambuco – Campus Recife 376
Bruno C. P. Pinto, Jefferson V. N. Júnior, Vinícius D'Lucas B. e Queiroz e Ligia A. de Alcântara

Verificação do código florestal atual em app de rios Perenes e Intermitentes no contexto urbano da Cidade de Curitiba 382
Carla J. Casaroti, Flávia Silveira, Gabriele S. Camara e Luís A. S. e Sousa

Vetorização de cobertura terrestre no Qgis 392
Leandro L. S. de França, Thiago A. Silva, Ana Cláudia B. de A. B. de Andrade e Lígia A. de Alcântara

Vulnerabilidade, baseada na hierarquia de envolvimento de dados naturais: Comunidade Quilombola de Lage dos Negros 401
Rômulo A. Silva, Carmem S. S. Miranda, Tatiana A. Taura e Mirelly de O. Farias

Topografia e Geodésia 411

A gestão territorial das Prefeituras Municipais e o problema das coordenadas Pseudo-UTMs na avaliação de áreas e posicionamento de imóveis 412
Catarina Maria Ribeiro dos Santos e Andréa De Seixas

A medida ADOP e os fatores que influenciam na solução das ambiguidades 422
Víctor Vinícius Silva de Moraes, Crislaine Menezes da Silva e Daniele Barroca Marra Alves

Alternativas de monumentação geodésica para controle vertical de marégrafos 432
Douglas Bueno Leipelt e Felipe Geremia Nievinski

Ampliação e modernização da RBMC 440
Sonia M. A. Costa, Guiderlan Mantovani, Flávio Scofano e Marco A. de A. Lima, Alberto L. da Silva e Newton J. de M. Júnior

Análise da consistência dos dados das referências de nível do Sistema Geodésico Brasileiro localizadas na Cidade de Itaqui no Estado do Rio Grande do Sul 451
Samuel Tarso da Silva, Aroyto P. C. de S. Bacuri, Taíse G. de Sales e Leonard N. da Silveira

Análise da estação maregráfica de Fortaleza para determinar as variações do nível do mar 461
Lucas G. L. P. Calado, Silvio J. dos A. Garnés e Karoline Paes Jamur

Análise da relação entre índices e parâmetros ionosféricos provenientes de diferentes fontes 471
Ana Lucia C. de Souza, Gabriel Oliveira Jerez, Paulo de O. Camargo e Daniele B. M. Alves

Análise da série temporal do nível do mar de Fortaleza por meio de ondaletas: Resultados Preliminares 482
Rafael Martins de Carvalho Araújo e Wagner Carrupt Machado

Análise dos efeitos dos diferentes tipos de efemérides e influência das marés terrestres no GAPS PPP 490
Raiane Rintielle Vaz Menezes e William Rodrigo dal Poz

As interações entre cintilação ionosférica, multicaminho e perdas de ciclo: Estudo de caso 499
Caio Henrique Chrisóstomo Mendonça, Daniele Barroca Marra Alves e Vilma Mayumi Tachibana

Avaliação da interpolação TIN linear de diferentes malhas para a anomalia de altitude do modelo EIGEN-6C4 para o estado de Pernambuco 509
Givaldo Cesar da Paixão Junior e Karoline Paes Jamur

Avaliação do posicionamento efetuado com receptores de navegação de baixo custo 516
Jorge Felipe Euriques, Claudia Pereira Krueger e Janiny Zanda Soares da Silva

Avaliação do uso combinado GPS/GLONASS no Posicionamento por Ponto considerando diferentes características ionosféricas 526
Viviane A. dos Santos, Bruno P. da Silva, Gabriel Oliveira Jerez e Daniele B. M. Alves

Avaliação preliminar da acurácia absoluta da refletometria GNSS na medição do nível da água 535
Manuella Anaís Rodrigues Fagundes e Felipe G. Nievinski

Calibração dos gravímetros L&R E CG- 5 na Rede Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas – RENEGA 543
Mariana E. B. Inoue, Gabriel do N. Guimarães e Ana Cristina C. de O.Matos e Denizar Blitzkow

Comportamento do VTEC em alta atividade solar nos Ciclos 23 E 24 550
Julierme Wagner Da Penha e Diógenes Cortijo Costa

Controle vertical de marégrafo em Tramandaí (RS) - Rede Altimétrica local para apoio ao monitoramento do nível do mar 560
Maurício Kenji Yamawaki e Felipe Geremia Nievinski

Espacialização dos valores de PDOP para região brasileira: Comparação entre single e multi GNSS 570
Loram Siqueira, João Francisco Galera Monico, Gabriel Oliveira Jerez e Fabiano Peixoto Freiman

Estimativa do desvio-padrão do gradiente ionosférico vertical para o Aeroporto Internacional de Recife/PE 580
Vinícius Amadeu Stuani Pereira, João Francisco Galera Monico e Paulo de Oliveira Camargo

Estudo comparativo de altitudes normais em rede de nivelamento 590
Alysson R. G. Sena, Caique de F. Almeida, Raul C. F. Rodrigues e Wendson de Oliveira Souza

Estudos planimétricos por topografia convencional e ajustamento de observações em poligonal Fechada 600
Bruno Lima Barros, Ageu Morais ee Oliveira Gomes e Wendson de Oliveira Souza

Evaluation of the ultra-high resolution Global Geopotential Model SGG-UGM-1 in the Brazilian Southern region 609
Eurico Nicacio, Regiane Dalazoana e Silvio Rogério Correia de Freitas

Geodésa aplicada para o estudo de verticalidade em torres eólicas onshore 619
Luiz Filipe Campos Do Canto e Andréa de Seixas

Identificação e caracterização de ruídos do efeito ionosférico de primeira ordem em sinais GPS 629
Leonardo José Lopes e Heloísa Alves Silva Marques

Infraestrutura geodésica/topográfica para levantamento e locação de obras: Método da poligonação com centragem forçada e método GNSS/RTK 638
Marcella F. de O. Melo, Sabrina de O. Gomes, Vanessa N. de Lima e Andréa De Seixas

Levantamento as built a partir de irradiações topográficas obtidas por estação total 648
Arthur Duarte Vieira, Emilly C. R. Santos, Luane A. Lima e Pâmela Inês De Souza Castro

Mapas ionosféricos para o território brasileiro utilizando krigagem ordinária 656
Gabriel O. Jerez, Edmur A. Pugliesi, Edilson F. Flores e Daniele B. M. Alves

Metodologia para obtenção de coordenadas planimétricas com precisão milimétrica: triangulateração e processamento pelo método dos mínimos quadrados 665
Francisco J. B. Mendonça, André Victor S. Menezes e Rafael Lopes Mendonça

Metodologia para verificação e classificação de nível digital conforme a ISO17123 – 2 675
Ermerson de V. Silva, Welisson José dos Santos, Priscilla H. O. do N. Pestana e Andrea De Seixas

Métodos de medição topográficos e geodésicos aplicados ao estudo de terrenos inclinados susceptíveis a áreas de risco 685
Welisson José dos Santos, Andrea de Seixas, Marcio B. da Silva e Marcella F. de O. Melo

Monitoramento da atividade ionosférica utilizando índices de multicaminho 695
Gabriel Oliveira Jerez e Daniele Barroca Marra Alves

O conceito e a dedução das equações da distância horizontal e da diferença de nível das estações Totais 704
Silvio Jacks dos Anjos Garnés

Perspectivas do programa GLONASS no Brasil 713
Jaime Freiberger Junior e Adriele dos Santos Carvalho

Padrões de referência para o nivelamento geométrico utilizando o modelo de ajustamento Combinado 720
Ermerson de Vasconcelos Silva, Luciene Ferreira Gama e Andrea de Seixas

Procedimentos simples de verificações de erros em estações totais 731
Daniel Carneiro da Silva, Leonardo Carlos Barbosa e Welisson José dos Santos

Rede Geodésica de Referência Costeira (RGRC) como insumo para integração de altitudes e profundidades: resultados preliminares 742
Salomão Soares, Everton Gomes dos Santos e Roberto Teixeira Luz

Resolução de ambiguidades no PPP com o método de recuperação do relógio presente no RTKLIB: análises preliminares para o território brasileiro 752
Lais Thuany Cardoso Theodoro e Tiago Lima Rodrigues

Upper air sounding download: Um aplicativo para download de dados de radiossonda..... 762
Lucas G. L. P. Calado e Absalão Aranha Nascimento

Sensoriamento Remoto e Fotogrametria 769

Análise da cobertura vegetal por meio da subtração de imagem NDVI do município de Uruçuí, PI 770
Antônio J. de Sena Junior, Gabriela de S. Cruz e Abílio G. F. Neto

Análise espacial do índice de vegetação por diferença normalizada no município de Ibimirim – Pernambuco 780
André V. S. Menezes, Leidjane M. M. de Oliveira, Bruno e Silva Ursulino, Jéssica F. de Lima e Álvaro A. das Montanhas Farias

Análise espaço-temporal da cobertura vegetal do município de Arcoverde no período de 2009 – 2010 786
Manuella L. Damasceno, João A. dos Santos Pereira, Carlos A. B. Schuler

Análise multifonte das texturas presentes na região do reservatório – PE..... 797
Givaldo C. da Paixão Junior e João R. Tavares Junior

Análise multitemporal do comportamento urbano nas microrregiões UR-06 e UR-11 (Jaboatão dos Guararapes / PE) através de técnicas de fotogrametria 803
Amaury G. Pessoa Neto e Ioná M. B. Rameh Barbosa

Análise multitemporal do processo de expansão urbana do município de Teresina, Piauí, no período de 1998 e 2009 811
Álvaro A. das Montanhas Farias, Lucilene A. C. Marques de Sá, Deniezio dos Santos Gomes e Aline N. Silva

Análise multitemporal e biofísica utilizando o sensor THEMATIC MAPER no município de Araripina – PE 820
Jéssica F. de Lima e Leidjane M. M. de Oliveira

Análise temporal do uso e cobertura do solo no Bioma Caatinga em Pernambuco utilizando o MAPBIOMAS 827
Sabrina de O. Gomes, Rafael R. da Silva, Ana Lúcia B. Candeias e Rômulo S. C. Menezes

Análise temporal do uso e ocupação da terra no complexo estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba: 1987 e 2017 836
Ayrton M. O. Dias Melo, Grenda J. A. Costa e Silvio J. dos Anjos Garnés

Análises do NDVI e GRVI no estudo da bacia hidrográfica do rio Ipanema-Pernambuco 842
Rayane C. da Fonseca, João R. Tavares Junior e Jéssica A. Farias

Aplicação de redes neurais artificiais na classificação de imagens orbitais em um glacial andino 850
Lourdes M.M. Villavicencio, Felipe F. Monteiro, David Mendes e Lara de M. Barbosa

Classificação supervisionada por NDVI para detecção de diferentes alvos de superfície no entorno do reservatório de Itaparica – PE 856
Ulisses A. Bezerra, Leidjane M. M. de Oliveira, Antônio C. de S. Leite e Luisa T. M. de Souza Silva

Comparação de índices físicos para o monitoramento do volume de água em reservatórios 865
Evely F. do Nascimento, Laízy de S. Azevedo e Ana L. B. Candeias

Comparação dos índices físicos, NDVI e SAVI, em imagens de diferentes sensores 873
Jessica A. L. Farias, Rayane C. Fonseca e João R. Tavares Júnior

Complexidade urbana e o seu mapeamento: um desafio que requer a integração de informações espaciais, espectrais e altimétricas 882
Maria L. da Silva, Ana Lúcia B. Candeias, Aurélio L. de M. e Silva Junior e Andréa F. T. Carneiro

Correlação entre rendimento de soja e dados de estiagem utilizando imagens EVI/MODIS na região central do Rio Grande do Sul – BR 890
Pâmela A. Pithan, Manoel de A. S. Júnior, Elódio Sebem e Riene F. de Oliveira

Custo-Benefício entre levantamentos realizados para áreas pequenas com varredura a laser terrestre, fotogrametria com MICRO-VANT e topografia convencional 896
Mario L. L. Reiss, Rodrigo da S. Ferraz, Mauricio K. Yamawaki e Alexandre de M. Amory

Dados de NDVI na análise de área urbana no município de Caruaru – PE 906
Evely F. do Nascimento, Leidjane M. M. de Oliveira, Ulisses A. Bezerra e Débora N. O. de Almeida

Detecção de bordas de corpos hidricos e áreas úmidas a partir de imagens ALOS-2/PALSAR-2: Ilha de Itamaracá 914
Jose G. V. Santos e Ana Lucia B. Candeias

Dinâmica de paisagem urbanizada utilizando o NDVI em Teresina – PI 921
Antonio C. de S. Leite, Leidjane M. M. de Oliveira, Ulisses A. Bezerra e Debora N. O. de Almeida

Discriminação da cobertura vegetal utilizando índices derivados do SENTINEL 2a – MSI 929
Tales C. Abrantes, Riene F. de Oliveira e Pâmela A. Pithan

Emprego do sensoriamento remoto ótico para estimativa do assoreamento de reservatórios de Água 936
Felipe C. M. Santos, Italo O. Ferreira, Letícia C. Anastácio e Julio C. de Oliveira

Espacialização do índice NDWI por meio de imagens multi-espectrais no município de Afogados da Ingazeira – PE 945
Débora N. O. de Almeida, Leidjane M. M. de Oliveira, Ana L. B. Candeias e Antônio C. de S. Leite

Estimativa de clorofila da cultura cafeeira a partir de imagens SENTINEL 2 954
Laura C. M. Xavier, Carlos A. M. de Abreu Júnior, George D. Martins e Cinara X. de Almeida

Estudo da influência da precipitação na aplicação de índices físicos através de imagens orbitais no Município de Recife, Pernambuco 962
Taynã M. P. Lins e Ana Lúcia B. Candeias

Evolução espaço-temporal da cobertura vegetal do município de Correntes – PE 972
Ubiratan J. da S. Junior, Leidjane M. M. de Oliveira e Rayane C. da Fonceca

Fotografias de pequeno formato na reconstrução 3D precisa de monumentos 982
Carlos A. B. Schuler, Aline N. Silva, Rhassano C. Patriota, Rodrigo K. O. do Nascimento e Eleonora Weber

Fotogrametria subaquática e aplicabilidade no manuseio patrimonial submerso de Pernambuco 990
Mariana S. Suica Torres e Carlos A. B. Schuler

Funções de variação das distorções das imagens digitais com a variação da distância focal em pixel e mm 1000
Daniel C. da Silva e Ronycleisson V. de Andrade

Geoprocessamento aplicado à importância da análise das mudanças na cobertura vegetal da floresta nacional de Palmares, município de Altos – PI 1009
Mariana R. O. dos Santos e Grenda J. A. Costa

Geotecnologias aplicadas ao mapeamento e interpolação de apetrechos de pesca no norte da ilha de Tinharé-Baixo sul da Bahia 1015
Ivonice S. de Souza, Ana Paula S. de Souza, George Olavo e Joselisa M. Chaves

Geração de modelos 3D aproximados de telhados a partir de dados de varredura a LASER 1022
Michelle S. Y. Ywata e Aluir P. Dal Poz

Identificação do uso do solo por índices de vegetação no sul da bacia hidrográfica do Rio Pajeú 1029
José G. da Silva, Leidjane M. M. de Oliveira e Marília M. V. da Silveira

Mapeamento do cafeeiro na região do município de São Sebastião do Paraíso – MG 1038
Tales C. Abrantes, Pâmela A. Pithan, Riene F. de Oliveira e Margarete M. L. Volpato

Mapeamento fotogramétrico com uso de VANT para a avaliação de áreas de risco geológico na cidade de Blumenau-SC..... 1045
Mário L. L. Reiss, Tatiana S. G. Mendes, Márcio R. M. de Andrade e Rodolfo M. Mendes

Processamento e avaliação de ortomosaicos de fotografias de pequeno formato utilizando o AGISOFT PHOTOSCAN 1054
Renata M. da Silva, Nathalia R. S. da Purificação e Daniel C. da Silva

Reconstrução 3D de monumentos históricos a partir de imagens obtidas por RPAs 1063
Alex S. Medina, Leonardo E. Filho, Elizabete B. de A. Peixoto e Andrea Tedesco

Remoção dos efeitos da coluna d'água e classificação de imagens OLI/LANDSAT - 8 para o mapeamento da vegetação aquática submersa no reservatório de Nova Avanhandava 1070
Luiz H. da Silva Rotta, Fernanda S. Y. Watanabe, Nilton N. Imai e Enner Alcântara

Sensoriamento remoto para mapeamento da superfície terrestre: Ferramenta WEB no processo de segmentação de imagens 1077
Ricardo Freddo, Rogério R. de Vargas, Natália C. de Amorim e Alexandre B. Lopes

Uso da segmentação por crescimento de regiões na classificação de BHATTACHARYA de imagem LANDSAT 8 para mapeamento de cana de açúcar 1085

Utilização de drone como suporte à análise de estabilidade de taludes rodoviários 1093
Camilla M. T. Pinto, Mario S. de S. Almeida e Joanito de A. Oliveira

Utilização de RPA em aerolevantamentos - legislação e procedimentos 1100
Danielle M. Cazumbá, Regina C. Brito e Mirele V. da Silva

Cadastro e Gestão Territorial 1108

A componente vertical no cadastro 3D e o SINTER 1109
Adolfo L. de Araújo, Flavio Boscatto e Rovanemarcos de França

A gestão de terras privadas no brasil: das sesmarias ao SINTER 1118
Daniel de Aguiar Maia Gomes

Análise das especificações técnicas de estruturação de dados geoespaciais para o mapeamento Cadastral 1124
Alberto P. J. Neto, Leandro L. S. de França e Andrea F. T. Carneiro

Análise espacial das outorgadas e sua relação com as áreas irrigadas por pivôs centrais no município de Correntina/BA 1135
Daniel J. de M. Munhoz, Lídia Campos e Cristiano A. Borges

Aplicação do PTL segundo a NBR - 14166 para municípios com extensão territorial predominantemente leste–oeste: caso do município de Maçambará–RS 1145
Aroyto P. de S. C. Bacuri, Leonard N. da Silveira, Samuel T. da Silva e Robert M. da Silva

Direito real de laje no cadastro territorial multifinalitário 1153
Carla B. da Silva, Andrea F. T. Carneiro, Silvio J. dos Anjos Garnés e Igor J. C. de Albuquerque

Estudo da aplicabilidade do sistema de informação geográfica no cadastro técnico imobiliário do município Maceió, AL 1163
Monaira C. A. da Costa, Fernando A. Albuquerque, Karina M. T. de Magalhães e Luanne de A. Brandão

Fragilidades do sigef e da 3ª edição da ntgir: lições de cadastro para o SINTER 1172
Adolfo L. de Araújo, Flavio Boscatto, Guilherme Braghirolli e Rovanemarcos de França

Integração de bases cadastrais urbanas visando sua adequação à ISO 19.152 – LADM 1181
Nathalia R. S. da Purificação, Andrea F. T. Carneiro, Gabriel L. Melo e Cezário de O. L. Júnior

Macrozoneamento da cidade de Parauapebas: Uma proposta para a revisão do plano diretor Municipal 1189
Josevando de S. Silva e Tabila V. Leite

Mapeamento comparativo da vegetação nativa do município de Paracatu-MG extraída por imagens do satélite SENTINEL e as áreas cadastradas no CAR 1195
Thaís S. Ramos, Izabela S. de Oliveira, Inglith de S. L. Alves e Gabriel da S. Gouveia

Reflexões sobre o sistema de cadastro territorial brasileiro - realidade e necessidades 1202
Suzana D. R. S. e Silva e Artur C. Brandão

Regularização fundiária do assentamento núcleo urbano Novo Tapajós – Igarassu – PE 1213
Silvio Já. dos Anjos Garnés, Maria de L. de A. M. Gonçalves, Ronaldo A. C. Pessoa e Fabiano R. Diniz e Igor J. C. de Albuquerque

Uso de RPAs para definição de parcelas provisórias do cadastro territorial 1223
Rovane M. de França, Flavio Boscatto e Adolfo L. de Araújo

UFPE

Anais do VII – SIMGEO – Mapeamento da Superfície Terrestre – Estado da Arte

Resumo

O Departamento de Engenharia Cartográfica (DECart) da UFPE através do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação tem realizado o Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (SIMGEO), em Recife-PE, com início em 2004. Em 2018 o evento conta com sua sétima edição, nos dias 8 e 9 de novembro, 2018 no Recife Praia Hotel e com minicursos nos dias 6 e 7 de novembro no DECart, UFPE. No seu programa contou com a vinda de palestrantes das mais diversas instituições nacionais, por exemplo UNESP, USP, UFPR, UFBA , UFU, UFRGS, INCRA, IBGE, além de pesquisadores internacionais da Suíça e China (*Hohai University*), entre outros. Como tema foi escolhido o "Mapeamento da Superfície Terrestre – Estado da Arte" que abrange todas as áreas das Ciências Geodésicas e Cartográficas. O mapeamento da superfície terrestre pode ser feito de várias maneiras (Fotogrametria, Sensoriamento Remoto, Geodésia), e sempre vem evoluindo, por isso no final foi adicionado "estado da arte" referindo ao "nível mais alto de desenvolvimento, de uma técnica ou de uma área científica". O evento contou com a submissão de artigos completos que foram avaliados por uma comissão científica que ao todo selecionaram 141 trabalhos para publicação nestes anais.

Palavras chaves: Geodésia, Fotogrametria, Cartografia, SIG (Sistema de Informações Geográficas), Mapeamento.

VII SIMGEO - "Terrestrial Surface Mapping - State of Art"

Abstract

The Department of Cartographic Engineering (DECart) of UFPE through the Post-Graduation Program in Geodetic Sciences and Geoinformation Technologies has held the Brazilian Symposium of Geodetic Sciences and Geoinformation Technologies (SIMGEO), in Recife PE, since 2004. In 2018 the event has its seventh edition, on November 8 and 9, 2018 at Recife Praia Hotel and with mini courses on 6 and 7 November at DECart, UFPE. Speakers attended the symposium program, from several national institutions, such as UNESP, USP, UFPR, UFBA, UFU, UFRGS, IBGE, INCRA and other international researchers from Switzerland and China (Hohai University). As a theme, the "Terrestrial Surface Mapping - State of Art", covering all areas between Geodetic and Cartographic Sciences was chosen. The Earth's surface mapping can be done in several ways (Photogrammetry, Remote Sensing, Geodesy), and it has been always under evolution, so it was added "state of the art" referring to "the highest level of development, a technique or a scientific area". The event had the submission of complete articles reviewed by a scientific committee that altogether selected 138 papers for publication in these annals.

Keywords: Geodesy, Photogrammetry, Cartography, GIS (Geographic Information System), Mapping.

UFPE

Introdução

O Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) promoveu o VII SIMGEO (Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação com o tema "**Mapeamento da Superfície Terrestre – Estado da Arte**". Este tema abrange todas as áreas das Ciências Geodésicas e Cartográficas, onde o mapeamento da superfície terrestre pode ser feito de várias maneiras (Fotogrametria, Sensoriamento Remoto, Geodésia), e sempre vem evoluindo, por isso no final foi destacado o "estado da arte" se referindo ao "nível mais alto de desenvolvimento, de uma técnica ou de uma área científica". Já quando tratamos do tema mapeamento da superfície terrestre para esse evento estamos nos referindo as diferentes escalas, por exemplo, de forma *global* ou *local*, onde a escala se refere às aplicações e ao seu contexto como aumento do nível dos mares, deslocamento de placas tectônicas, uso do solo, legislações específicas, SIG, Cartografia, sistemas geodésicos de referência globais e locais e suas tendências atuais, entre vários outros exemplos.

O evento foi realizado nos auditórios do Recife Praia Hotel nos dias 8 e 9 de Novembro de 2018 e contou com minicuros nos dias 06 e 07. A organização do evento tem o suporte e apoio do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da UFPE visando criar sinergias em temas científicos e acadêmicos relacionados ao mapeamento da Superfície Terrestre. O site do evento na internet pode ser acessado através do endereço https://www.ufpe.br/decart/.

Para esta edição contamos com uma programação contendo o formato de mesas redondas, onde os palestrantes convidados, expõe suas apresentações e no final gera um debate sobre o assunto. Também recebemos o apoio da CAPES através do projeto PAEP nº 88881.194156/2018-1 . O evento completo pode ser visto no programa preliminar e ainda prevê a apresentação de várias palestras trazendo pesquisadores de várias instituições como UNESP, USP, UFPR, UFBA, UFU, IBGE, INCRA, entre outros.

No SIMGEO temos a tradição de publicar nos anais trabalhos completos (até 9 páginas), o que é uma grande oportunidade para divulgar pesquisas de alunos de pós-graduação no Brasil e iniciação científica, os artigos submetidos são revisados por pesquisadores convidados para a comissão científica além daqueles que participam do evento. A seguir são apresentados os eventos anteriores, temas, objetivos, local do evento, programação e por fim os artigos aceitos.

UFPE

Eventos anteriores

Os eventos anteriores foram:

- I SIMGEO - Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 1 a 3 de setembro de 2004.
- II-SIMGEO - As Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação no contexto de Estudos e Aplicações em Geociências, Engenharias e Meio Ambiente, 8 a 11 de setembro de 2008.
- III SIMGEO - A Informação Geoespacial: Inovação Tecnológica, Ocupação e Monitoramento, 27 a 30 de julho de 2010.
- IV SIMGEO - Geotecnologias para o Planejamento e a Gestão Eficiente do Território, 06 a 09 de maio de 2012.
- V SIMGEO - Integração e Acesso aos Dados Geoespaciais, 12 a 14 de novembro de 2014.
- VI SIMGEO - Workshop Internacional de Mapeamento de Feições Naturais e Artificiais com aplicação de Drones, 24 e 25 de agosto de 2016.

Temas

Os principais temas apresentados e discutidos no VII-SIMGEO são:

- Metodologia de cálculo para o estabelecimento da IHRF (*International Height Reference Frame)* no Brasil
- Vinculação entre os níveis de referência altimétricos e batimétricos
- A Gravimetria no contexto do *International Height Reference Frame*
- A Contribuição da Pós-Graduação em Ciências Geodésicas na Formação de Recursos Humanos: Contextualização, Dificuldades e Perspectivas Futuras
- Pesquisas em Ciências Geodésicas frente aos critérios de avaliação da CAPES/CNPq: Atualidades, Desafios e Perspectivas.
- Pesquisas em Ciências Cartográficas: a situação brasileira no âmbito nacional e Internacional
- Realidade dos programas de pós-graduação em ciências geodésicas e cartográficas em face ao processo de avaliação da CAPES
- Desafios e perspectivas para o desenvolvimento de pesquisa e formação de recursos humanos nos programas de pós-graduação no Brasil
- Integração do ensino com outras áreas ou tecnologias livres para ensino e treinamento ou ainda acesso a dados estruturados

- O Cadastro Territorial Urbano e a Implementação do SINTER (Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais)", estado atual da implementação do SINTER, "o Brasil precisa de um órgão cadastral?", "Normas técnicas para levantamento cadastral urbano
- Encontro dos coordenadores de cursos de Engenharia de Agrimensura e Cartografia (UFPE, UFV, Unipampa, UERJ, entre outros.)
- Regularização fundiária no âmbito da Rurb-S e Reurb-E, Lei Federal 13,465/2017 e Decreto 9.310/2018
- Entre outros temas relacionados com Geodésia, Sensoriamento Remoto, Sistema de Informações Geográficas e Cartografia.

Objetivos

São objetivos do VII SIMGEO:

- Proporcionar o intercâmbio técnico-científico na área de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação entre as diferentes instituições de pesquisa e ensino do Brasil, visando contribuir para a solução de problemas geoespaciais que afetam o desenvolvimento nacional;
- Divulgar o desenvolvimento de projetos de investigação científica na área das Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação na Região Nordeste;
- Enriquecer a formação acadêmica de alunos de graduação e pós-graduação na área das Ciências Geodésicas e Cartográficas no âmbito nacional;
- Criar condições para o surgimento e consolidação de projetos de cooperação internacional na área das Ciências Geodésicas e Cartográficas no Brasil;

Local do Evento

O evento foi realizado durante os dias 08 e 09 no Recife Praia Hotel, na cidade de Recife, Pernambuco, Brasil. Com quatro minicursos apresentados nos dias 06 e 07 no DECart, na UFPE.

Comissão Científica (Avaliadores)

Aluir Porfirio Dal Poz	UNESP
Alzir Felippe Buffara Antunes	UFPR
Amilton Amorim	UNESP

UFPE

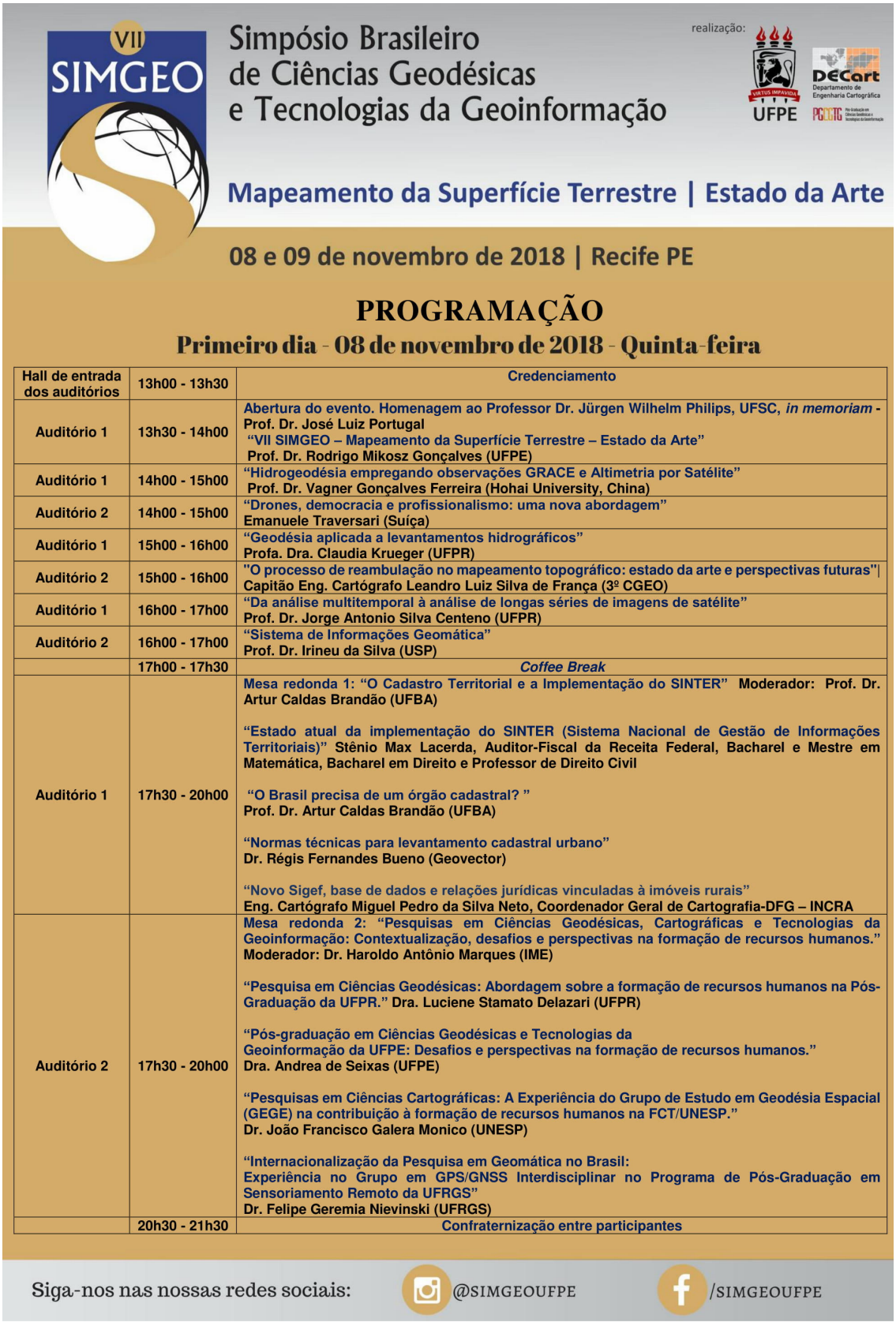
Ana Cristina O. C. de Matos	IPGH
Ana Lúcia Bezerra Candeias	UFPE
André Luiz Alencar de Mendonça	UFAM
Andréa de Seixas	UFPE
Andréa Flávia Tenório Carneiro	UFPE
Andréa Lopes Iescheck	UFRGS
Antonio Maria Garcia Tommaselli	UNESP
Artur Caldas Brandão	UFBA
Carlos Alberto P. de Mello Galdino	UFPE
Cezário de Oliveira Lima Júnior	UFPE
Claudia Pereira Krueger	UFPR
Cláudia Robbi Sluter	UFRGS
Daniel Carneiro da Silva	UFPE
Diuliana Leandro	UFPel
Edson Aparecido Mitishita	UFPR
Elmo Leonardo Xavier Tanajura	UFBA
Erison Rosa de Oliveira Barros	UFPE
Erivaldo Antonio da Silva	UNESP
Felipe Geremia Nievinski	UFRGS
Francisco Jaime B. Mendonça	UFPE
Gabriel do N. Guimarães	UFU
Gabriel Oscar Cremona Parma	UNISUL
Gilberto Pessanha Ribeiro	UNIFESP
Haroldo Antonio Marques	IME
Hideo Araki	UFPR
Irineu da Silva	USP
Jaime Freiberger Junior	UFSM
João Francisco Galera Monico	UNESP
João Rodrigues Tavares Junior	UFPE
Jorge Antonio Silva Centeno	UFPR
José Luiz Portugal	UFPE
Karoline Paes Jamur	UFPE
Leonardo Castro De Oliveira	IME
Ligia Albuquerque de Alcantara	UFPE
Linda Soraya Issmael	DSG
Luciene Stamato Delazari	UFPR
Lucilene Antunes C. M. De Sá	UFPE
Luis Augusto Koenig Veiga	UFPR
Marcelo Tomio Matsuoka	UFU
Marcia Cristina de S. M. Carneiro	IBGE
Márcio Augusto Reolon Schmidt	UFU
Marcos Aurélio Basso	UFRRJ
Maria Aparecida Z. Zanetti	UFPR
Maria Cecília Bonato Brandalize	UFPR
Maria de Lourdes Aquino M. Gonçalves	UFPE

UFPE

Mário Luiz Lopes Reiss	UFRGS
Mauricio Galo	UNESP
Mauro José Alixandrini Junior	UFBA
Niel Teixeira do Nascimento	UESC
Patricia Lustosa Brito	UFBA
Regiane Dalazoana	UFPR
Roberto Teixeira Luz	IBGE/UERJ
Ronaldo Dos Santos Da Rocha	UFRGS
Sílvio Jacks Dos Anjos Garnés	UFPE
Simone Sayuri Sato	UFPE
Sydney de Oliveira Dias	IFPB
Vagner Gonçalves Ferreira	Universidade de Hohai, China
Vivian de Oliveira Fernandes	UFBA
Wagner Carrupt Machado	UFU
Wander da Cruz	UFPR

UFPE

Programação Científica



PROGRAMAÇÃO

Primeiro dia - 08 de novembro de 2018 - Quinta-feira

Hall de entrada dos auditórios	13h00 - 13h30	Credenciamento
Auditório 1	13h30 - 14h00	Abertura do evento. Homenagem ao Professor Dr. Jürgen Wilhelm Philips, UFSC, *in memoriam* - Prof. Dr. José Luiz Portugal "VII SIMGEO – Mapeamento da Superfície Terrestre – Estado da Arte" Prof. Dr. Rodrigo Mikosz Gonçalves (UFPE)
Auditório 1	14h00 - 15h00	"Hidrogeodésia empregando observações GRACE e Altimetria por Satélite" Prof. Dr. Vagner Gonçalves Ferreira (Hohai University, China)
Auditório 2	14h00 - 15h00	"Drones, democracia e profissionalismo: uma nova abordagem" Emanuele Traversari (Suíça)
Auditório 1	15h00 - 16h00	"Geodésia aplicada a levantamentos hidrográficos" Profa. Dra. Claudia Krueger (UFPR)
Auditório 2	15h00 - 16h00	"O processo de reambulação no mapeamento topográfico: estado da arte e perspectivas futuras"| Capitão Eng. Cartógrafo Leandro Luiz Silva de França (3º CGEO)
Auditório 1	16h00 - 17h00	"Da análise multitemporal à análise de longas séries de imagens de satélite" Prof. Dr. Jorge Antonio Silva Centeno (UFPR)
Auditório 2	16h00 - 17h00	"Sistema de Informações Geomática" Prof. Dr. Irineu da Silva (USP)
	17h00 - 17h30	*Coffee Break*
Auditório 1	17h30 - 20h00	Mesa redonda 1: "O Cadastro Territorial e a Implementação do SINTER" Moderador: Prof. Dr. Artur Caldas Brandão (UFBA) "Estado atual da implementação do SINTER (Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais)" Stênio Max Lacerda, Auditor-Fiscal da Receita Federal, Bacharel e Mestre em Matemática, Bacharel em Direito e Professor de Direito Civil "O Brasil precisa de um órgão cadastral? " Prof. Dr. Artur Caldas Brandão (UFBA) "Normas técnicas para levantamento cadastral urbano" Dr. Régis Fernandes Bueno (Geovector) "Novo Sigef, base de dados e relações jurídicas vinculadas à imóveis rurais" Eng. Cartógrafo Miguel Pedro da Silva Neto, Coordenador Geral de Cartografia-DFG – INCRA
Auditório 2	17h30 - 20h00	Mesa redonda 2: "Pesquisas em Ciências Geodésicas, Cartográficas e Tecnologias da Geoinformação: Contextualização, desafios e perspectivas na formação de recursos humanos." Moderador: Dr. Haroldo Antônio Marques (IME) "Pesquisa em Ciências Geodésicas: Abordagem sobre a formação de recursos humanos na Pós-Graduação da UFPR." Dra. Luciene Stamato Delazari (UFPR) "Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da UFPE: Desafios e perspectivas na formação de recursos humanos." Dra. Andrea de Seixas (UFPE) "Pesquisas em Ciências Cartográficas: A Experiência do Grupo de Estudo em Geodésia Espacial (GEGE) na contribuição à formação de recursos humanos na FCT/UNESP." Dr. João Francisco Galera Monico (UNESP) "Internacionalização da Pesquisa em Geomática no Brasil: Experiência no Grupo em GPS/GNSS Interdisciplinar no Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da UFRGS" Dr. Felipe Geremia Nievinski (UFRGS)
	20h30 - 21h30	Confraternização entre participantes

Siga-nos nas nossas redes sociais: @SIMGEOUFPE /SIMGEOUFPE

PROGRAMAÇÃO

Segundo dia - 09 de novembro de 2018 - Sexta-feira

Auditório 1	13h30-14h00	"Atuais métodos de levantamentos e mapeamentos com receptores GNSS" Eng Agrimensor Cartógrafo Leonardo Henrique Rodrigues Ribeiro (Alezi Teodolini)
Auditório 1	14h00 - 16h30	Mesa Redonda 3 "Altitudes e gravidade para o monitoramento das mudanças globais" Moderadora Profa. Dra. Karoline Paes Jamur (UFPE) "A Gravimetria no contexto do *International Height Reference Frame*" Prof. Dr. Gabriel do Nascimento Guimarães (UFU) "Metodologia de cálculo para o estabelecimento da IHRF no Brasil" Dra. Ana Cristina Oliveira Cancoro de Matos (CENEGEO) "Vinculação entre os níveis de referência altimétricos e batimétricos" Prof. Dr. Roberto Teixeira Luz (IBGE)
Auditório 2	13h30 - 16h30	Mesa Redonda 4: "O impacto das tecnologias livres no ensino e disseminação das pesquisas" Moderador Prof. Dr. José Luiz Portugal (UFPE) "Liberdade para quem? O que as tecnologias livres têm realmente a oferecer à sociedade." Profa. Dra. Luciene Delazari (UFPR) "Compartilhamento, disseminação e consumo de informação geográfica na academia" Profa. Dra. Patricia Lustosa Brito (UFBA) "Tecnologias livres em cartografia e motivação para aplicação de metodologia ativa." Profa. Julia Celia Mercedes Strauch (ENCE/IBGE) "Disseminação e consumo da Geoinformação produzida pela diretoria de serviço geográfico no ambiente acadêmico militar e civil" Dra. Linda SORAYA Issmael, Tenente-Coronel, Diretoria de Serviço Geográfico (DSG), Chefe da 3ª Seção – Técnica e Inovação Tecnológica (Exército Brasileiro)
Auditório 2	16h30 - 17h00	*Coffee Break*
Auditório 1	17h00 - 20h00	Mesa Redonda 5: "Regularização Fundiária no Âmbito da Reurb-S e Reurb-E, Lei Federal 13.465/2017 e Decreto 9.310/2018" Moderadora Profa Dra. Maria de Lourdes Gonçalves (UFPE) "Aplicabilidade da Lei Federal 13.465/17" Silvio Figueiredo (Ex. Diretor do MC) "Procedimentos metodológicos adotados no Projeto MC/UFPE no município de Igarassu-PE para atendimento a lei 13465/17 e Decreto 9310/18 " Prof. Dr. Silvio Jacks Garnés (UFPE) "Corregedoria Geral da Justiça de Pernambuco na Regularização Fundiária em Pernambuco. Ricardo Augusto Pedrosa Nascimento.
Auditório 2	17h00 - 20h00	Mesa Redonda 6: "Encontro Nacional dos Coordenadores de Cursos de Engenharia Cartográfica e Agrimensura" Moderadora Profa. Dra. Simone Sayuri Sato (UFPE) Prof. João Almiro Correa Soares (UFRA) Profa. Dra. Heloísa Alves Silva Marques (IME) Profa. Rosilene Nicásio (Coord.) e Profa Dra. Regla Toujaguez (vice) (UFAL) Prof. MSc. Alan José Salomão Graça e Prof. Dr. João Bosco Azevedo (UERJ) Profa. Dra. Regiane Dalazoana (UFPR) Prof. Dr. Felipe Nievinski (UFRGS). Prof. Paulo Augusto Ferreira Borges (IFSULDEMINAS)
	20h00 - 20h15	Encerramento do VII SIMGEO e confraternização entre participantes

UFPE

Artigos

CARTOGRAFIA E SISTEMA DE GEOINFORMAÇÃO

ADEQUAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA VETORIAL DA UFBA DE ACORDO COM AS ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PARA ESTRUTURAÇÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS GEOESPACIAIS VETORIAIS

ANDRESSA DE SOUSA CARDOSO[1]
GABRIELA ROCHA ALMEIDA[2]
ÉRICA VICTÓRIA BONFIM DA PAIXÃO[3]
MIRELE VIEGAS DA SILVA[4]

[1,2,3,4] Universidade Federal da Bahia - UFBA
Departamento de transportes, Salvador, BA
[4] Instituto de Colonização e Reforma Agrária
Superintendência Regional da Bahia – Serviço de Cartografia
dessa_sc11@hotmail.com, gabrielaralmeida8@hotmail.com, e.b.paixao@gmail.com, mirelevgs@gmail.com

RESUMO - Em âmbito nacional, o estabelecimento da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), assim como o uso crescente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), instituiu a necessidade de criar e estabelecer padrões para os dados geoespaciais vetoriais, um quesito fundamental para garantir a interoperabilidade. O presente artigo apresenta os resultados referentes à adequação dos dados geoespaciais vetoriais da área que compreende o Campi da Universidade Federal da Bahia às Especificações Técnicas elaboradas para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN). Neste trabalho, foram utilizadas especificamente as que se referem à Estruturação e a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais, ou seja, a ET-EDGV e ET-ADGV. Ao final do trabalho, constatou-se que algumas feições não eram passíveis de adequação necessitando serem novamente adquiridas, no entanto, constatou-se que, os resultados obtidos foram satisfatórios e o arquivo gerado se tornou adequado ao compartilhamento de acordo com as especificações da INDE.

ABSTRACT - At the national level, the establishment of the National Spatial Data Infrastructure (INDE), as well as the increasing use of Geographical Information Systems (GIS), established the need to create and establish standards for vector geospatial data, a fundamental issue to ensure the interoperability. The present article presents the results concerning the adequacy of the geospatial vector data of the area comprising the Campus of the Federal University of Bahia to the Technical Specifications developed for the National Cartographic System (SCN). In this work, we used specifically those that refer to the Structuring and Acquisition of Vector Geospatial Data, that is, ET-EDGV and ET-ADGV. At the end of the work, it was found that some features were not adaptable and needed to be re-acquired, however, it was verified that the results were satisfactory and the file generated became suitable for sharing according to INDE specifications.

1 INTRODUÇÃO

O surgimento do geoprocessamento, assim como a crescente demanda por informação geoespacial fez com que uma nova necessidade surgisse: a criação e adequação à padrões na geração desses dados de forma a garantir a sua disseminação e interoperabilidade. Ou seja, a busca em garantir a homogeneização dos dados geoespaciais, em âmbito nacional, como prevê a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE).

Nesse contexto, surge a Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV), que define apropriadamente a estrutura empregada na aquisição, armazenamento, disseminação e na disponibilização de informações geoespaciais (adaptado de CONCAR, 2017). Para que esses dados possuam uma estrutura de acordo com as regras estabelecidas na ET-EDGV, a aquisição dos mesmos também deve seguir um padrão e, por isso, a Diretoria de Serviços Geográficos do Exército (DSG) elaborou a Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV). Esta define o modo de aquisição da geometria dos dados geoespaciais e dos atributos correlatos.

É imprescindível que os dados geoespaciais sigam normas e padrões para que estes cumpram seu papel de disponibilização, compartilhamento, bem como serviços relacionados à integração de sistemas. Porém, em muitos casos, não existe essa preocupação e, posteriormente, surge a necessidade de uma adaptação. Nestes casos, é preciso entender claramente como se deu a criação dos mesmos, além de averiguar se este condiz com a realidade representada. Diversos desafios são enfrentados quando a forma de aquisição não seguiu nenhuma regra, o que ocasiona a falta ou até mesmo o excesso de feições representadas para uma determinada escala.

Neste trabalho, os dados geoespaciais vetoriais da Universidade Federal da Bahia serão adequados à ET-EDGV, segundo às classes estabelecidas pela ET-ADGV, sendo apresentados os resultados e as principais dificuldades encontradas.

2 OBJETIVO

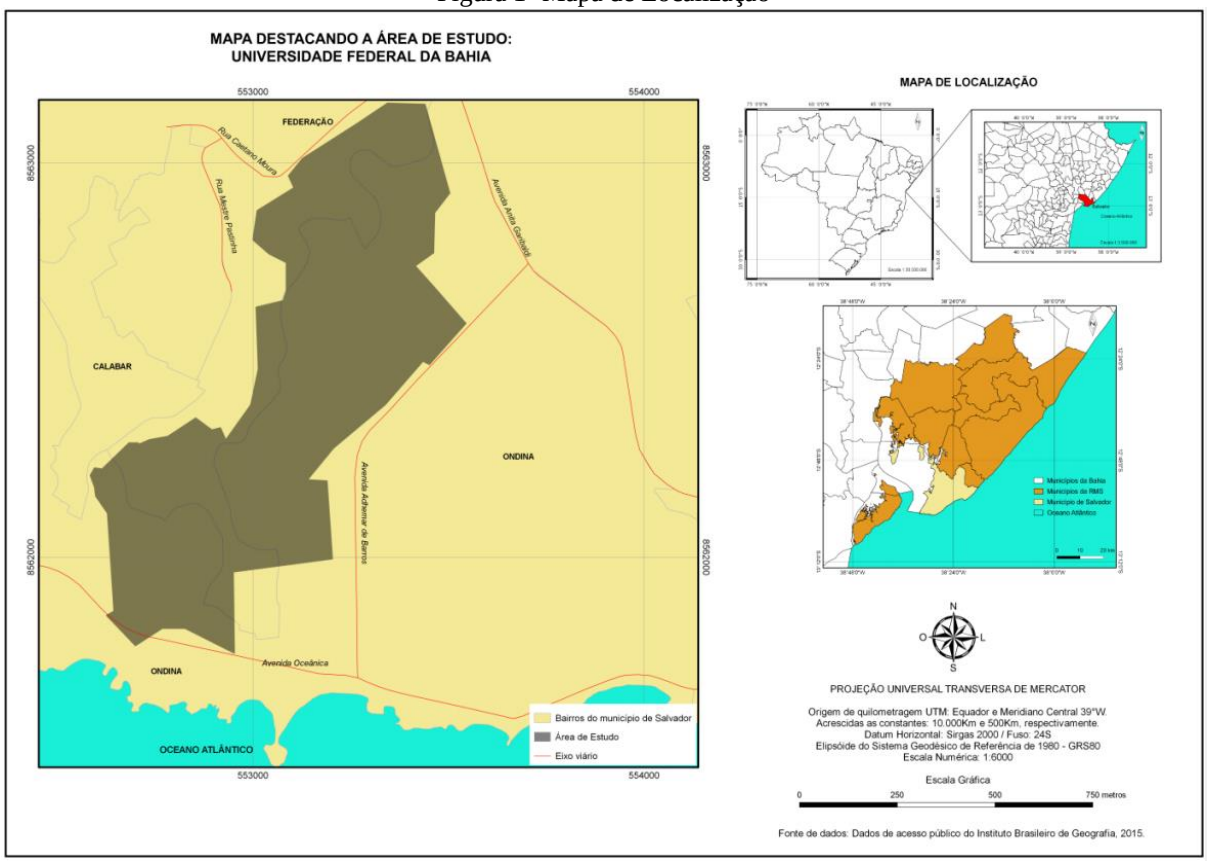
O objetivo deste trabalho é realizar a adequação dos dados geoespaciais vetoriais obtidos da área que compreende o Campi da Universidade Federal da Bahia e adjacências à padronização e orientação da Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV)

3 METODOLOGIA DE TRABALHO

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo escolhida para esse trabalho compreende o campi da Universidade Federal da Bahia (UFBA), considerada a maior universidade do estado da Bahia e uma das mais importantes do Brasil, e está compreendida dentro dos bairros de Ondina e Federação, na cidade de Salvador-BA, conforme figura 1. O espaço possui uma área com cerca de 300.000 m², que abrange ruas, edificações, espaços verdes, estacionamentos, entre outros elementos.

Figura 1- Mapa de Localização



Fonte: Cunha (2015)

3.2 Materiais

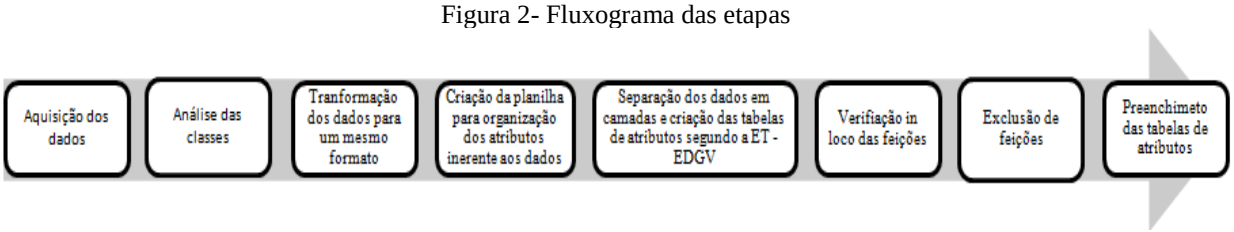
Os dados vetoriais utilizados neste trabalho foram adquiridos em dois formatos distintos, sendo uma parte em DWG e outra em Shapefile. Os dados adquiridos em DWG foram obtidos através de um levantamento topográfico planialtimétrico realizado em 2009 na UFBA escala 1:1500, sendo validado por Cunha (2015) para a escala 1:2.000, classe A, conforme PEC-PCD. O arquivo shapefile foi obtido a partir do projeto de atualização cartográfica da UFBA (ELIAS, 2017), validada na escala 1:3.000, classe A, conforme PEC-PCD, ambos com sistema de referência SIRGAS 2000 e que representam grande parte das edificações, vias, passeios e vegetação existentes nos campi da UFBA.

O software utilizado foi o QGis na versão 2.14, Microsoft Office e trena para coleta das medidas em campo.

3.3 Métodos

A partir dos dados vetoriais adquiridos foram seguidas as etapas conforme descritas na Figura 2.

Figura 2- Fluxograma das etapas



Fonte: Autores (2018)

3.3.1 Análise das Classes

Na ET-ADGV é sugerido que para escalas maiores que 1:5.000 deve-se utilizar os critérios de medidas da escala 1:1.000 e para escalas iguais à 1:5.000 ou menores, recomenda-se adotar os critérios de medidas da escala 1:10.000. Ou seja, é a partir dessa especificação que se torna possível a verificação de quais feições devem ser representados para cada escala de uma carta, pois são apresentadas tabelas que informam em qual formato determinados elementos deverão ser apresentados de acordo com a escala do produto.

A planta no formato original está representada na escala de 1:1.500, no entanto, esta escala não está representada na ET-ADGV, sendo assim foram utilizados os critérios de medidas da escala 1:1000. A partir da especificação de aquisição de dados geoespaciais vetoriais, estabeleceu-se que para os dados em questão as classes a serem representadas foram: edificação de ensino, edificação de comércio e serviço, arruamento, passeio, estacionamento e vegetação (DSG, 2016).

É importante salientar que para a escala 1:1000 existem outras classes que deveriam ser representadas, no entanto, como no arquivo original elas não existem, mantiveram-se apenas as classes existentes, ou seja, não foi realizado outro levantamento de campo para aquisição de novas feições.

3.3.2 Transformação dos dados para um mesmo formato

Primeiramente, utilizando o software QGIS 2.14, os dados vetoriais que estavam em formato DWG foram convertidos para Shapefile, e a partir disso, todos os dados a serem utilizados apresentavam o mesmo formato.

3.3.3 Criação da planilha para organização dos atributos inerentes aos dados

Em seguida foi construída uma planilha no Excel com todas as classes e atributos dos elementos contidos na planta, de acordo com a ET-EDGV. Foram criadas 6 (seis) abas (Vegetação, Edif_ensino, Edif_Comerc_Serv, Campo e Quadra, Arruamento e Passeio), com os atributos referentes a cada tema conforme exemplo da figura 3 a seguir.

Figura 3- Planilha de atributos

1.14.10 Vegetacao	Agrupa as feições que representam, em caráter geral, os diversos tipos de vegetação natural e cultivada.

Atributo	Tipo (tamanho)
nome	Alfanumérico (80)
geometriaAproximada	Booleano
tipoVeg	Tipo_Vegetacao
classificacaoPorte	Classificacao_Porte

Tipo_Vegetação	Descrição
Desconhecido	Valor desconhecido.
Caatinga	-
Campinarana	-
Cerrado	-
Estepe	-
Floresta	-
Refúgio Ecológico	-
Vegetação de Brejo ou Pântano	-
Vegetação cultivada	-
Vegetação de mangue	-
Vegetação de restinga	-

Classificacao_Porte	Descrição
Desconhecida	Valor desconhecido.
Arbórea	As árvores são todos os vegetais gimnospermas e angiospermas dicotiledôneas lenhosas que, entre outros atributos, se caracterizam por ter uma raiz aérea, um caule lenhoso do tipo tronco, que forma ramos bem acima do nível do solo.
Arbustiva	Vegetação arbustiva é todo vegetal do grupo das angiospermas dicotiledôneas lenhosas, que se ramifica desde de junto ao solo
Herbácea	-
Rasteira	-
Mista	Dois ou mais tipos listados.

Fonte: Autores (2018)

3.3.4 Separação dos dados em camadas e criação de suas respectivas tabelas de atributos segundo a ET-EDGV

No arquivo original, todos os elementos estavam dispostos em uma única camada, sem nenhum tipo de classificação, o passo seguinte consistiu em realizar a devida separação, atribuindo a eles os seus respectivos atributos.

Os dados foram incluídos manualmente, com ajuda da planilha citada anteriormente, onde estavam contidas apenas as informações das classes definidas. Para trazer mais agilidade e consistência ao produto, foram criadas as listas de opções referentes a cada coluna, conhecidas como mapas de valores, de modo a fazer com que o usuário tivesse limitação no preenchimento da planilha.

A veracidade da informação se deu pelas visitas de campos realizadas, com o objetivo de constatar in loco alguns detalhes referente às feições, como pode ser visto na figura 4.

3.3.5 Verificação in loco das informações

A partir da definição de quais classes seriam representadas realizou-se a verificação *in loco* das mesmas. Dessa maneira, foram adquiridos, por exemplo, os nomes e o estado de conservação das edificações dos campi, os tipos de vegetação existentes, além da realização de medições das larguras das calçadas. Nesta etapa foi importante registrar os locais com fotografias para posterior verificação dos atributos, conforme figuras 5 a seguir.

Figura 4 - Coleta de dados em campo

Figura 5 - Registro dos locais com fotografias

Fonte: Autores (2018)

3.3.6 Exclusão de feições

Na visita de campo foram encontradas incompatibilidades entre polígonos e linhas representados na planta e os elementos presentes no espaço físico. Por isso, fez-se necessário que algumas feições vetorizadas fossem excluídas, pois não condiziam com a realidade de campo. Importante salientar que o material original foi mantido como cópia para trabalhos e averiguações posteriores.

Na figura 6 abaixo pode-se observar que existem vetores que não estão retratando a realidade da classe passeio do local, vetores incompletos, fazendo-se necessário levantamento topográfico para concluí-los.

Figura 6 - Inconsistência no passeio próximo aos Institutos de Física e Química

Fonte: Autores (2018)

Além disso, constatou-se que no Instituto de Física (IF), figura 7, não existe mais a calçada apresentada na planta.

Figura 7 - Verificação presencial de inconsistência no passeio

Fonte: Autores (2018)

As figuras 8 e 9 abaixo exemplificam uma das correções para as inconsistências encontradas no arquivo vetorial da classe passeio (representadas na cor vermelha). As feições vetoriais não representavam mais a realidade em campo sendo necessário excluí-las.

Figura 8 - Inconsistência no passeio próximo ao PAF I

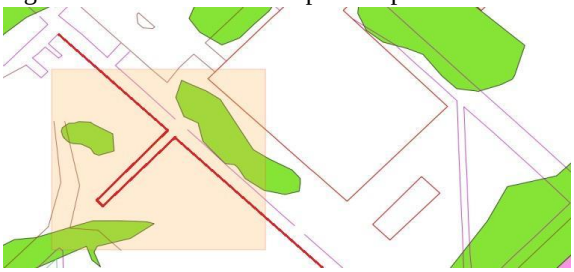
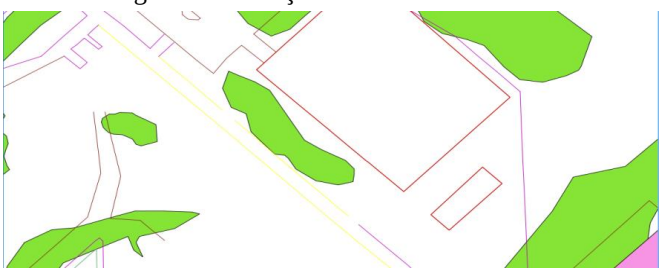


Figura 9 - Correção da inconsistência



Fonte: Autores (2018)

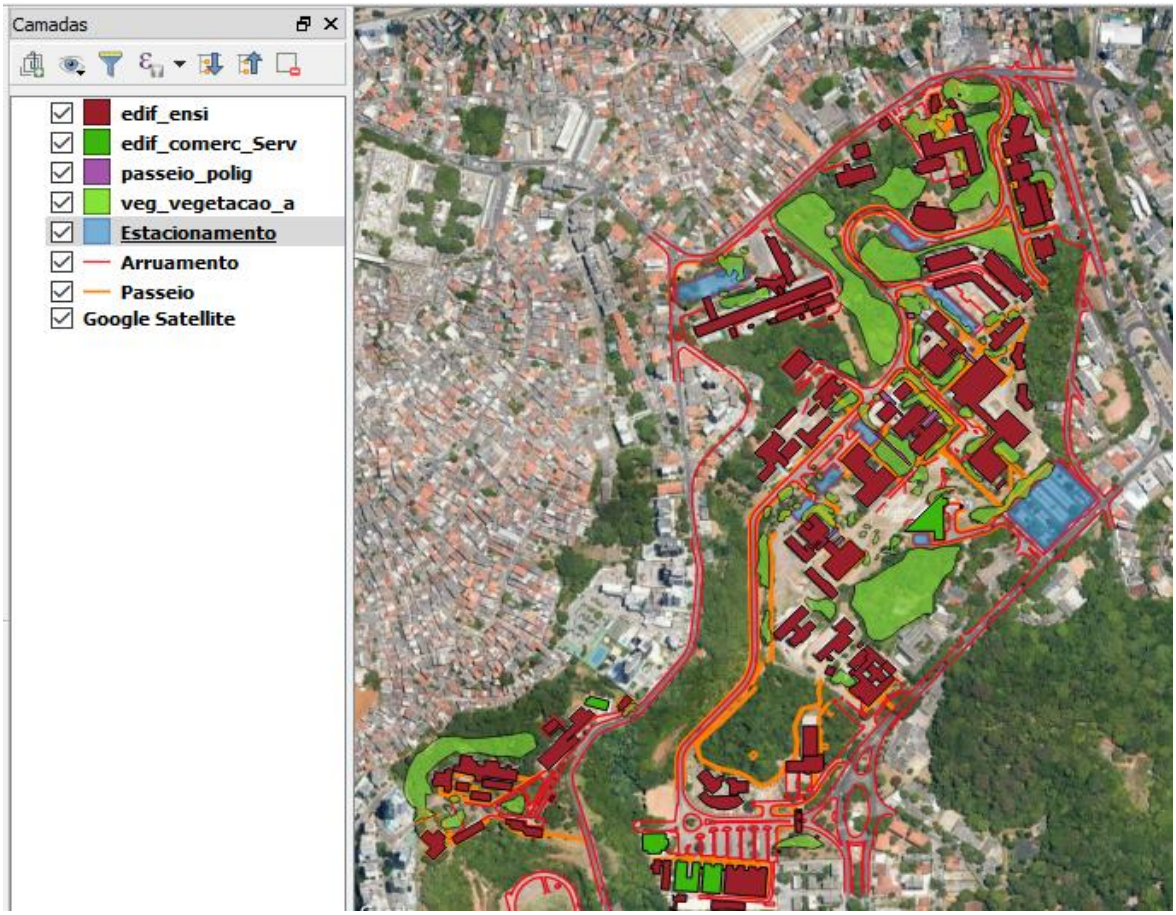
3.3.7 Preenchimento da tabela de atributos

Em seguida, foram preenchidas as tabelas de atributos das classes com as informações coletadas em campo, sendo realizado através do mapa de valores, fazendo assim que quando do preenchimento das informações não ocorressem erros de digitação. Frisa-se que antes de ir a campo os elementos ou itens que seriam verificados eram consultados preliminarmente na imagem de satélite.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

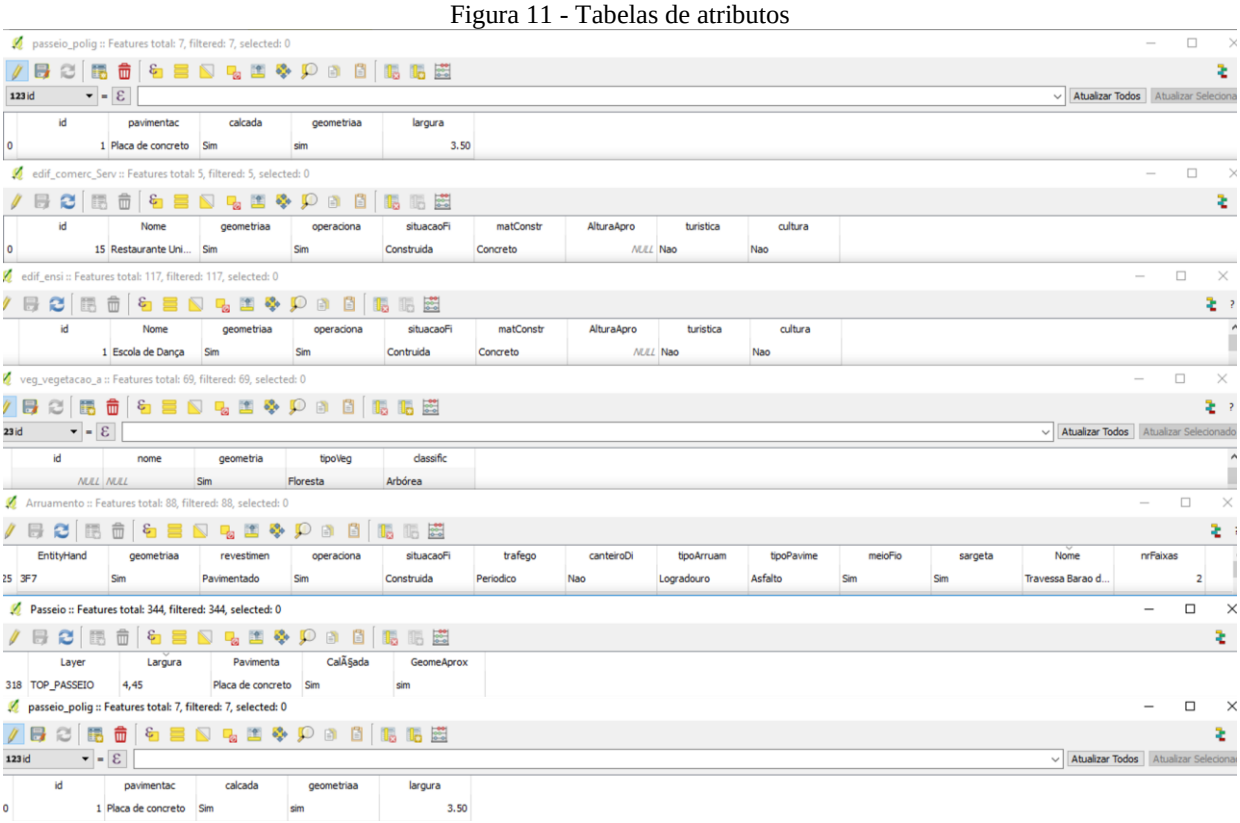
Depois de aplicar a metodologia descrita no item 3.3, os resultados obtidos foram gerados em formato shapefile. A figura 10 demonstra os arquivos vetoriais geoespaciais gerados e a figura 11 uma amostra dos atributos concernentes às classes de edificação de ensino, edificação de comércio e serviço, arruamento, passeio, estacionamento e vegetação que estão associados aos arquivos vetoriais.

Figura 10 - Vetores dos resultados obtidos



Fonte: Autores (2018)

Figura 11 - Tabelas de atributos



Fonte: Autores (2018)

Os resultados obtidos, foram satisfatórios visto que, em geral, houve uma boa adequação às especificações técnicas. Todas as feições estão representadas em formato shapefile, que pode ser visualizado facilmente utilizando um programa de geoprocessamento como o software livre Qgis.

5 DIFICULDADES ENCONTRADAS

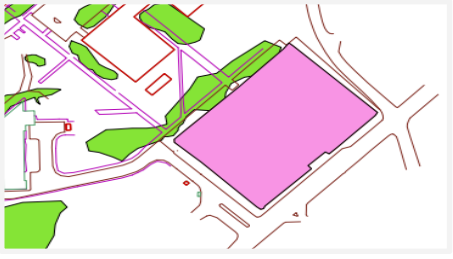
Para a adaptação do arquivo original às especificações técnicas para dados geoespaciais vetoriais houveram algumas dificuldades, dentre elas podem-se citar as relacionadas com: a falta de consistência dos dados, diferenças geométricas entre os elementos físicos e as suas respectivas representações na planta, a determinação das classes, entre outras descritas a seguir.

5.1 Estacionamento

Uma das primeiras inconsistências encontradas foi com relação à feição denominada estacionamentos que estavam representados como vias (arruamento). A figura 12 mostra o estacionamento antes da adequação e a figura 13 mostra o estacionamento depois da adequação.

Figura 12 - Estacionamento antes da adequação

Figura 13 - Estacionamento depois da adequação

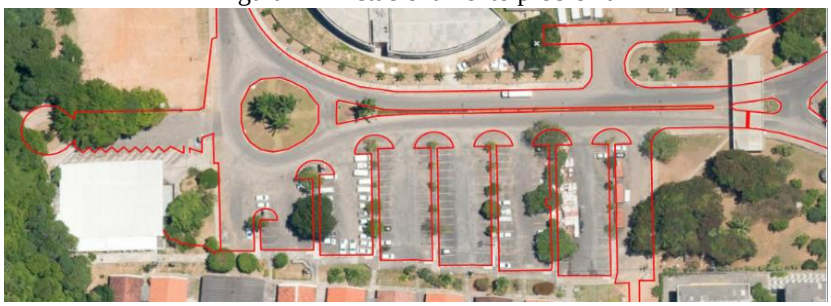


Fonte: Autores (2018)

Para resolver essa questão foram aproveitadas as linhas extremas que definem seus limites para gerar polígonos e representar os estacionamentos, como pode ser visto acima.

Porém, essa solução não pôde ser utilizada para todas as feições tipo estacionamentos, pois em alguns casos os estacionamentos que estavam representados como vias, não permitiam uma delimitação mais precisa do limite do mesmo. Um exemplo pode ser visto na figura 14 abaixo, o arruamento não definiu o limite exato do estacionamento. Desta forma, recomenda-se realizar posteriormente um levantamento in loco compatível com a escala do produto.

Figura 14 - Estacionamento problema



Fonte: Autores (2018)

5.2 Passeio

Outra inconsistência encontrada com a ET-ADGV foi em relação às feições de passeio. Na especificação, a classe "passeio" possui duas geometrias, polígono e linha, como pode-se observar na figura 15.

Figura 15 - Classe passeio

Classe Passeio		Código 2.2.32	Primitiva Geométrica
Situação	**Método de Confecção**	**Ilustração**	
GERAL	Passeio é uma faixa lateral, ligeiramente elevada, normalmente ao longo de trechos de arruamentos ou de rodovias, pavimentadas ou não, para trânsito de pedestres. No caso de ser calçado, o passeio é conhecido como calçada. **Regra Geral:** A regra geral de construção da geometria dos objetos da Classe Passeio é: 1) Primitiva geométrica do tipo linha ou polígono. **Atributos obrigatórios:** **geometriaAproximada=** "Sim" ou "Não"; **Calcada=** "Sim" ou "Não" ou "Desconhecido"; **pavimentacao=** Vide lista de domínio na ET-EDGV. **Relacionamentos:** Um ou mais objetos desta Classe pode ou não estar adjacente a um objeto da Classe Trecho_Arruamento, pode ou não ser sobreposto por um ou mais objetos da Classe PE_TRA_Travessia_Pedestre e da Classe Poste.		

Fonte: ET-ADGV (2016)

Na ilustração acima é possível observar que quando o passeio é representado como linha deve ser usada a tangente ao arruamento, como destacado em vermelho. O que vai definir se a calçada será representada como linha ou polígono em uma determinada escala é a dimensão (em especial a largura) que a mesma tem, dessa forma, segundo a ET-ADGV (2016), verificando nas tabelas das classes, como pode ser visto na figura 16 abaixo, para a escala 1:1.000, alguns passeios serão representados como linhas (L) e outros como polígono (A) e não poderá ser representado como ponto (P).

Figura 16 - Tabela da ET-ADGV

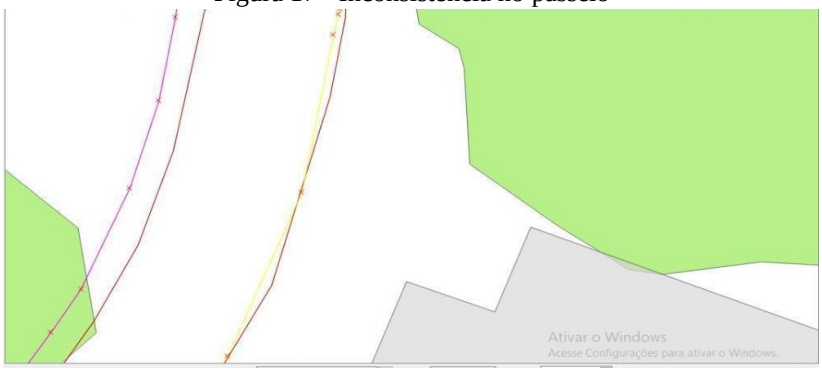
Classe Código na RCO	1:1.000					1:10.000					1:25.000				
	A		L		P	A		L		P	A		L		P
	Larg ≥	Comp ≥	Larg <	Comp ≥		Larg ≥	Comp ≥	Larg <	Comp ≥		Larg >	Comp >	Larg <	Comp >	
Passeio	2,5mm	10mm	2,5mm	10mm	-	2,5mm	10mm	2,5mm	10mm	-	-		-		-

Fonte: ET-ADGV (2016). Adaptado

A maioria dos passeios são menores que 2,5 metros, por isso, segundo a ET-ADGV (2016), deveriam ser representados como uma linha tangente ao arruamento. Porém, a linha vetorizada é referente a parte externa da calçada, e não estavam na posição correta já que as mesmas não acompanham perfeitamente a forma da via.

Esta incompatibilidade pode ser visualizada na figura 17 abaixo. Uma posterior correção, com levantamento topográfico de campo, deve ser realizada para que os mesmos se adéquem a norma.

Figura 17 - Inconsistência no passeio



Fonte: Autores (2018)

Além disso, existiram dificuldades na adequação de outras feições existentes na UFBA, especificamente a falta de enquadramento de alguns elementos, como o caminho para pedestre, representada na figura 18 abaixo, que não se encaixa na classe de passeio.

Figura 18 - Exemplo de caminho para pedestre

Fonte: Autores (2018)

Como não existe uma classe que contempla totalmente essa feição, a classe de passeio é a que mais se adéqua.

5.3 Inconsistência dos dados

Algumas das inconsistências constatadas em campo estavam relacionadas com a falta de atualização dos dados, bem como a inexistência de elementos representados na planta, e vice-versa. Além disso, constatou-se inconsistências nas dimensões de objetos, como passeios que possuíam tamanhos significativamente diferentes entre a realidade física e a representação na planta topográfica.

Outro obstáculo encontrado foi na adequação de alguns vetores às geometrias estabelecidas pela ET- EDGV, tendo em vista que na confecção da planta original não houve um padrão na representação da vetorização. Por exemplo, as diferentes formas que as vias e calçadas estavam representadas na planta, algumas com linhas sobrepostas, outras apenas com a linha lateral da via, entre outros.

A falta de atualização dos dados geoespaciais da planta foi constatada em campo, feições presentes na planta não estavam mais presentes em campo. Esse problema foi resolvido com a exclusão das feições incoerentes.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com a implantação da INDE, para que os dados geoespaciais possam ser disponibilizados e facilmente utilizados para os mais diversos fins, devem estar padronizados. Desta forma, pode-se perceber que a adequação de dados geoespaciais vetoriais à padronização e orientação da Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV) trará benefícios a sociedade em geral.

O levantamento topográfico georreferenciado da UFBA não está atualizado, dessa forma recomenda-se realizar a atualização, aliado com outros métodos cartográficos, seguindo os preceitos da INDE. Dessa maneira, deverão ser adquiridas as feições para serem representadas nas classes conforme a ET-EADGV.

Além disso, recomenda-se que exista sempre a preocupação na produção de dados geoespaciais seguindo o que estabelece a INDE e suas especificações técnicas, isso facilitará a usabilidade e promoverá uma maior interoperabilidade entre esses tipos de dados que estão sendo utilizados em escala crescente nos dias atuais.

REFERÊNCIAS

CONCAR. **Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais (ET-EDGV 3.0)**. Disponível em: <http://www.concar.gov.br/temp/365@ET-EDGV_versao_3.0_2018_05_20.pdf> Acesso: 27 fevereiro 2018.

CUNHA, A. A. **Controle de qualidade em mapas urbanos - Estudo de caso Universidade Federal da Bahia.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso, UFBA, Salvador-BA.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico. **Especificação Técnica Para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV)**, Brasil, 2016, 2ª edição. Disponível em <http://www.geoportal.eb.mil.br/index.php/inde2?id=140>. Acesso: 27 fevereiro 2018.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico. **Especificação Técnica Para a Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV)**, Brasil, 2016, 2ª edição. Disponível em <http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_ADGV_Vs_2_1_3.pdf>. Acesso: 27 fevereiro 2018.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico. **Especificação Técnica ADGV**. Disponível em <https://www.governoeletronico.gov.br/documentos-e-arquivos/12_Especificacao_tecnica_ADGV.pdf>. Acesso: 27 fevereiro 2018.

ELIAS, E. N. N. **Atualização cartográfica através de imagens obtidas com Veículo Aéreo não Tripulado (VANT) quadrotor. Área de Estudo: Campi da Universidade Federal da Bahia**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso, UFBA, Salvador-BA.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.

ANÁLISE COMPARATIVA DE DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO PARA GERAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DO TERRENO

JULIANE MENDONÇA KOMAZAKI[1]
EDMUR AZEVEDO PUGLIESI[2]
EDILSON FERREIRA FLORES[3]
PAULO DE OLIVEIRA CAMARGO[2]

Universidade Estadual Paulista - UNESP
[1]Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas
[2]Departamento de Cartografia, Presidente Prudente, SP
[3]Departamento de Estatística, Presidente Prudente, SP
ju.komazaki93@gmail.com, edmur@fct.unesp.br, edilson-ferreira.flores@unesp.br, paulo.camargo@unesp.br

RESUMO - Com o avanço tecnológico em sensores, bem como na automação de algumas etapas do processo de produção cartográfica, houve um aumento na produção e usuários de geoinformação, principalmente utilizando a tecnologia baseada em Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). Isto aconteceu devido à facilidade na obtenção de imagens de alta resolução espacial e temporal a um baixo custo. Um dos produtos gerados a partir das imagens obtidas com VANT é o Modelo Digital do Terreno (MDT), muito utilizado na área de cartografia. Quando gerado a partir de imagens de sensores remotos, esse modelo é obtido a partir da aerotriangulação das imagens, o que requer um bloco de imagens. Assim, pode-se obter esse mesmo modelo a partir da interpolação de feições pontuais. Neste trabalho, foi gerado MDTs a partir de pontos com coordenadas coletadas em campo, na região de Presidente Prudente, a partir dos métodos de interpolação da Krigagem e Inverso da Distância Ponderada (IDW). Esses MDTs foram comparados com o modelo gerado na aerotriangulação para verificar a qualidade dos interpoladores de estatística espacial. O objetivo dos experimentos foi verificar se alguns dos métodos apresenta qualidade superior, de modo que poderia ser utilizado na geração de tal produto sem a necessidade de utilizar imagens coletadas de um voo fotogramétrico. Com isso, os resultados mostraram que a o método da Krigagem foi mais preciso que o Inverso da Distância e que mais se aproximou do MDT obtido na aerotriangulação. Entretanto, a ausência de pontos em algumas regiões acarretaram em grandes erros, em torno de 10 metros, sendo necessário realizar uma melhor distribuição dos pontos para obter melhores resultados, bem como aumentar a quantidade dos mesmos na região.

ABSTRACT - With the technological advance in sensors, as well as in the automation of some stages of the cartographic production process, there was an increase in the production and users of geoinformation, mainly using the technology based on Unmanned Aerial Vehicle (UAV). This was due to the ease of obtaining high spatial and temporal resolution images at a low cost. One of the products generated from the images obtained with UAV is the Digital Terrain Model (DTM), widely used in the area of cartography. When generated from remote sensing images, this model is obtained from aerotriangulation of images, which requires a block of images. Thus, one can obtain this same model from the interpolation of punctual features. In this work, DTMs were generated from points with coordinates collected in the field, in the Presidente Prudente region, using the Kriging and Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation methods. These DTMs were compared with the model generated in aerotriangulation to verify the quality of spatial statistics interpolators. The objective of the experiments was to verify if some of the methods presented superior quality, so that could be used in the generation of such product without the need to use images collected from a photogrammetric flight. With this, the results showed that the Kriging method was more accurate than the IDW and that more approached the DTM obtained in the aerotriangulation. However, the absence of points in some regions resulted in large errors, around 10 meters, and a better distribution of the points is required to obtain better results, as well as to increase the number of points in the region.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a representação do relevo ou terreno é fundamental no processo cartográfico, uma vez que são utilizados em muitos processos de modelação e de análise espacial, tais como: modelação hidrológica; traçado viário; estudos climatológicos e agrícolas; geração de bases cartográficas; análise de bacia hidrográfica. Com o avanço tecnológico na obtenção de produtos cartográficos, houve um aumento na produção e usuário de geoinformação, principalmente utilizando a tecnologia baseada em Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e em dados laser, o que facilita a representação do terreno, com alta resolução e, com isso, muitos pontos são reamostrados sobre a área de interesse (SILVA et al., 2014).

De acordo com El-Sheimy et al. (2005), o MDT corresponde a uma representação espacial de um fenômeno vinculado a uma superfície real, caracterizada como uma superfície contínua podendo ser concretizada a partir de dados altimétricos e/ou batimétricos. Nesse contexto, a geração dessa superfície pode ser obtida por meio de dados oriundos de aerotriangulação, a partir de um bloco de imagens com técnicas de interpolação que utilizam estatística espacial. Lucas et al. (2013) ressaltam a importância do desenvolvimento de SIG (Sistema de Informação Geográfica) e o aprimoramento de técnicas de geoprocessamento na modelagem de dados espaciais, uma vez que permite transformar dados discretos em contínuos por meio de interpolação matemática de dados pontuais, de área e de superfície.

Muitos dos métodos tradicionais de interpolação de dados espaciais são baseados em funções matemáticas, como o método da poligonal, triangulação, método da distância inversa, etc. Esses métodos geralmente são fáceis de implementar. Entretanto, possuem limitações na representação da variabilidade espacial, devido ao fato de desconsiderarem a anisotropia e a continuidade do fenômeno que se quer observar (VALERIANO; PRADO, 2001).

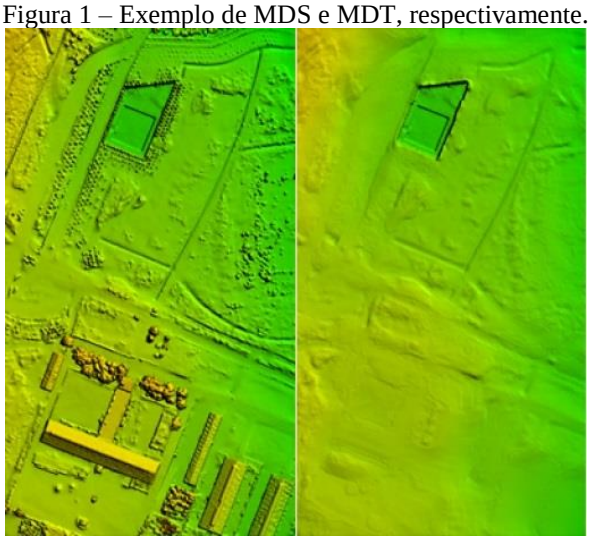
As propriedades da superfície terrestre são espacialmente contínuas, sendo restritivo descrevê-las através de simples funções matemáticas. De acordo com Valeriano e Prado (2001), modelos inferenciais para esse objetivo vêm sendo propostos, como a krigagem, a qual possui base conceitual fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas e nas funções aleatórias.

O objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade de modelos digitais do terreno gerados pelos métodos da Krigagem e do Inverso da Distância Ponderada (IDW), a partir de pontos que coletados sobre a superfície terrestre com levantamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*). A avaliação é feita por meio de comparação com um MDT gerado a partir da aerotriangulação, a partir de um bloco de imagens considerando tais pontos como injunção no georreferenciamento do mesmo.

2 MODELO DIGITAL DO TERRENO

O Modelo Digital de Terreno (MDT) corresponde a um conjunto de pontos, equidistantes ou não, os quais possuem em que estão presentes a elevação, em um determinado sistema de referência. Este modelo também é utilizado para geração de curvas de nível e de ortofoto. O MDT é um produto digital que representa a superfície física terrestre sem considerar as feições do meio humano (prédios, edificações, postes, etc.) e vegetação. Porém, antes de gerar o MDT é necessário construir o modelo digital de superfície (MDS), o qual representa a superfície física terrestre considerando as feições antrópicas e a vegetação, de acordo com a Figura 1. Ambos representam o terreno por meio de modelos tridimensionais; porém, sua realização só é possível a partir de um conjunto de pontos de coordenadas conhecidas, geralmente advindos da fototriangulação de um bloco de imagens.

Figura 1 – Exemplo de MDS e MDT, respectivamente.



Fonte: https://goo.gl/bykKf2 (2018).

3 PROCESSO DE INTERPOLAÇÃO

O processo de interpolação de dados espaciais consiste em representar uma superfície contínua, a partir de um conjunto de dados pontuais que representa aquele dado fenômeno. Para que essa representação fique mais próxima da realidade, é necessário modelar sua variabilidade espacial. De acordo com Camargo et al. (2002), esses modelos que geram superfícies representam a variável em estudo, baseando-se na combinação da variabilidade espacial em pequena e larga escala. Ainda de acordo com os autores, existem três principais tipos de modelos de interpolação: modelos determinísticos de efeito local; modelos determinísticos de efeito global; e modelos estatísticos de efeitos globais e locais.

Nos modelos determinísticos de efeito local, os pontos são interpolados a partir das amostras que se encontram localizadas mais próximas umas das outras, predominando, assim, os efeitos locais. O mais comum é o Inverso da Distância Ponderada, conhecido como IDW, que tem o objetivo de gerar uma superfície mais suavizada. Segundo Camargo et al. (2002), o Inverso da Distância Ponderada generaliza a ideia de média móvel local, sugerindo que a densidade do fenômeno possa variar localmente de maneira suave, sem picos e nem descontinuidades. Alves e Vecchia (2011) o define tanto como um interpolador exato, quanto como um suavizador, dependendo da influência daquele determinado ponto. Quanto maior for a distância entre a amostra e o ponto a ser estimado, menor será a influência da amostra.

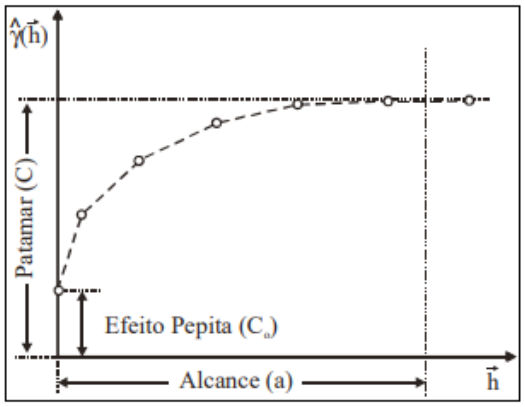
Já o princípio dos modelos determinísticos de efeito global é a variabilidade espacial em larga escala. Por essa razão, é comum os interpoladores serem tendenciosos, pois os mesmos desconsideram os efeitos locais no processo de interpolação (CAMARGO et al., 2002).

Ainda segundo Camargo et al. (2002), nos modelos estatísticos de efeitos globais e locais, mais conhecidos como Krigagem, os pontos da superfície são interpolados pelas amostras mais próximas. No entanto, os estimadores estatísticos levam em consideração a variabilidade local e global, e são caracterizados por não serem tendenciosos e de procurar minimizar os efeitos inferenciais.

A krigagem é considerada um interpolador mais complexo em relação aos demais, pois utiliza a geoestatística para fazer o processo de interpolação. A diferença deste método em relação aos outros é a maneira como os pesos são atribuídos às diferentes amostras, o qual utiliza os pesos determinados a partir do semivariograma (CAMARGO et al., 2002).

Na geoestatística a variância das variáveis regionalizadas (dispersão dos dados em torno da média) é caracterizada pela semivariância. O gráfico da semivariância em função da distância é conhecido como semivariograma. O semivariograma possui parâmetros que auxiliam na descrição da dependência espacial, sendo estes o efeito pepita, o patamar e o alcance (Figura 2). Estes parâmetros permitem ajustar um modelo empírico de semivariograma a um semivariograma teórico utilizado para modelar a autocorrelação em função da distância (KOZAR et al., 2002; SANTANA; SANTOS, 2010).

Figura 2 – Parâmetros do semivariograma.



Fonte: Camargo et al. (2002).

onde, de acordo com Camargo (1997):

- Alcance (a): distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente;
- Patamar (C): é o valor do semivariograma correspondente a seu alcance (a). Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras;
- Efeito Pepita (C_0): por definição $\gamma(0)=0$. Entretanto, na prática, na medida que h tende a zero, $\gamma(h)$ se aproxima de um valor positivo, chamado Efeito Pepita, que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras.

3.1 Validação dos modelos

Para avaliar a qualidade do interpolador utiliza-se um método geoestatístico que é a validação cruzada. Essa validação consiste em avaliar a previsibilidade que um determinado modelo tem em estimar as amostras. O gráfico gerado permite avaliar a quantidade do valor amostrado e a estimativa calculada pelo interpolador, apresentando o erro da estimação (SANTANA; SANTOS, 2016).

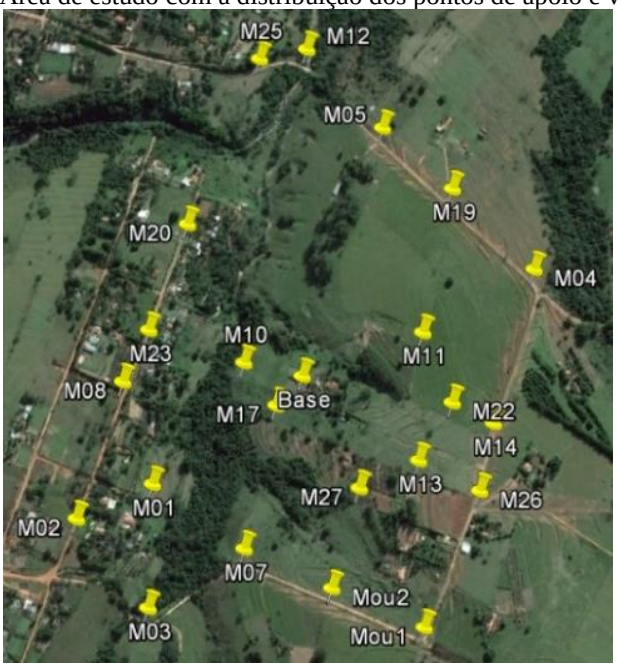
Por meio da validação cruzada, umas das maneiras de avaliar esse erro é através da raiz do erro médio quadrático (REMQ). O REMQ é uma medida da magnitude média dos erros que sempre tem valor positivo, e quanto mais próxima de zero, melhor o interpolador (ALVES; VECCHIA, 2011).

4 PROCEDIMENTO

A área de estudo selecionada foi o recorte de uma área localizada na cidade de Presidente Prudente (SP) (Figura 3). Essa área foi escolhida porque já havia sido realizado um levantamento aéreo com um equipamento de VANT e já se dispunha de um MDT com alta resolução.

O voo com o VANT foi realizado no segundo semestre de 2015, considerando uma altura de voo de 487,3 m para um GSD (Ground Sample Distance) de 15 cm. As imagens adquiridas foram processadas no software Postflight Terra 3D para geração do MDT. Além disso, foram definidos e levantados alguns pontos para servirem de apoio e de verificação dos produtos obtidos no aerolevantamento, os quais também foram utilizados para realizar a interpolação pelos métodos citados anteriormente. No total foram definidos 18 pontos de terreno, onde a distribuição destes pontos pode ser observada na Figura 3.

Figura 3 – Área de estudo com a distribuição dos pontos de apoio e verificação.



Fonte: Google Earth (2018).

Os pontos na imagem representam os pontos de apoio e verificação. As coordenadas desses 18 pontos foram definidas a partir de um levantamento GNSS dos mesmos. Os pontos de apoio foram utilizados como injunções no georreferenciamento das imagens e do MDT, no *software* do VANT.

A geração do MDT a partir dos interpoladores IDW e Krigagem foi feita com o uso das informações dos 18 pontos de apoio, ou seja, os pontos utilizados como injunção na aerotriangulação foram utilizados como referência para a interpolação, assim esses pontos seriam usados como apoio tanto na fotogrametria como na modelagem de dados espaciais.

A partir de vários testes realizados no Arcgis, foi realizada a interpolação das altitudes dos 18 pontos de apoio pelo método da Krigagem e IDW, onde os parâmetros do semivariograma são apresentados na Tabela 1. Para avaliar a qualidade dos interpoladores foi efetuada a validação cruzada, observando o REMQ referente a diferença entre o valor amostral e o valor estimado que o interpolador calculou.

Tabela 1 – Parâmetros do semivariograma.

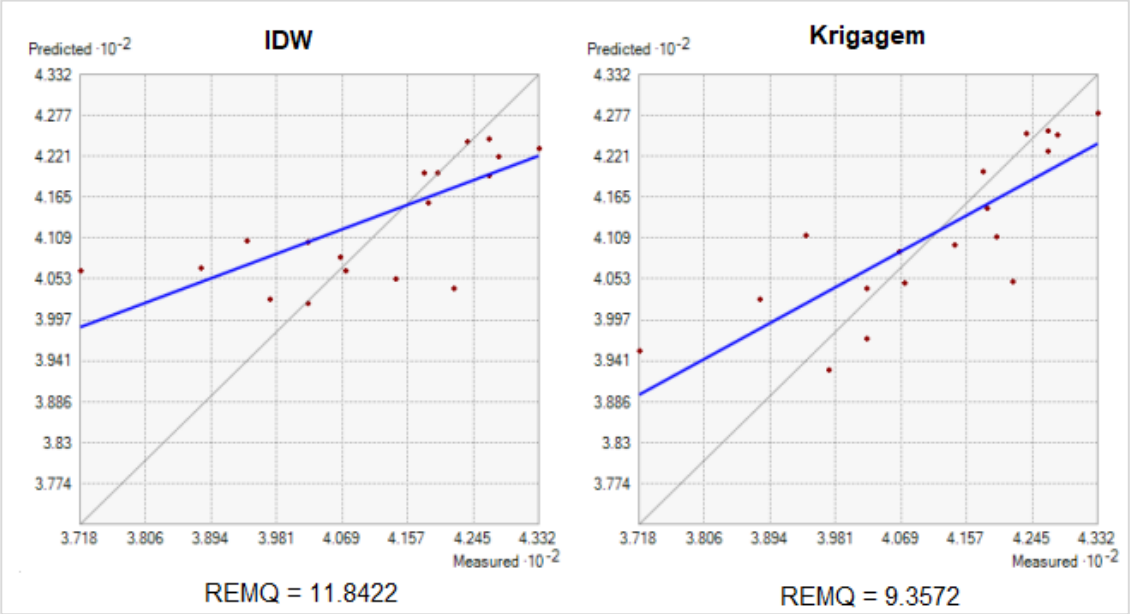
Método	Krigagem ordinária
Modelo	Esférico
Efeito pepita	0
Patamar	254,081
Alcance	711,96

A última etapa consistiu na comparação dos resultados obtidos com o MDT gerado a partir da aerotriangulação, uma vez que este foi tomado como referência. Para isto, foram selecionados 30 pontos de verificação no MDT de referência, os quais tiveram suas altitudes definidas tanto no MDT de referência quanto nos MDTs gerados a partir dos interpoladores IDW e Krigagem. Dessa forma, foram calculadas as discrepâncias altimétricas entre o MDT de referência e os demais estimados. A partir dessas diferenças, foi gerado um mapa das discrepâncias (entre o produto de referência e o obtido pelo interpolador) para os dois métodos, IDW e Krigagem, considerando o mesmo intervalo, para assim poder determinar qual dos interpoladores chegou no melhor resultado, ou seja, menos distante do gerado a partir da aerotriangulação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Antes de gerar os mapas interpolados, ou seja, os MDTs, foram analisadas as validações cruzadas obtidas em ambos os processos de interpolação. Além disso, nesse processo também foi calculado o REMQ entre a amostra e o interpolador, afim de verificar qual dos dois apresentou melhor resultado, conforme a Figura *4*.

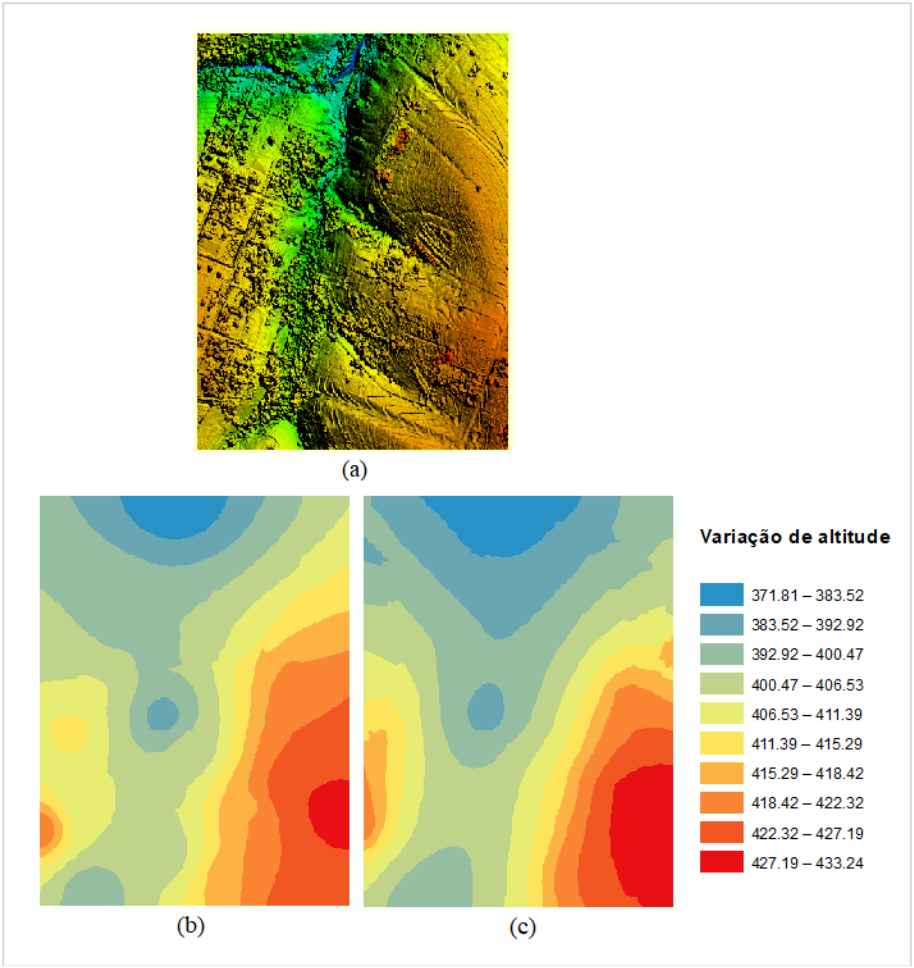
Figura 4 - Validação cruzada dos métodos IDW e Krigagem.



Observando os valores de REMQ da validação cruzada, o método de Krigagem obteve melhor resultado. Entretanto, a diferença nos valores de REMQ dos dois interpoladores não foram muito discrepantes, sendo gerados os MDTs pelos dois métodos, de acordo com a Figura 5b e Figura 5c.

Vale ressaltar que a legenda foi construída utilizando o método de classificação manual com os mesmos intervalos para os mapas dos dois interpoladores, o que facilita a comparação dos métodos.

Figura 5 - MDTs gerados a partir da aerotriangulação (a); interpolação por IDW (b); e interpolação por Krigagem (c).



Comparando os MDTs gerados pelos interpoladores com o de referência, pode-se observar que todos seguiram um comportamento parecido. Tanto no modelo gerado com o IDW quanto por Krigagem, a região norte apresentou altitudes mais baixas, enquanto que no sentido sudeste apresentou altitudes mais elevadas, ou seja, percebe-se que em ambos os métodos destacou a presença de uma depressão com encostas e espigão, conforme apresentado no produto de referência. Portanto, em geral, os dois apresentaram as características mais acentuadas do relevo. Entretanto, comparando os métodos entre si, o advindo do interpolador IDW apresentou-se mais suave, como era o esperado, conforme exposto por Alves e Vecchia (2011).

Para fazer a comparação dos interpoladores com o MDT de referência, foram selecionados 30 pontos de verificação na área de estudo. A Figura 6 mostra a dispersão dos pontos de verificação na área. A partir das altitudes conhecidas desses pontos definidas no MDT de referência, e determinadas nos MDTs gerados pelos interpoladores IDW e Krigagem, foram calculadas as discrepâncias dos pontos entre o produto de referência e o estimado. Desse modo, a partir destas discrepâncias (dos pontos de verificação), foi realizada outra interpolação afim de se obter um mapa das discrepâncias da área total entre os interpoladores e o MDT de referência, além de calcular o REMQ dessas discrepâncias para verificar qual obteve melhor resultado (Figura 7). As classes definidas para os mapas das discrepâncias foram determinadas manualmente e com os mesmos intervalos para as duas legendas, afim de evidenciar as diferenças entre eles.

Figura 6 – Distribuição dos 30 pontos de verificação na área.

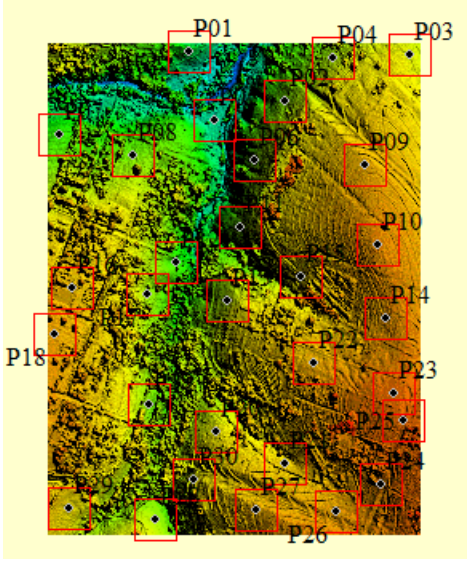
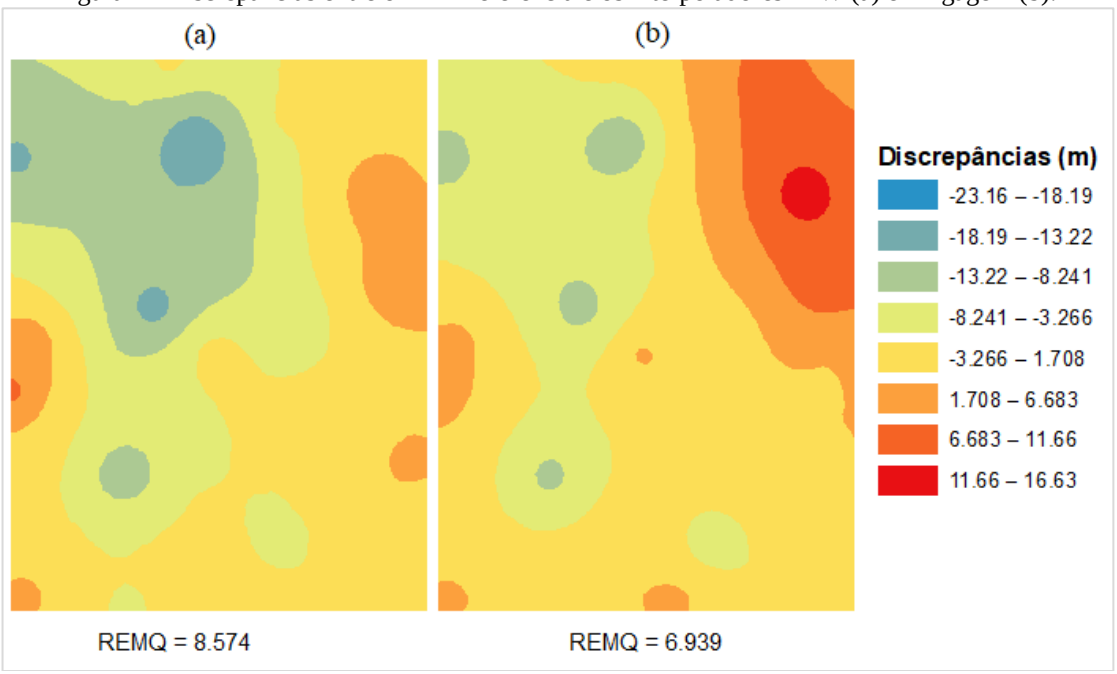


Figura 7 - Discrepâncias entre o MDT referência e os interpoladores IDW (a) e Krigagem (b).



Analisando os mapas das discrepâncias entre o MDT de referência e os interpoladores, pode-se perceber que ambos os modelos tiveram padrão de erro similar, ou seja, os erros seguiram um mesmo comportamento em relação superfície. No mapa das discrepâncias do IDW os maiores valores de discrepâncias estiveram na região mais baixa, na região do córrego d'água, sendo obtidas discrepâncias negativas, ou seja, o interpolador superestimou os valores nessa região. Já no mapa das discrepâncias da Krigagem, os maiores valores de discrepâncias ficaram próximos à região do córrego d'água, ou seja, na região com ascensão do relevo, sendo obtidas discrepâncias positivas, o que significa que o interpolador subestimou. Ao observar as regiões com maiores erros em ambos os mapas, estas são as que estão com ausência de pontos de controle, ou seja, como a interpolação necessita da espacialização dos pontos, a ausência dos mesmos acarreta nos maiores erros. Em outras palavras, nos locais onde haviam maior quantidade de pontos para interpolação o resultado foi mais preciso em ambos os modelos.

Além disso, com base no REMQ, o interpolador da Krigagem obteve melhor resultado que o IDW (Figura 7). Isso significa que este interpolador obteve os menores erros e, portanto, está mais próximo do obtido pela aerotriangulação. Entretanto, ao analisar as discrepâncias, nota-se que o mesmo obteve valores altos, superior a 10 metros, não sendo tão apropriado para algumas aplicações, visto que a precisão obtida não foi muito boa.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, ambos os interpoladores obtiveram resultados parecidos, sendo a Krigagem mais precisa que o IDW, uma vez que obteve menor valor de REMQ (validação cruzada) e menores discrepâncias nos pontos de verificação. Logo, a Krigagem foi a que mais se aproximou do MDT obtido pela aerotriangulação. Entretanto, os mapas das discrepâncias entre o produto de referência e os produtos obtidos pelos interpoladores ficaram parecidos, sendo que os maiores valores estiveram nas regiões com ausência de pontos. Nas demais regiões, as discrepâncias foram similares, o que significa que a Krigagem não foi tão melhor que o IDW. Além disso, mesmo que a Krigagem apresentou resultados melhores que o IDW, esta também apresentou valores elevados de discrepâncias, visto que alguns pontos tiveram discrepâncias em torno de 10 metros. Porém, em uma análise geral, em ambos os mapas das discrepâncias, a maior parte da região obteve baixas discrepâncias, em torno de 5 metros, que dependendo da aplicação, pode ser utilizado.

Para futuros trabalhos, um método para tentar melhorar a precisão obtida é utilizar uma quantidade maior de pontos e optar por uma distribuição mais homogênea na área de estudo. Se o número de pontos fosse elevado e melhor distribuídos, provavelmente os resultados da geoestatística seria melhor, uma vez que as áreas de maiores discrepâncias foram aquelas com menor quantidade de pontos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio a pesquisa (Processo nº 2015/06035-6); à CNPq pela bolsa de mestrado e ao Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas (PPGCC) pela infraestrutura fornecida.

REFERÊNCIAS

ALVES, E. D. L. A.; VECCHIA, F. A. S. Análise de diferentes métodos de interpolação para a precipitação pluvial no Estado de Goiás. **Acta Scientiarum. Human and Social Sciences**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 193-197, 2011.

CAMARGO, E. C. G. **Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (krigagem) no Sistema de processamento de informações georreferenciadas (Spring).** 1997. 124 p. Dissertação (mestrado em sensoriamento remote). INPE, São José dos Campos.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. Análise espacial de superfícies. In: **Análise Espacial de Dados Geográficos**. São José dos Campos, SP: INPE. 2002.

EL-SHEIMY, N.; VALEO, C.; HABIB, A. **Digital terrain modeling: acquisition, manipulation and applications.** (Artech House Remote Sensing Library). 7. ed. Norwood, MA: Artech House, 2005. 257 p.

KOZAR, B.; LAWRENCE, R.; LONG, S. D. Soil Phosphorus and Potassium mapping Using a Spatial Correlation Model Incorporating Terrain Slope Gradient. **Kluwer Academic Publishers**, n.3, p.407-417, 2002.

LUCAS, T.P.B.; PLEC, D.; ABREU, M. L.; PARIZZI, M. G. Identificação de interpoladores adequados a dados de chuva a partir de parâmetros estatísticos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.13, p.7-21, 2013.

SANTANA, R. A.; SANTOS, N. T. Utilização de técnicas geoestatística na otimização de amostragem em parcelas de povoamentos de Tectona Grandis. In: **XIX Simpósio Nacional de Probabilidade Estatística**. p. 1-6, 2010. Disponível em: https://goo.gl/Jnjpfi. Acesso em: jan de 2018.

SILVA, D. C.; TOONSTRA, G. W. A.; SOUZA, H. L. S.; PEREIRA, T. Á. J. Qualidade de ortomosaicos de imagens de vant processados com os softwares Aps, Pix4d e Photoscan. **V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife, Pernambuco. 2014.

VALERIANO, M. M.; PRADO, H. Técnicas de geoprocessamento e de amostragem para o mapeamento de atributos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 997-1005, 2001.

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL A PARTIR DE *GEOTAGGING* DE FOTOGRAFIAS DISPONÍVEIS NA REDE SOCIAL FLICKR VOLTADAS AO TURISMO EM SALVADOR-BA

THAÍS GÓES DE SOUZA[1]
ELIAS NASR NAIM ELIAS[2]
VIVIAN DE OLIVEIRA FERNANDES[3]

Escola de Engenharia de Agrimensura[1]
Universidade Federal da Bahia - UFBA[2,3]
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – PPEC, Salvador, BA
thaisgdsouza@gmail.com, elias_naim2008@hotmail.com, vivian.fernandes@ufba.br

RESUMO - O artigo analisa a distribuição espacial dos turistas na cidade de Salvador a partir da visualização da geolocalização de fotografias publicadas na rede social Flickr, visando demonstrar o estudo das marcações geográficas como um instrumento para realizar correlações espaciais. *Geotagging* é definida como uma marcação geográfica presente nas fotos. O objetivo do artigo é representar por meio de mapas temáticos a densidade das fotos dos visitantes em função da distribuição das marcações retiradas da rede social, identificando áreas com padrão de aglomeração espacial. Para tal, foi traçado um desenho qualitativo e quantitativo de pesquisa, o qual se baseou na modelagem teórica proposta por Kádár (2013), em que o autor recupera as informações geográficas em banco de dados extraídos da Interface de Programação de Aplicativos do Flickr; correlaciona a densidade de fotos e objetos geográficos de uma determinada área à concentração dos turistas na cidade; e diferencia o visitante do residente da cidade devido à distribuição temporal de publicação das fotos de usuários específicos. Como resultados desse trabalho foram obtidas representações espaciais a partir do modelo de grade para identificar as diferenças espaciais por ano de análise.

ABSTRACT - This paper analyses the tourists spatial distribution in Salvador City, from the geotagging visualization of photos published on Flickr's hosting service, aiming to demonstrate the study of geographic markings as instrument to perform spatial correlations. Geotagging is defined as a geographic markup present in the photos. The aim is to represent, by the thematic maps, the density of the visitor's photos, correlating with the markups from the social network, identifying areas with spatial agglomeration standard. To do this, it designed a qualitative and quantitative study, which was based in a theoretical modelling proposed by Kádár (2013), who get back the geographic information in the database extracted from the Flickr's application programming interface; correlates the photos density and the geographic objects of a determinate area with tourists concentration in the city; and differentiates the visitor form the city habitant due to the temporal distribution publication of specific users photos. As results, this work obtained spatial representations by the grid model to identify the spatial differences by year of analysis.

1 INTRODUÇÃO

Os avanços na tecnologia da informação modificaram o modo de interação entre os produtores e os usuários da rede social. Atualmente, as representações através das fotografias publicadas nestas redes revelam marcas digitais dos usuários com o uso das marcações geográficas (*geotagging* – correlato em inglês) para a localização dos lugares e permite um estudo das áreas vividas por turistas que chegam à cidade, ao passo, que podem ser importante ferramenta de gestão.

Geotagging ou Geolocalização é um método que compõe dados de identificação geográfica. Há vários meios em que se pode adicionar uma marcação geográfica nas redes sociais, fotografias, mensagem de texto em *QR Code* ou *Código QR* e *feed RSS.* O *QR Code* é entendido por código de barra em duas dimensões e caracteres decodificados em uma imagem com alta capacidade de armazenamento acessado a partir de uma câmera de telefone celular ou programa de computador. Pode ser gerado a partir de um texto, endereço de web, número ou mensagem de texto (DENSO-WAVE, 2011). O feed RSS (Rich Site Summary ou Really Simple Syndication) é um formato web que permite aos usuários inscritos em páginas eletrônicas a atualização dos conteúdos publicados no seu leitor de feeds, sem precisar navegar por

sites (MURUGESAN, 2007) cujos dados podem fornecer a latitude e longitude geográfica de um determinado lugar. Assim, a marcação geográfica permite informar o local de uma fotografia, um *feed RSS* ou de uma página web, não somente a partir de palavras-chave, título e texto.

A prática de visitar outras cidades é uma atitude antiga das pessoas, contudo, o que é particular a este processo, consequente ao contemporâneo é a modernização dos hábitos dos turistas, como a consulta às imagens e vídeos dos lugares a serem visitados fisicamente; o uso de câmeras com GPS integrado, a tecnologia 4G em dispositivos móveis ao alcance em todo tempo e maioria dos espaços. As imagens capturadas pelo visitante fotógrafo, passíveis de marcações, carregam importantes dados virtuais que podem revelar espaços de adensamento dos visitantes na cidade.

A cidade de Salvador atrai visitantes durante todo o ano devido ao turismo histórico – o mais representativo; litorâneo e festivo. Todavia, são escassos detalhamentos atualizados quanto ao uso dos espaços turísticos. Diante desta problemática buscou-se detalhar através dos *geotaggings* de fotografias em redes sociais. Pensar em perfis dos movimentos e hábitos dos viajantes na cidade é trazer o potencial destas *geotaggings* com as fotografias que na maioria das vezes são capturas por dispositivos móveis e divulgadas através das redes sociais.

O desconhecimento sobre o padrão espacial dos visitantes nas grandes cidades turísticas e na cidade de Salvador é um ponto a ser superado para uma gestão consciente e estratégica. O conhecimento sobre dados espaciais disponíveis gratuitamente em redes sociais como o Flickr pode revelar grandes oportunidades para a gestão do espaço urbano soteropolitano.

A divulgação da localização geográfica é instrumento moderno e importante para realizar algumas correlações espaciais. Durante todo o ano, a cidade recebe turistas de inúmeros locais do mundo, apresentando concentração urbana desses habitantes nos períodos de alta estação. Estas pessoas deixam a cidade, contudo divulgam importantes dados sobre o espaço. Estes dados podem enriquecer o planejamento estratégico e gestão territorial da cidade de Salvador, detalhando os lugares adensados que atraem a visitação pública.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

O presente estudo emprega a metodologia proposta por (KÁDÁR, 2013), aplicando a análise espacial do turismo em Salvador. Para tal, a análise se divide em quatro etapas, conforme os itens a seguir.

2.1 Estudo de caso

Segundo os dados do censo 2010 do IBGE, a cidade de Salvador, Bahia apresenta área total de 692,818 km², 2.675.656 habitantes, densidade demográfica de 3.859,44hab/km² e população estimada em 2017, de 2.953.986 habitantes. Estes dados oficiais revelam alta densidade demográfica e limitação geográfica apesar de apresentar atualmente declínio na taxa populacional.

A antiga cidade de Salvador definida como Patrimônio Cultural da Humanidade da UNESCO no ano de 1985 possui na poligonal do seu centro um conjunto urbanístico e arquitetônico de traçados íngremes, ruas apertadas e igrejas seculares (IPHAN, 2018). Este processo histórico favoreceu o marketing do turismo cultural urbano como o principal holofote de atração dos visitantes.

> É uma cidade cuja paisagem é rica de contrastes, devidos não só à multiplicidade dosestilos e de idades das casas, à variedade das concepções urbanísticas presentes, aopitoresco de sua população, mas, também, ao seu sítio ou, ainda melhor, ao conjunto desítios que ocupa: é uma cidade de colinas, uma cidade peninsular, uma cidade de praia, umacidade de dois andares, como é frequente dizer-se, pois o centro se divide em uma CidadeAlta e uma Cidade Baixa. (SANTOS, 2008, p. 35).

Ademais, as estratégias de atratividade do turista procedida por gestores públicos e empresariado do setor de serviços intervêm diretamente na dinâmica sociocultural da cidade. Tudo para promover a espetacularização do espaço, como a promoção das cidades-sede durante o período dos jogos de futebol. Todavia, na metrópole soteropolitana a maciça promoção do lugar está relacionada ao turismo histórico. O sistema capitalista cria espaços novos para a acumulação do capital com a indústria do turismo.

> Reforçar a imagem da cidade através da organização de espaços urbanos espetacularestornou-se um meio de atrair capital e pessoas (do tipo certo) num período (desde 1973) decompetição interurbana intensificada e de empresanamento urbano. (HARVEY, 1989, p.92).

Do ponto de vista socioespacial, é importante destacar o sítio do Pelourinho que passou pelo processo denominado de gentrificação - modificação do modo de vida de um lugar, sua população devido à revitalização de áreas degradadas e especulação imobiliária ao interesse e lógica do turismo. De acordo, com DIAS (2010) a refuncionalização do Pelourinho, iniciada em 1992, é designada por uma parte expressiva dos pesquisadores do urbanismo de requalificação, ou gentrificação, palavra que tem sua origem no vocábulo da língua inglesa "*gentrification*", que significa tornar "nobre" um determinado local em decadência por perda de dinamismo econômico, e que passa a conhecer o processo das deseconomias de aglomeração ou das deseconomias da urbanização. A figura 1 exibe o mapa de localização da área de estudo do município de Salvador-BA

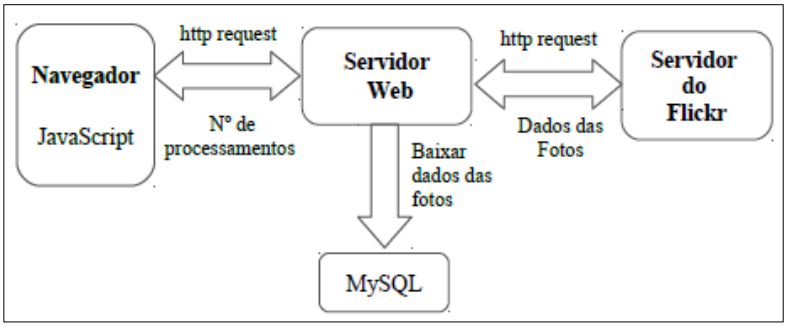
Figura 1 – Mapa de Localização do município de Salvador-BA

Fonte: Rocha et al. (2013).

2.2 Aquisição dos dados

O processo de aquisição dos dados, conforme KÁDÁR (2013) iniciou-se com o acesso da API (*Application Programming Interface* ou Interface de Programação de Aplicativos) do Flickr, para o *data sraping* (técnica de extração dos dados). Nesta fase, delimitou-se a área a ser estudada nas coordenadas geográficas 12°45'14,98"S; 38°39'33,46"W / 13°0'52.86"S; 38°15'34.71" W a partir do Google Earth. Estas abrangem uma área maior que a cidade de Salvador, a fim de garantir maior segurança para extração dos dados. Em acordo ao protocolo desta API, a extração foi realizada através de solicitação (*http request*) para conexão com servidor web. O formato *requests* administra a comunicação pedido-resposta e encaminha os pedidos através do navegador web. O servidor do Flickr recebeu o pedido, realizou a pesquisa e, em resposta, enviou a informação solicitada em formato *JSON*. Este formato é utilizado para descodificar a resposta do servidor do Flickr e interpretar o seu conteúdo. Em sequência com código *JavaScript* e controle do algoritmo recursivo, um suplemento *Script PHP*, entendido como uma sequência de comandos em linguagem de código aberto, enviou solicitações http para a API da rede Flickr, onde armazenou-se os dados extraídos das respostas em um banco de dados MySQL, um gerenciador de banco de dados relacional de código aberto, conforme a figura 2:

Figura 2 – Processo de aquisição dos *geottagings* das fotografias



Fonte: Adaptado de Kádár e Gede (2013).

Os atributos armazenados foram: o número de identificação única da foto (id_foto), número de identificação do proprietário, data e hora da sua criação, as coordenadas geográficas, valores de acurácia, título da postagem e o Localizador Uniforme de Recurso ou Uniform Resource Locator (URL), correspondente ao endereço na rede mundial de computadores onde se pode encontrar a foto. Todavia, para rastrear a difusão espacial foram utilizados os dados brutos extraídos das fotos georreferenciadas coletadas do Flickr em formato csv.

2.3 Seleção dos dados

Nesta etapa foi realizada uma filtragem dos dados para melhor manuseio dos atributos em arquivo csv. Foram selecionados os dados referentes à acurácia posicional de 16 metros da câmera, em que cada ponto/fotografia adquiriu uma identificação de valor numérico único, data de publicação da fotografia, relacionada ao seu par de coordenada. Para diferenciar se as imagens foram obtidas por um turista ou residente, foi seguida a metodologia proposta por Girardin et al (2008) que calcula a diferença entre data e hora das primeiras e últimas imagens dos usuários tiradas na área de estudo. Se esta diferença for menor que 5 dias, o usuário é considerado um visitante, caso contrário é considerado um residente. Dessa forma, os totais foram:

Quadro 1 - Quantitativo das *geotaggings* analisadas por ano na cidade de Salvador-BA

Quantidade das *geotaggings* (unidades)	
2012	13408
2013	17406
2014	16752
2015	16713

Fonte: Autores, 2018.

2.4 Análise dos dados

As análises foram realizadas com ferramentas de análise espacial do programa QGIS 2.14. Inicialmente, foram inseridos os arquivos das feições pontuais georreferenciadas na área de Salvador, Bahia. E em seguida foi criada uma grade regular de tamanho 1 por 1 km no referido local. Além disso, foram inseridos os arquivos vetoriais de polígonos das zonas de expansão da cidade (Miolo, Subúrbio, Área Central, Expansão Litorânea) para melhor análise interpretativa da densidade das fotografias dos turistas. Diante dos dados, realizou-se a contagem dos pontos em cada grade da malha gerada. nos polígonos, das feições pontuais a serem analisadas. Em sequência, efetuaram-se as operações de subtração para identificar as diferenças espaciais correlacionando os anos de 2013 (Copa das Confederações) e 2014 (Copa do Mundo de Futebol) ao ano 2015. Também foi analisado o ano de 2012 ao ano de 2015, período sem ocorrência de grandes outros eventos além do carnaval, que se justifica uma maior atratividade de visitantes à cidade. Com a associação das *geotaggings* ao sistema de grades regulares, quantificou-se em unidades e percentuais quanto às células vazias, às áreas do centro, orla atlântica, subúrbio e miolo da cidade com maiores e menores feições, permitindo visualizar diferenças nas concentrações espaciais das *geotaggings* destes períodos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise espacial

Conforme descrito no item 2.4 deste estudo foi realizado uma análise comparativa da concentração dos *geotaggings* publicados por turistas na cidade de Salvador. Foram verificadas diferenças na contagem das feições pontuais por período de análises formadas devido a malha de grades de 1 x 1 km.

O método de grades regulares é utilizado para a visualização e análise dos dados. Segundo Bueno (2014, p. 62, apud GRASLAND; MADELIN, 2006), um sistema de células regulares dispostas em forma de grade pode ser utilizado como uma base para a geração de um suporte geográfico estável para a disseminação de dados.

Após as etapas de construção da grade e atributos filtrados foram empregadas um total de 605 grades em Salvador. Vale ressaltar que as *geotaggings* referem-se as feições pontuações georreferenciadas. Por meio da análise das diferenças destas feições pontuais foi possível reconhecer contrastes na concentração destas marcas em Salvador-BA, o que reflete áreas onde houve maior publicação por parte dos usuários.

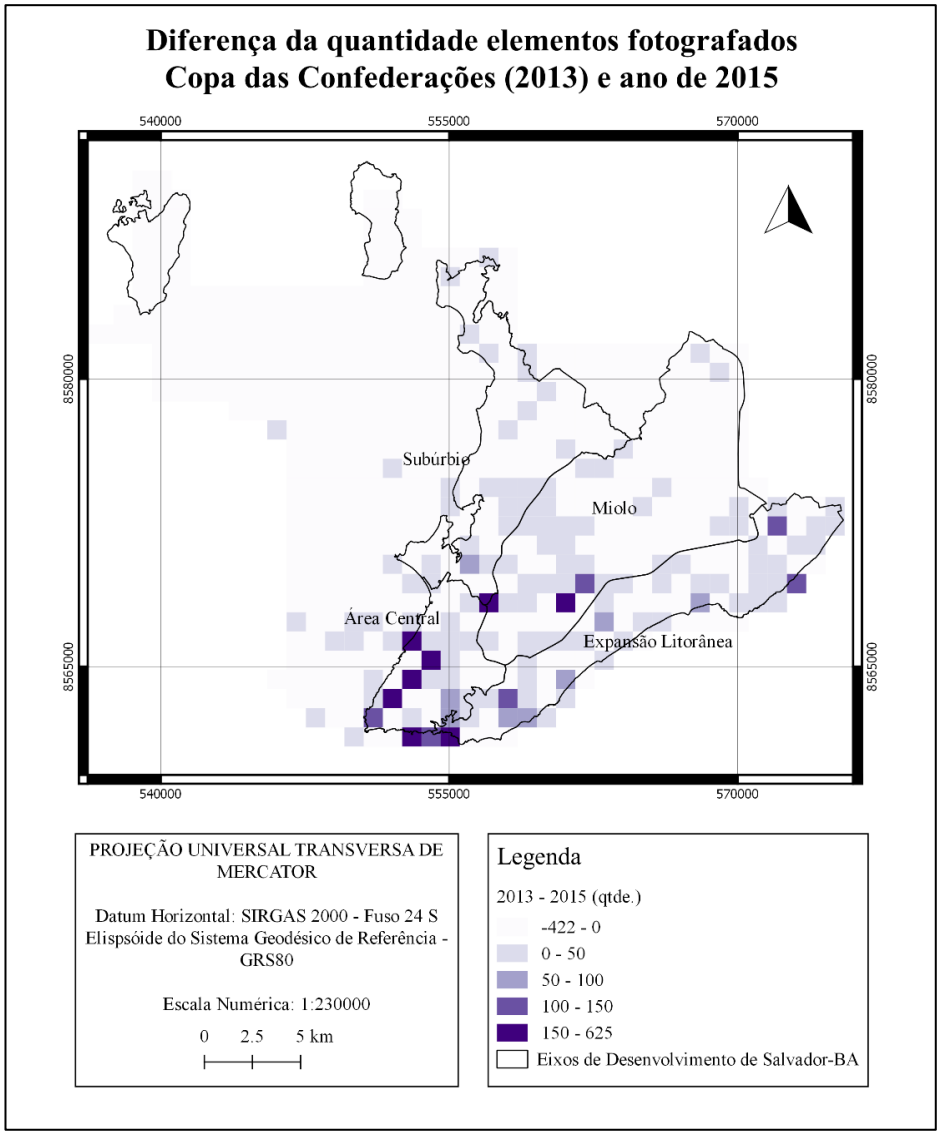
Analisando as diferenças entre os anos de 2013 em que houve jogos da Copa das Confederações na cidade e 2015 (Figura 3), notou-se maior concentração dos *geotaggings* durante 2015. Porém, não houve uma discrepância elevada de acordo ao Quadro 2, que exibe os percentuais obtidos referentes a quantidade de células onde as feições pontuais foram maiores e menores nos anos verificados.

Quadro 2 - Relação das grades criadas por ano de análise

2013 - 2015		
Característica analisada	Quantidade de Grades	Porcentagem (%)
Quantidade de células vazias	328	54,21
2013 com mais feições que2015	133	21,98
2013 com menos feições que 2015	144	23,8

Fonte: Autores, 2018.

Figura 3 - Mapa da diferença da concentração das *geotaggings* das fotografias entre a Copa das Confederações (2013) e ano de 2015 em Salvador-Bahia



Fonte: Autores, 2018.

As diferenças entre os anos de 2014 - Copa do Mundo de Futebol na cidade e 2015 (Figura 4) demonstraram maior concentração dos *geotaggings* durante o ano dos jogos. Todavia, não houve uma discrepância elevada de acordo

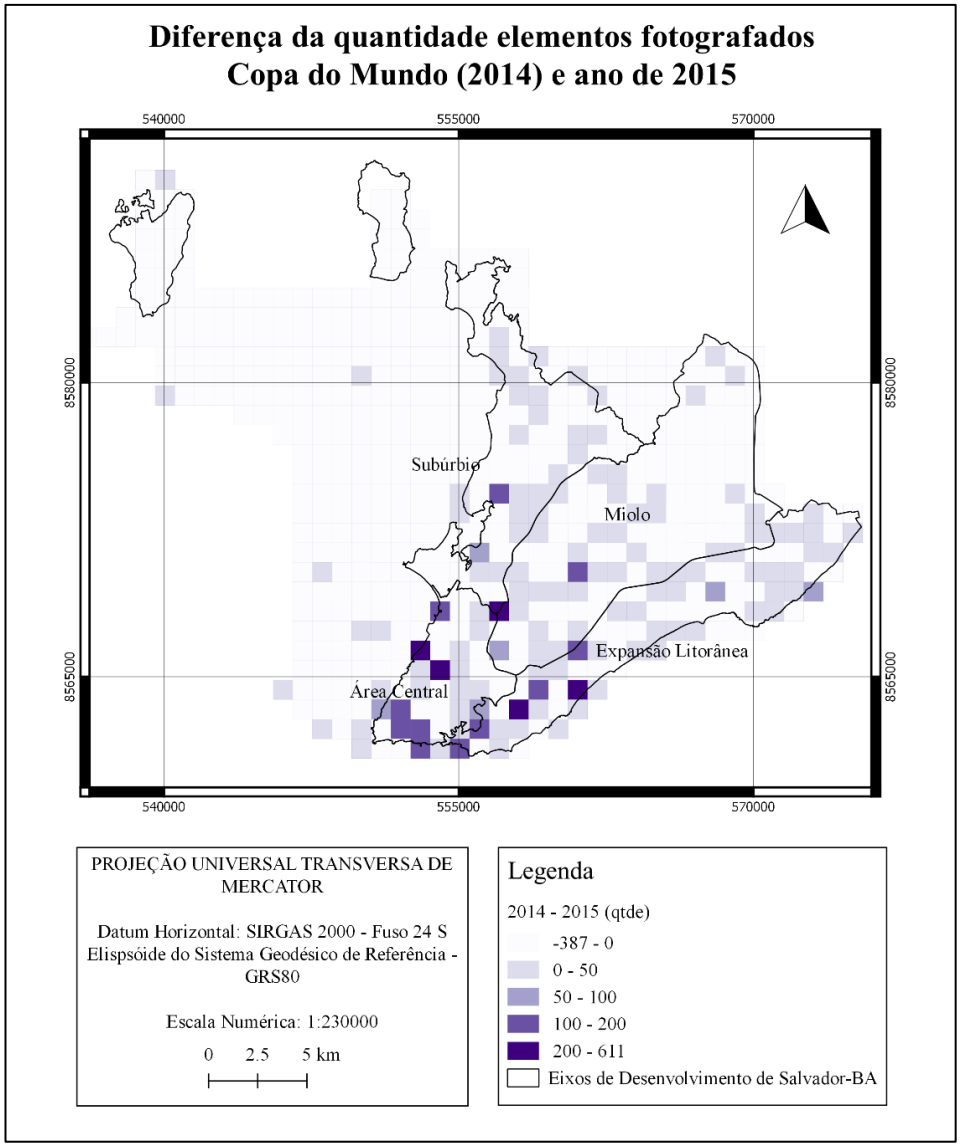
ao Quadro 3, que exibe os percentuais referentes as células em função do quantitativo de *geotaggings* das fotografias por ano comparativo.

Quadro 3 – Relação das grades criadas por ano de análise

2014 - 2015		
Característica Analisada	Quantidade de Grades (unidades)	Porcentagem (%)
Quantidade de células vazias	329	54,38
2014 com mais feições que2015	136	22,48
2014 com menos feições que 2015	140	23,14

Fonte: Autores, 2018.

Figura 4 – Mapa da diferença da concentração das fotografias *geotaggings* entre a Copa do Mundo de Futebol (2014) e o ano de 2015 em Salvador-Bahia



Fonte: Autores, 2018.

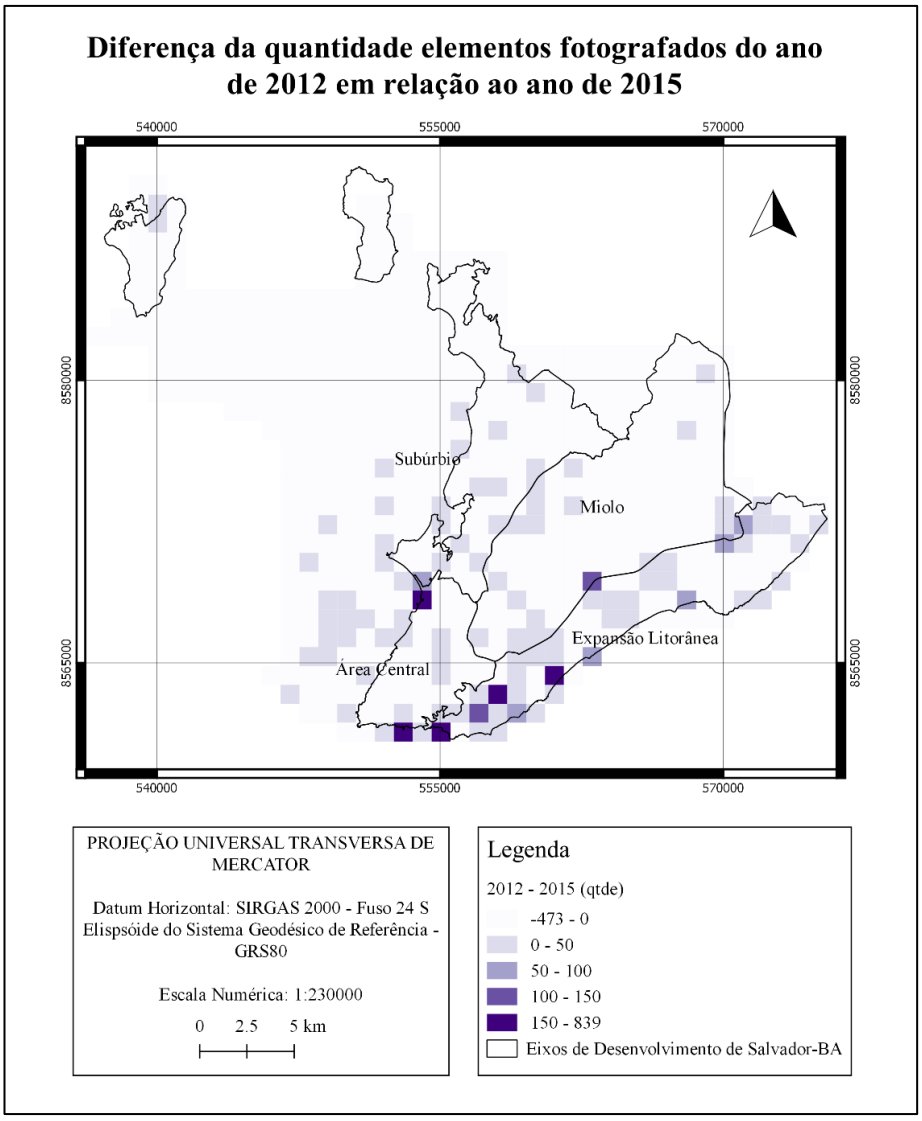
As diferenças entre os anos de 2012 e 2015 em que não houve nenhum grande evento da cidade que se justifica maior atratividade de visitantes na cidade (Figura 5) indicaram maior concentração dos *geotaggings* durante o ano de 2015. Neste caso, a diferença apresentou maior valor que nas análises anteriores de acordo ao Quadro 4.

Quadro 4 – Relação das grades criadas por ano de análise

2012 - 2015		
Característica Analisada	Quantidade de Grades (unidades)	Porcentagem (%)
Quantidade de células vazias	334	55,21
2012 com mais feições que 2015	105	17,35
2012 com menos feições que 2015	166	27,43

Fonte: Autores, 2018.

Figura 5 - Mapa da diferença da concentração das *geotaggings* das fotografias entre os anos de 2012 e 2015 em Salvador- BA



Fonte: Autores, 2018.

Dessa forma, houve maior quantidade de células nas áreas do centro antigo da cidade em todas as análises. Esta concentração dos turistas ratifica o interesse turístico nos espaços do Centro antigo da cidade: Pelourinho, Mercado Modelo, Porto de Salvador – atracação de cruzeiros; áreas da orla atlântica e a área do miolo da cidade, com o Centro Administrativo da Bahia (Figura 2, 3 e 4). Este aspecto reflete áreas onde houve maiores contribuições por parte dos usuários. O quadro 5 expõe os quantitativos e percentuais onde as diferenças foram maiores e menores de acordo ao período de análise.

Quadro 5 – Diferença entre as feições por ano de análise

Diferenças entre as feições (unidades)	
2012 - 2015	-3305
2014 - 2015	39
2013-2015	693

Fonte: Autores, 2018.

O estudo da *geotagging* exige constante obtenção dos dados. O olhar do visitante se materializa através da lente de sua câmera, todavia a técnica baseada em *geotaggings* das fotografias não pode diagnosticar todos os aspectos das atividades turísticas. Estes dados virtuais revelam os espaços de consumo dos visitantes na cidade, contudo também apresentam disparidades.

No entanto, é fundamental levar em consideração a distribuição desigual dos dados geradosnos meios de comunicação social, a fim de compreender a natureza desses dados e usá-losde forma adequada. A distribuição das pegadas e das características dos contribuintes podeindicar a quantidade, qualidade e tipo de dados (KÁDÁR, 2013 p. 8 apud GOODCHILD, etal., 2013).

Ainda assim, o emprego do GPS de navegação em telefones celulares e câmeras fotográficas digitais com precisão posicional entre 10 e 15 metros permite obter a localização aproximada de determinados objetos na superfície terrestre demonstrando avanço tecnológico. Nos aparelhos móveis as limitações por variações no sinal da rede podem fornecer erro quanto a real localização ao analisar além da publicação das *geotaggings* as rotas dos turistas, por exemplo. Shoval e Isaacson (2010) afirmam que a determinação da posição geográfica do aparelho celular é limitada pela configuração de rede. Em um centro urbano mais denso o posicionamento do celular pode ser preciso dentro do raio de 100 m, mas ainda existem limitações para quantificar o movimento turístico em áreas urbanas.

As vantagens quantitativas desses grandes conjuntos de dados são por serem acessíveis e da internet. (KÁDÁR, 2013, p. 8, Id 2013). Além da aquisição do dado, do ponto de vista de quem divulga ou compartilha a sua localização geográfica e a experimentação do espaço na rede, ocorre também sem grandes custos financeiros e, assim de forma intensa.

4 CONCLUSÕES

Os resultados desta pesquisa revelaram o uso turístico espacial devido à densidade nas áreas de interesse por base na sua localização através da publicação das fotografias na rede social Flickr. Os turistas deixam a cidade, porém divulgam importantes dados sobre o espaço que podem enriquecer o planejamento estratégico e gestão territorial da cidade do Salvador, diagnosticando locais das atividades mais densas que atraem a visitação pública. Registrar imagens do lugar visitado é um costume razoavelmente antigo dos viajantes. O avanço e popularização da tecnologia móvel e incorporação da câmera ao aparelho celular atualizou este modo. A compreensão espaço-temporal do comportamento turístico com o rastreio das coordenadas geográficas é comprovadamente eficaz para o estudo e a gestão consciente e sustentável sobre o turismo na cidade. Voltar-se aos estudos destas informações compartilhadas é trazer luz as inúmeras avaliações a partir dessas marcas geográficas, seja quanto aos padrões dos movimentos turísticos, quanto aos traçados dos percursos dos visitantes com o posicionamento móvel, corroborando em outras pesquisas como as de campo. A aplicação das geoetiquetas foi eficaz para o mapeamento da atividade turística em Salvador, Bahia. Ademais, enseja-se que outras análises possam ser realizadas através dos *geotaggings*, como a identificação de perfis ou grupos sociais, etários dos visitantes que divulgam dados em rede social na cidade de Salvador.

REFERÊNCIAS

BUENO, M. DO C. **Grade estatística: uma abordagem para ampliar o potencial analítico de dados censitários**. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Campinas - SP: Tese (Doutorado em Demografia), 2014.

DIAS, Clímaco. **A refuncionalização do Pelourinho e a Guerra dos Lugares**. In. Salvador-Hamburgo: passado e presente da globalização. Salvador: Goethe-Institute, p. 92-97, 2010.

KÁDÁR, B., & GEDE, M**. Where Do Tourists Go? Visualizing and Analysing the Spatial Distribution of Geotagged Photography**. Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, v. 2, p. 78-88, 2013.

KÁDÁR, B. **Differences in the spatial patterns of urban tourism in Vienna and Prague**. Urbani Izziy, v.24. Issie: 2, p. 96-111, 2013.

HARVEY, D. **The Condition of Postmodernity: an inquiry into the origins of cultural change**. Oxford: Blackwell Publishers, England, 1989.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível < https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/salvador/panorama >. Acesso em 21 de fevereiro de 2018.

IPHAN. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Disponível em < http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/241/ >. Acesso em 30 de abril de 2018.

GIRARDIN, F.; F.D. FIORE.; C. RATTI e J. BLAT. **Leveraging explicitly disclosed location information to understand the dynamics of tourism: a case study**. "Journal of Location Based Services, England and Wales, v.2. Issue 1: 4th International Conference on LBS and TeleCartography Hong Kong, p. 41-56, 2008.

MURUGESAN, San. **Noções básicas sobre a Web 2.0**. Revista IT Professional, Washington, v. 9, n. 4, p. 34, 2007.

ROCHA, L. S.; FERNANDES, V.F.; BRITO, P.L. **Análise espacial através do estimador de intensidade kernel para as áreas sujeitas a riscos hidrológicos no município de Salvador-BA**. In. XXV Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro, Brasil, 2013.

SANTOS, M**. O centro da cidade do Salvador: estudo de geografia urbana**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo; Salvador: Edufba. p.208, 2008.

Shoval, N., M. Isaacson. **Tourist Mobility and Advanced Tracking Technologies**. Ed. S. Page. New York: Routledge, 2010.

SOBRE QR Code. Disponível em <http://www.denso-wave.com/qrcode/index-e.html>. Acesso em 04 outubro de 2018.

Yahoo. **Documentação da API do Flickr**. Disponível em <http://www.flickr.com/services/api/>. Acesso em 29 de abril de 2018.

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE NO CÁLCULO DE PRODUÇÃO EÓLICA UTILIZANDO O WINDSIM

GUILHERME LIRA[1]
LAIANE PEIXOTO DE ALMEIDA CAVALCANTE [1]
LIGIA ALBUQUERQUE DE ALCANTARA [1]

[1]Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
guilhermelira@live.com, laianepeixoto1@gmail.com, ligia.alcantara@yahoo.com.br

RESUMO – O aproveitamento dos ventos como fonte alternativa de produção de energia elétrica é considerada uma grande solução para apoiar e até mesmo substituir outras fontes da matriz energética brasileira, como térmicas e hidráulicas, que são consideradas altamente poluentes ou que provocam grandes impactos ambientais em decorrência de sua implantação. Porém, devido aos custos associados, sua implantação depende da garantia de produtividade. Para avaliar o potencial energético de uma região são necessários modelos que representem a superfície do local onde se pretende implantar um parque eólico. Nesses modelos são levados em consideração basicamente três tipos de dados para determinação da produção anual de energia (PAE): cobertura da terra (rugosidade), topografia e informações dos ventos (velocidade, direção, umidade, etc), mas apenas os dados de rugosidade não possuem metodologia definida para sua determinação. Diante do exposto, este trabalho tem a finalidade de avaliar a influência da rugosidade da cobertura do solo no cálculo da PAE usando o software Windsim. Foi simulado o cálculo da PAE para um parque eólico fictício utilizando três diferentes camadas de rugosidade. Os resultados alcançados mostraram que a classificação da cobertura do solo é um dos fatores determinantes na PAE, podendo inviabilizar parques produtivos quando mal-empregada.

ABSTRACT – The use of the wind as an alternative source of electric energy production is considered a great solution to support and even substitute other sources of the Brazilian energy matrix, such as thermal and hydraulic, that are considered highly polluting or that cause great environmental impacts due to its implantation. However, due to the associated costs, its implementation depends on the productivity guarantee. In order to assess the energy potential of a region, models are required that represent the surface of the site where a wind farm is to be implemented. These models are basically based on three types of data to determine the annual energy production (PAE): land cover (roughness), topography and wind information (speed, direction, humidity, etc.), but only roughness data have no defined methodology for their determination. Therefore, this work aims to evaluate evaluating the influence of the soil cover roughness in the SAP calculation using Windsim software. It was simulated the calculation of the PAE for a fictitious wind park using three different roughness representation. The results showed that the classification of the soil cover is one of the determining factors in the PAE, and it can make productive parks unfeasible when badly employed.

1 INTRODUÇÃO

A medida que a energia eólica se torna competitiva no mercado de energia, torna-se cada vez mais importante a evolução e precisão dos métodos para o conhecimento do potencial eólico de um local a partir da simulação do aproveitamento energético dos possíveis aerogeradores a serem instalados nos parques.

Parques eólicos são analisados e estudados profundamente antes de sair do papel. Muitos fatores são levados em consideração para sua construção, área do terreno escolhido, topografia, rugosidade, velocidade do vento e existência de aerogeradores próximos são alguns dos fatores avaliados. A análise minuciosa de todas as variáveis que possam causar algum impacto é imprescindível, pois todos estes fatores podem acarretar diferenças na simulação da produção de energia, subestimando ou elevando estimativas que podem inviabilizar um bom parque ou até desencadear multas para investidores de parques não produtivos.

Um dos cálculos realizados na simulação de novos parques é a altura do aerogerador, determinada de forma a garantir o máximo de aproveitamento dos ventos. Nesse caso, a rugosidade e a topografia do terreno podem influenciar na velocidade final dos ventos, impactando na razão cúbica da produção de energia de um parque. Dessa forma, boas condições de relevo e correntes de ar são imprescindíveis para uma boa produção de energia nessa modalidade de geração, mas a capacidade dos ventos manterem suas características de maneira uniforme também deve ser avaliada.

A rugosidade de um terreno é o conjunto de elementos, árvores, arbustos, vegetação rasteira e pequenas construções sobre a superfície do solo que causam resistência à passagem do escoamento dos ventos e que pode originar mudanças da direção e/ou pequenas turbulências. Jervell (2008)

Considerando bastante explorada a análise da qualidade de modelos digitais do terreno usados para simulação de parques eólicos e partindo do princípio que a análise da rugosidade de um determinado local é de extrema importância para entender o comportamento do vento em uma região, o presente trabalho tem por objetivo identificar se a variação de modelos de rugosidade influenciam o cálculo da produção anual de energia de um parque eólico.

Vale salientar que a escolha de um modelo de rugosidade, para avaliação de recursos eólicos, é um processo difícil e demorado. Para que sejam obtidas boas representações dos locais é necessário inspecionar paisagens e normalmente também há necessidade de visitas específicas "in loco". No entanto, apesar do esforço, os resultados obtidos na maioria das técnicas ainda são muito subjetivos e imprecisos. Por outro lado, a topografia é facilmente obtida em fomato digital através de dados de radar ou até mesmo laser. Além disso a topografia sofre poucas alterações com o tempo e, neste caso, pode ser considerada constante.

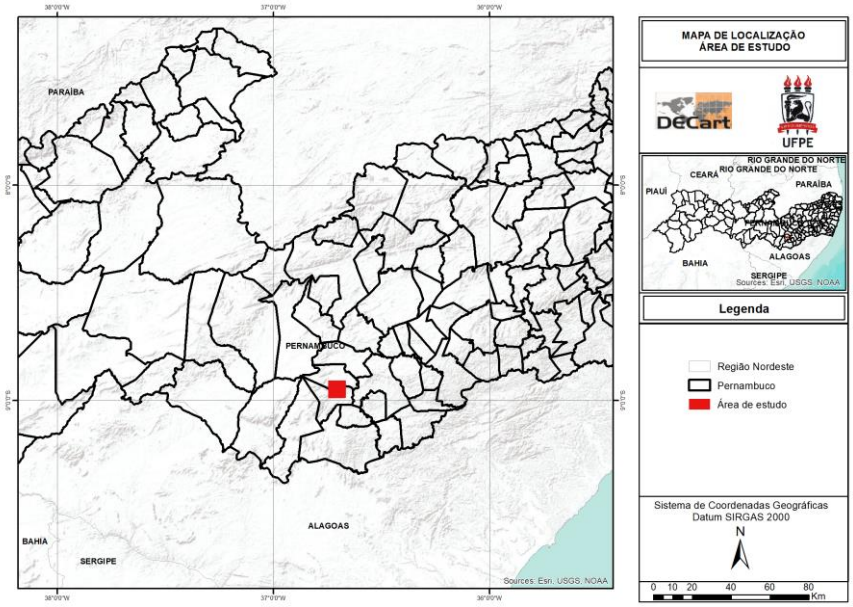
1.1 ÁREA DE ESTUDO

Para realização da análise foi definida uma área de simulação de implantação de um parque eólico. Os municípios escolhidos para o posicionamento do parque fictício foram Saloá e Paranatama, no estado de Pernambuco, onde já existem outros parques eólicos instalados. Ambos os municípios estão inseridos predominantemente na unidade geoambiental do planalto da borborema, que ocupa uma área que se estende do sul de Alagoas até o Rio Grande do Norte, e é formada por maciços e outeiros altos, com altitude variando entre 650 a 1.000 metros. Segundo CPRM (2005), o relevo nessa região é geralmente movimentado, com vales profundos e estreitos dissecados e a vegetação destas unidades é formada por Florestas subcaducifólica e caducifólica, próprias das áreas agrestes.

Os dados da campanha utilizado foram provenientes do dado de reanálise MERRA e da estação automática do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). O Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications (MERRA) é uma reanálise da NASA. O projeto se concentra na análise histórica dos ciclos hidrológicos em uma ampla gama temporal de tempo e clima. O Instituto Nacional de Meteorologia possui uma rede de estações meteorológicas automáticas de coleta de informações meteorológicas (temperatura, umidade, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade dos ventos, radiação solar) de minuto em minuto, representativas da área em que estão localizadas.

Sobre o comportamento do vendo na região, de acordo com a análise dos dados do MERRA e também através da análise dos dados do INMET(), a característica predominante do vento consiste em velocidades mais altas durante o dia, com direção predominante do vento de leste-sudeste (ESE) e sudeste (SE) com velocidades de até .

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autores (2018).

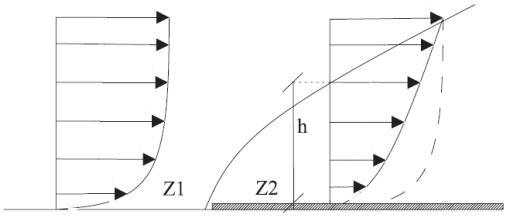
Dessa forma a área de estudo definida é uma região regular com 10 quilômetros de lado, cujo centro é o parque fictício. Para a simulação foram posicionados 10 aerogeradores da fabricante Suzlon, cada aerogerador com altura do

rotor de 65 metros e diâmetro do rotor com 64 metros. Este modelo foi escolhido devido à altura do rotor, mais próxima da superfície e consequentemente mais suscetível as turbulências geradas pela rugosidade. No posicionamento do layout do parque as distâncias necessárias para que não fossem geradas esteiras entre os aerogeradores também foram consideradas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Uma teoria que pode ser aplicada no caso do escoamento do vento sobre a superfície terrestre é a teoria da camada limite sobre uma placa plana, que demonstra que existe uma variação de velocidades do escoamento com a vertical sendo a velocidade na superfície nula e aumentando com o aumento da distância à placa, até atingir a velocidade de escoamento não perturbado. Esta variação é designada por perfil vertical de velocidades. Um exemplo da variação do perfil vertical de velocidades do vento em relação à diferença de rugosidade na superfície terrestre pode ser visto na Figura 2 (JERVELL, 2008).

Figura 2 - Influência da mudança de rugosidade no perfil vertical do vento.



Fonte – (Jervell, 2008).

Analisando a imagem pode-se observar a influência no perfil vertical do escoamento devido à mudança de rugosidade Z1 para Z2. O perfil da velocidade na superfície Z2 é mais aberto em relação ao perfil da superfície Z1, ou seja, há uma transferência da velocidade da parte inferior para a parte superior do perfil, causado pelo atrito superficial. A determinação da altura h torna-se de grande importância no posicionamento dos aerogeradores num determinado local, uma vez que, pode influenciar na produção de um aerogerador e nas questões de fadiga das pás do rotor devido a solicitações cíclicas às quais estão sujeitas, quando giram num campo de velocidades que varia na vertical. (Irwin&John,1979).

Em energia eólica são utilizados, normalmente, dois modelos matemáticos para prever o perfil vertical da velocidade: a lei logarítmica e a lei de potência. Contudo, ambos estão sujeitos a uma incerteza, devido à natureza complexa dos escoamentos turbulentos e pela dificuldade em caracterizar a superfície. (Ray et al., 2006).

O modelo da lei logarítmica é frequentemente utilizado para estimar a velocidade do vento a uma altura a partir de uma altura de referência. Pode-se determinar a velocidade do vento numa altura a partir de uma para a altura de referência (zr) e outra para a altura desejada (z). (Jervell, 2008).

$$V(z) = V(z_r) \times \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right)} \quad (1)$$

É importante ter em conta que tanto a lei de potência como a lei logarítmica, foram desenvolvidas para terrenos planos e homogéneos. No caso do presente trabalho, a orografia é complexa, sendo difícil a aplicação de modelos sem um grau de incerteza elevado.

A Tabela 1 apresenta alguns valores de z_0, que representa a rugosidade de referência do local, para diferentes tipos de superfície, para este trabalho foram usadas as classes (Z. Tao, 2013).

Classes	Z_0(m)
Pasto	0,02
Solo Exposto	0,01
Matagal	0,25
Vegetação Arbustiva	0,3
Vegetação Arbórea	0,4
Vilas e Cidades	0,5

Tabela 1 - Valores de z_0 (Z. Tao, 2013).

Na classificação supervisionada o observador escolhe uma amostra na imagem da área em estudo, contendo poucas centenas de pixels, de padrões por ele reconhecidos ou que possam ser identificados por outras fontes. Com base nestas amostras, o classificador separa e identifica cada classe selecionada utilizando regras estatísticas pré-estabelecidas (Schowengerdt, 1983; Adeniyi, 1985; Mather, 1999). Para esta classificação foi utilizado o Plugin de classificação semiautomática (SCP) do QGIS.

O SCP é um plugin gratuito de código aberto para QGIS que permite a classificação semiautomática (também classificação supervisionada) de imagens de sensoriamento remoto. Além disso, fornece várias ferramentas para o pré-processamento de imagens, o pós-processamento de classificações.

A topografia, ou modelo digital de terreno utilizado neste trabalho provém do programa Pernambuco Tridimensional (PE 3D), iniciado pela SEINFRA em março de 2014, tem o objetivo de realizar varredura a laser e obter ortoimagens de alta resolução de toda a superfície territorial pernambucana, cuja área é de 98.148km². A tecnologia utilizada é a LiDAR (*Light Detection And Ranging*), com captura de dados realizada por sensores e câmeras instalados em oito aviões, operados pelas empresas contratadas para o serviço Cirilo (2014). Um dos serviços contratados foi o perfilamento laser e geração de modelos digitais de terreno (1:5000) com erro altimétrico menor que 25 cm. Utilizando esses dados que foi gerado o Modelo Digital de Terreno para geração do GWS, que consiste, basicamente, de um conjunto de dados 2D com dados de elevação e rugosidade no formato .gws. Este é o primeiro passo na configuração das simulações de campo de fluxo da área de interesse. Isso é feito no módulo Terrain que é um módulo do WindSim. Como a resolução espacial do LiDAR é muito alta, e devido as limitações computacionais foi gerado um modelo com resolução espacial de 10 metros.

O software utilizado para estimar a produção de energia foi o WindSim, disponibilizado pela empresa Aeroespacial, que consiste basicamente em uma interface de usuário para o software de aplicação CFD chamado Phoenics desenvolvido por Cham (UK). WindSim é projetado para fluxo de vento e recursos cálculos específicos para projetos de energia eólica. É baseado em um sistema de malha modelando o vento e o terreno no modelo. O software usa uma base fenícia 3-D Reynolds Dimensional Solver médio de Navier-Stokes para resolver as condições do vento em cada uma das células no sistema de malha. Devido à crescente tendência de desenvolvimento de parques eólicos em terrenos complexos, há uma necessidade de softwares confiáveis e prático para esse tipo de terreno.

2 METODOLOGIA

Para a realização do trabalho foram utilizadas imagens Landsat-8, adquiridas gratuitamente no catálogo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE ou por meio do catálogo do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey – USGS*), também foram utilizados mapas de cobertura vegetal dos biomas brasileiros disponibilizados pelo IBGE e dados do MERRA (*Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications)*, disponibilizados pela NASA, também gratuitos. Como padrão para entrada de modelo digital de terreno foram utilizados dados do Projeto Pernambuco Tridimensional (CIRILO, 2014), disponibilizados pela Secretaria de Infraestrutura de Pernambuco. Os dados das imagens e dos recortes de MDT utilizados estão descritos abaixo. A Figura 4 apresenta a sequência dos procedimentos metodológicos aplicados no estudo.

- **L8-OLI 215/065**

  Data: 2017-12-22 Hora: 12:35:34

  Satélite: LANDSAT-8 Sensor: OLI

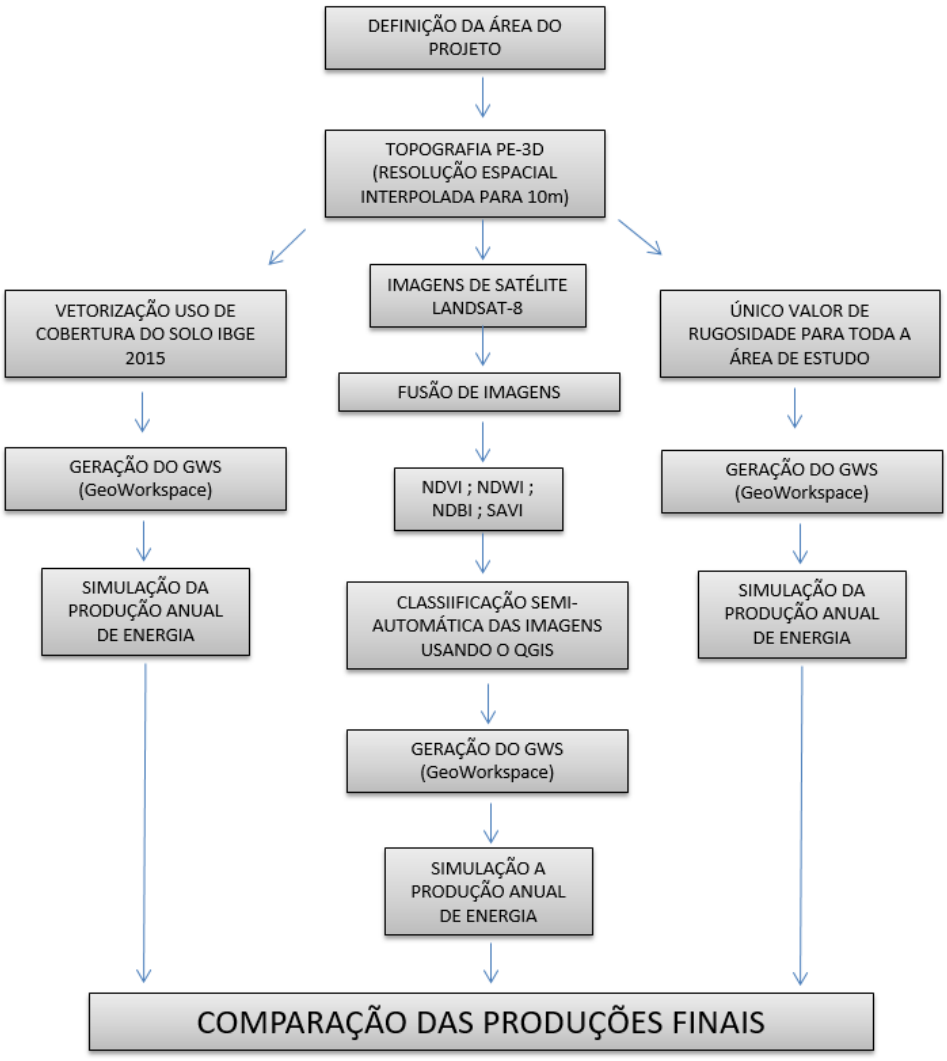
  %Nuvens: 9,79 Qualidade: 9

- **CARTAS PE-3D**

Cartas	
SC-24-X-B-V-4-SO-A-IV	SC-24-X-B-V-4-SO-E-I
SC-24-X-B-V-4-SO-A-III	SC-24-X-B-V-4-SO-D-III
SC-24-X-B-V-4-SO-E-IV	SC-24-X-B-V-4-SO-C-IV
SC-24-X-B-V-4-SO-F-I	SC-24-X-B-V-4-SO-D-I
SC-24-X-B-V-4-SO-E-II	SC-24-X-B-V-4-SO-C-II
SC-24-X-B-V-4-SO-E-III	SC-24-X-B-V-4-SO-C-III
SC-24-X-B-V-4-SO-C-I	SC-24-X-B-V-4-SO-B-III
SC-24-X-B-V-4-SO-F-III	-

Tabela 2 – Cartas MDT PE-3D

Figura 4 - Fluxograma.

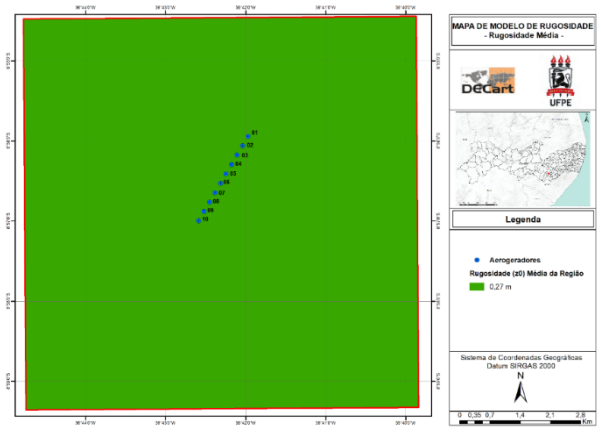


Fonte: Autores (2018).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

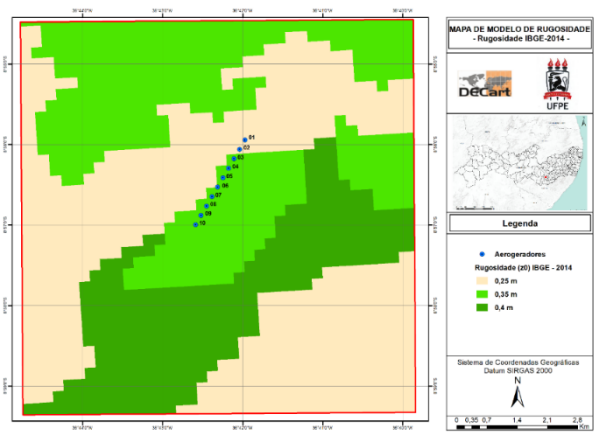
Como mostrado no fluxograma foram utilizados 3 modelos de modelos de rugosidade diferentes, o primeiro a ser analisado foi a rugosidade média da região, representada na figura 5:

Figura 5 – Modelo de rugosidade média da região.



Fonte: Autores (2018).

Figura 6 – Modelo de rugosidade obtido a partir do Mapas de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros.

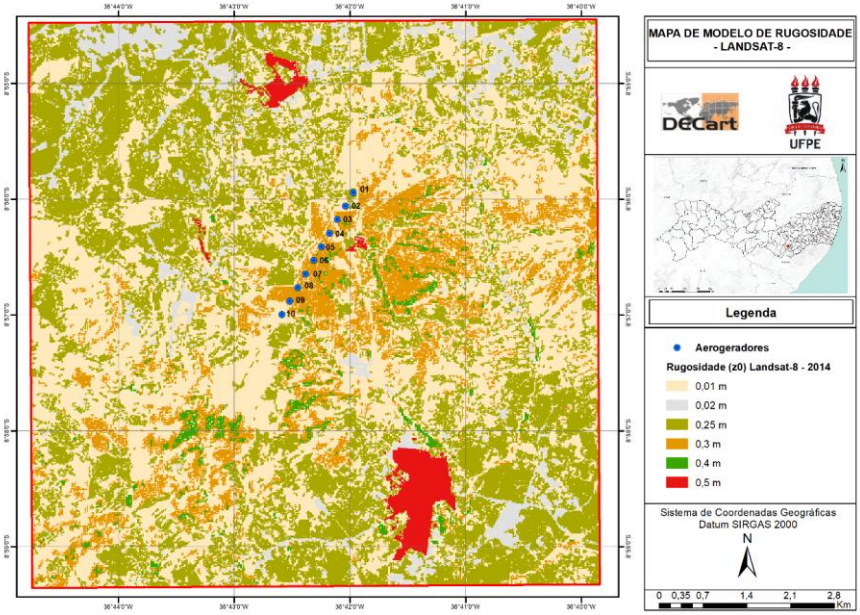


Fonte: Autores (2018).

O segundo modelo de rugosidade, Figura 6, foi elaborado através dos mapas de cobertura vegetal dos biomas brasileiros (IBGE). Neste modelo foram adotados valores de 0,25m para Matagal (classe equivalente a Pastagem Natural); 0,35m para Vegetação Arbustiva (classe equivalente vegetação campestre) e 0,4m para Vegetação Arbórea (classe equivalente agropecuária com remanescentes florestais).

O terceiro modelo foi elaborado a partir de uma imagem do Landsat-8. Foram realizados métodos de processamento de imagens para melhor aproveitamento das informações produzidas pelos diferentes sensores do satélite. Como mostrado no fluxograma foi realizado o processo de fusão de imagem, NDVI, NDWI, NDBI e SAVI para realçar os objetos, atingindo a uma resolução geométrica de 15 metros.

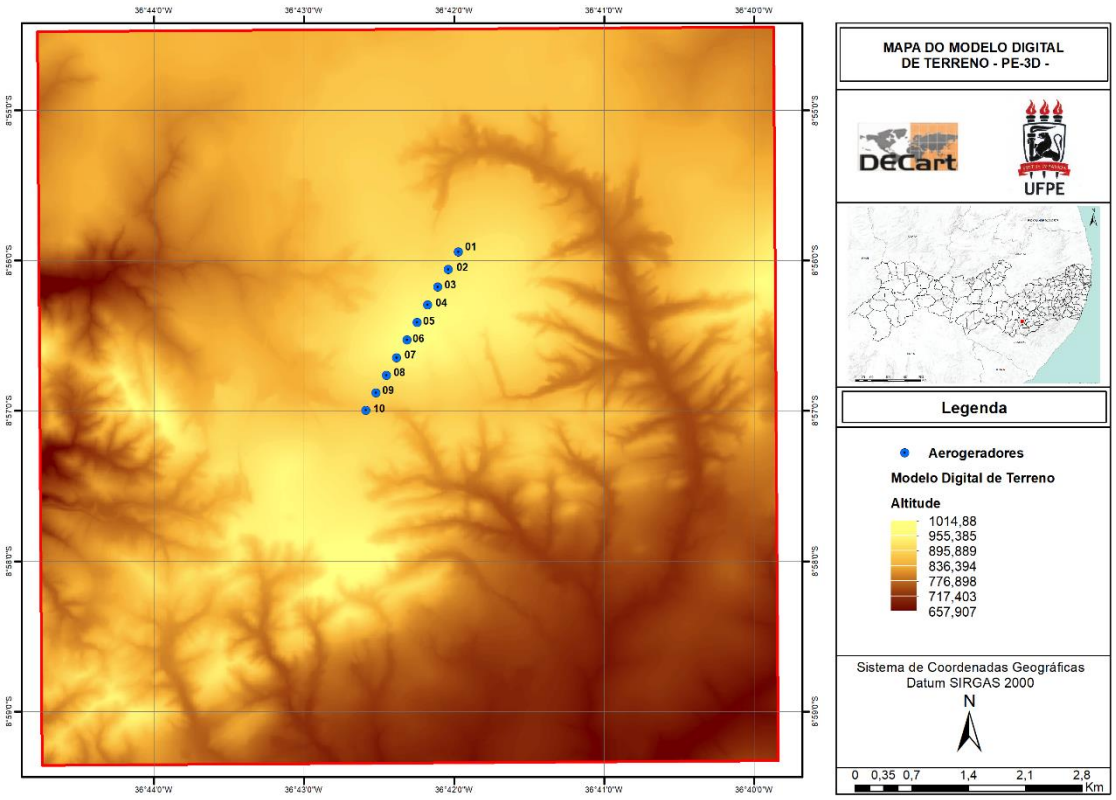
Figura 7 – Modelos de rugosidade obtido a partir da imagem do Landsat-8.



Fonte: Autores (2018).

A topografia, para completar o modelo, foi elaborada através dos dados do PE-3D, interpolado para 10m de resolução espacial.

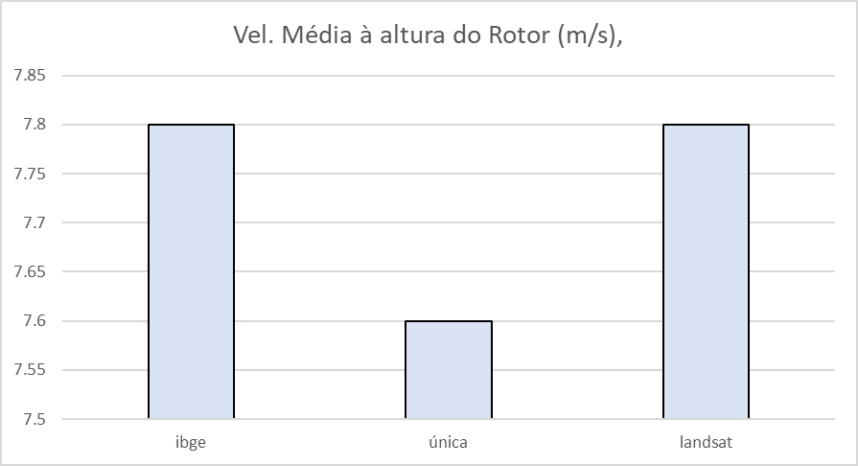
Figura 8 – Topografia da área de estudo.



Fonte: Autores (2018).

Ao observar os resultados obtidos, é possível verificar que a velocidade do vento para a rugosidade única é de 7,6m/s, enquanto que as outras duas chega a 7,8m/s, esta diferença de rugosidade afeta em 5,7% a produção utilizando a rugosidade elaborada a partir do Landsat-8 é 6,4% a do IBGE. Isto é, há um ganho de mais 5% na produção só em especificar com mais exatidão a rugosidade da região.

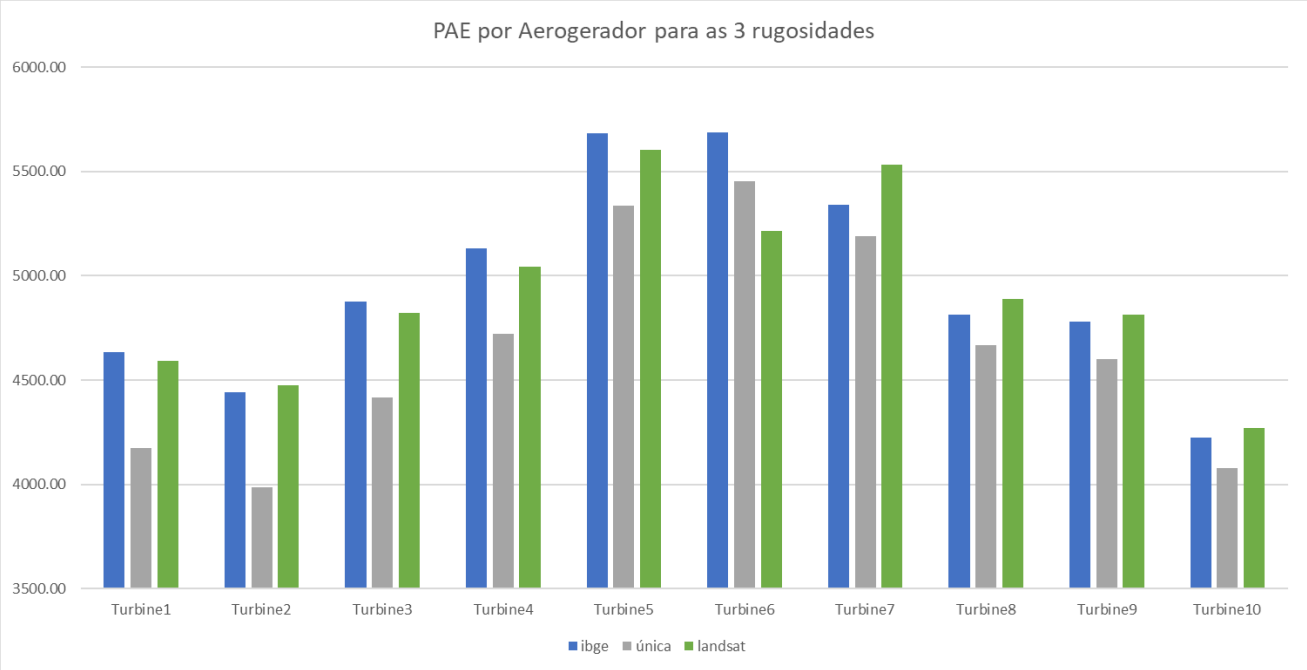
Figura 9 – Velocidade média dos aerogeradores por rugosidade.



Fonte: Autores (2018).

A Figura 9 mostra analisar o gráfico abaixo é possível concluir que, a rugosidade obtida através da classificação do IBGE e Landsat-8 mostram valores similares. Porém também é possível observar que onde ocorre uma divergência muito grande na classificação dos alvos há também uma discrepância maior na produção, como pode ser visto na turbina 6 e 7.

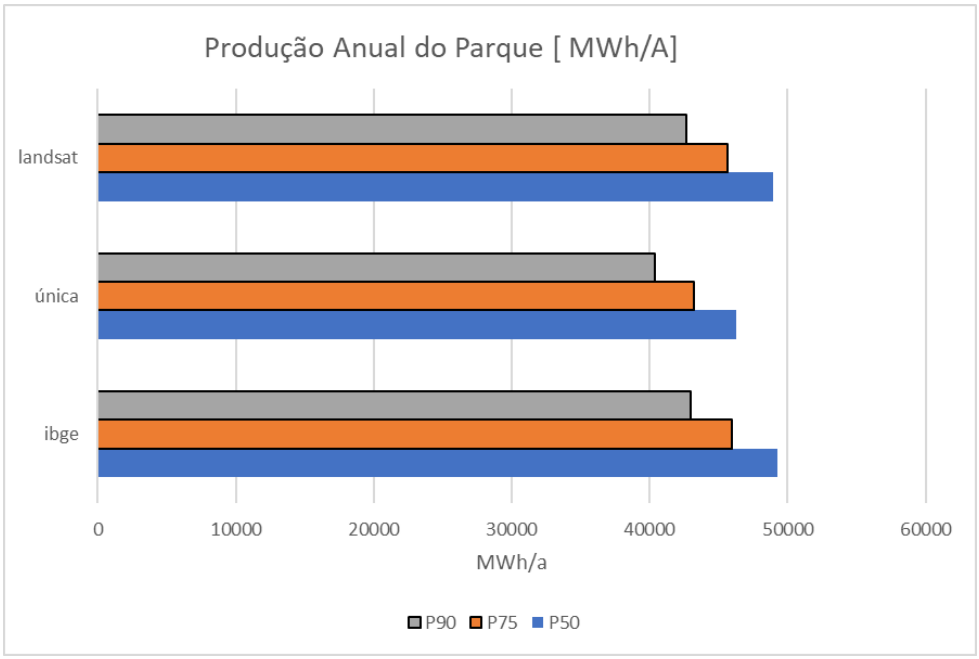
Figura 10 – Produção Anual de Energia por aerogerador.



Fonte: Autores (2018).

De acordo com o manual de cadastramento da EPE (2017), os valores de energia anual certificados são excedidos com probabilidades de 50%, 75% e 90% para uma variabilidade futura considerando todo o período contratual (P50, P75 e P90). É visto na figura abaixo (Figura 11) que os valores de produção, P50, P75 e P90 utilizando o Landsat e o IBGE possuem valores similares, enquanto que a classificação única obteve valores de produção menor. É importante ressaltar que a caracterização adequada da rugosidade impactará nas resultantes, mesmo que em menor grau.

Figura 11 – Produção Anual de Energia do parque por modelo de rugosidade analisado.



Fonte: Autores (2018).

4 CONCLUSÕES

As perdas aerodinâmicas, influência entre aerogeradores, dos 3 layouts permaneceram iguais, mostrando que a grande influência na produção final entre os layouts se encontra na rugosidade adotada. Embora a rugosidade definida pelo IBGE tenha mostrado melhores resultados, não significa necessariamente que esta é a melhor rugosidade a ser adotada. A escolha da rugosidade que mais se aproxime da realidade do local onde será instalado o complexo eólico é de fato a melhor opção para estimar a produção, já que a diferença de produção para mais ou para menos pode acarretar em custo adicional, seja ele de manutenção das máquinas ou multa por gerar menos energia.

Finalmente, analisando as produções dos modelos gerados para este artigo foi possível concluir que o impacto gerado pela rugosidade na produção de energia é significativo e está ligado tanto a classificação da cobertura do solo quanto a resolução espacial dos objetos no modelo GWS.

Esta metodologia oferece melhor precisão e confiabilidade na estimativa de geração eólica e na identificação das melhores áreas para a implantação de usinas eólicas. A avaliação incluiu medições de alta qualidade, modelos de terreno em melhor resolução e fonte de dados, e modelamento de mesoescala, cujos resultados trazem maior exatidão na predição do recurso eólico.

No presente trabalho foi possível verificar que, os ventos de uma determinada região são fortemente influenciados pelas características locais de topografia e rugosidade. Portanto, as acurácias dos resultados obtidos após as simulações são diretamente afetadas pela qualidade dos modelos digitais empregados.

De acordo com as normas da ANEEL (A Agência Nacional de Energia Elétrica), os parques que não atenderem aos estabelecidos nos relatórios de certificação de produção anual de energia, estarão sujeitos a multas e a suspensão temporária do direito de contratar ou participar de licitações promovidas pela Aneel, além de multa entre 0,001% a 10% do valor do INVESTIMENTO declarado à EPE (Empresa de Pesquisa Energética). (BRASIL, 1993)

REFERÊNCIAS

AMARANTE, O.A.C.; SCHULTZ, D.J. **“Wind Energy Resource Map of the State of Paraná, Brazil.”** Dewi Magazin, Germany, n. 15, p. 70-75, Aug. 1999;

AMARANTE, O. A. C.; BROWER, M.; ZACK, J. **“Atlas do Potencial Eólico Brasileiro”**. MME / ELETROBRÁS /CEPEL. 2001;

BRASIL. Lei n. 8.666, de 21 de junho de 1993. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L8666cons.htm

CANTO, L.F.C.; JUNIOR, J.R.T.; CANDEIAS, A.L.B. **Análise comparativa de classificadores em imagens Landsat 8 (OLI) com e sem correção atmosférica no entorno de Petrolândia – PE.** VI Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, 2016;

CIRILO, J.A.; ALVES, F.H.B.A.; SILVA, L.A.C.; CAMPOS, J.H.A.L. **Suporte de Informações Georreferenciadas de Alta Resolução para Implantação de Infraestrutura e Planejamento Territorial.** Revista Brasileira de Geografia Física. vol 07, n.04 (2014) 755-763;

CPRM. **Atlas Digital dos Recursos Hídricos Subterrâneos.** Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Pernambuco---Atlas-Digital-dos-Recursos-Hidricos-Subterraneos-325.html. Acesso em: 16/07/2018.

EPE-DEE-017/2009-R14_EOL, **“Instruções para Solicitação de Cadastramento e habilitação Técnica com vistas à Participação nos Leilões de Energia Elétrica”**, Data de publicação 04/08/2017;

GONZAGA, E.P.; SANTOS, V.V.; NICÁCIO, R.M. **Análise do comportamento do NDVI e NDWI em períodos de diferentes intensidades pluviométricas no Sertão alagoano.** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba, 2011;

IRWIN, JOHN S. **"A theoretical variation of the wind profile power-law exponent as a function of surface roughness and stability."** Atmospheric Environment (1967) 13.1 (1979): 191-194.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres.** Traduação de J. C. N. Epiphanio. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598 p. (Prentice Hall Series

in Geographic Information Sciennce) Tradução de: Remote Sensing of the environment: na earth resource perspect;

LOUREIRO, B. A., **Avaliação de ferramentas e métodos para a elaboração de mapas eólicos**, Dissertação de mestrado, Recife, 2011;

MENESES, P.R. et al. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasilia, 2012;

MERRA, **"Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications"**, NASA/GSFC, disponível em http://gmao.gsfc.nasa.gov/merra;

RAY, M. L., A. L. Rogers, and J. G. McGowan. **"Analysis of wind shear models and trends in different terrains."** University of Massachusetts, Department of Mechanical and Industrial Engineering, Renewable Energy Research Laboratory (2006);

RODRIGUES, T.S.; RIBEIRO, S.R.A.; VAZ, M.S.M.G. **Avaliação do desempenho de dois Índices de Vegetação (NDVI e SAVI) por meio de Índice de Qualidade de Imagens.** XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu, 2013;

SILVA, B.F.S. et al. **Análise espaço-temporal do índice de vegetação ajustado ao solo para a bacia Hidrográfica do rio Piranhas-Açu-RN.** VI Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, 2016;

SILVA, M.M. **Algumas práticas de tecnologias sociais na região ao Alto do Pajeú Pernambuco.** Volume 1. Recife: Editora UFPE, 2010;

Z. Tao1,2, J. A. Santanello2, M. Chin2, S. Zhou2,3, Q. Tan1,2, E. M. Kemp2,4, and C. D. Peters-Lidard2 **Effect of land cover on atmospheric processes and air quality over the continental United States – a NASA Unified WRF (NU-WRF) model study.** Atmospheric Chemistry and Physics. 10.5194/acp-13-6207-2013;

ANÁLISE DA QUALIDADE ESPACIAL DE UMA BASE CARTOGRÁFICA GERADA A PARTIR DOS DADOS DO PROGRAMA PERNAMBUCO TRIDIMENSIONAL (PE 3D)

NATHALIA ROSE SILVA DA PURIFICAÇÃO
RENATA MIRANDA DA SILVA
LUCILENE ANTUNES CORREIA MARQUES DE SÁ
SILVIO JACKS DOS ANJOS GARNÉS

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
nathaliarosesilva@gmail.com, eng.renatamiranda@gmail.com, lucilene.antunes@gmail.com, silviogarnes@gmail.com

RESUMO - Recentemente, o Governo do Estado de Pernambuco finalizou o Programa Pernambuco Tridimensional (PE 3D) que disponibilizou em meio digital para todos que desejarem e sem restrições, dados como MDS, MDT e ortofotos. Sabendo da necessidade dos municípios de se conhecer o território para auxiliar a tomada de decisões, o presente trabalho tem como objetivo verificar a viabilidade do uso dos dados do Programa PE 3D em gerar informações cartográficas para uma área de estudo através da aplicação de metodologias para analisar a qualidade espacial, utilizando o padrão brasileiro de acurácia posicional e alguns métodos que têm feições lineares como primitivas geográficas de análise.

ABSTRACT - Recently, the Government of the State of Pernambuco finalized the Pernambuco Three-Dimensional Program (PE 3D) that made digital data available to all who wish without restrictions, data such as MDS, MDT and orthophotos. Knowing the need of municipalities to know the territory to help decision making, the present work aims to verify the feasibility of the use of data from the 3D PE Program in generating cartographic information for a study area through the application of methodologies to analyze the spatial quality, using the Brazilian standard of positional accuracy and some methods that have linear features as geographic primitives of analysis.

1 INTRODUÇÃO

Grande parte dos municípios brasileiros não possuem nenhum tipo de dado espacial sobre seu território, o que é justificado muitas vezes pela falta de recursos necessários para gerar este tipo de informação. Recentemente, o governo do estado de Pernambuco finalizou o Programa Pernambuco Tridimensional (PE 3D) que teve como principal objetivo realizar o mapeamento de todo o Estado através da tecnologia Laser Scanner e da Fotogrametria, gerando produtos como Modelos Digital de Superfície (MDS), Modelo Digital do Terreno (MDT) e ortofotos. Todos esses recursos estão disponíveis em meio digital para todos que tiverem interesse através da página http://www.pe3d.pe.gov.br/mapa.php#, possuindo um grande potencial de utilização devido ao seu elevado nível de detalhamento e precisão.

Atualmente, o uso de informações espaciais tem auxiliado a administração territorial na tomada de decisões. No ambiente urbano podem, por exemplo, ser utilizadas para gerir e controlar a sua expansão considerando uma base sustentável para as cidades. Segundo Williamson et al. (2010), um governo espacialmente habilitado organiza seus negócios e processos em torno de tecnologias baseadas em lugar para gerar respostas dinâmicas para o desenvolvimento. No entanto, é imprescindível assegurar que as informações espaciais representam fidedignamente a realidade física do território.

Diante da necessidade de determinar a exatidão da informação geográfica representada nos produtos cartográficos foram desenvolvidas metodologias para avaliar a qualidade e acurácia posicional das mesmas, podendo ser utilizadas como primitivas para esta avaliação o ponto (adotado nacionalmente no Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC), a linha ou o polígono.

Conforme exposto, o presente trabalho tem como objetivo verificar a viabilidade do uso dos dados do Programa PE 3D em gerar informações cartográficas para uma área de estudo através da aplicação de metodologias para analisar a

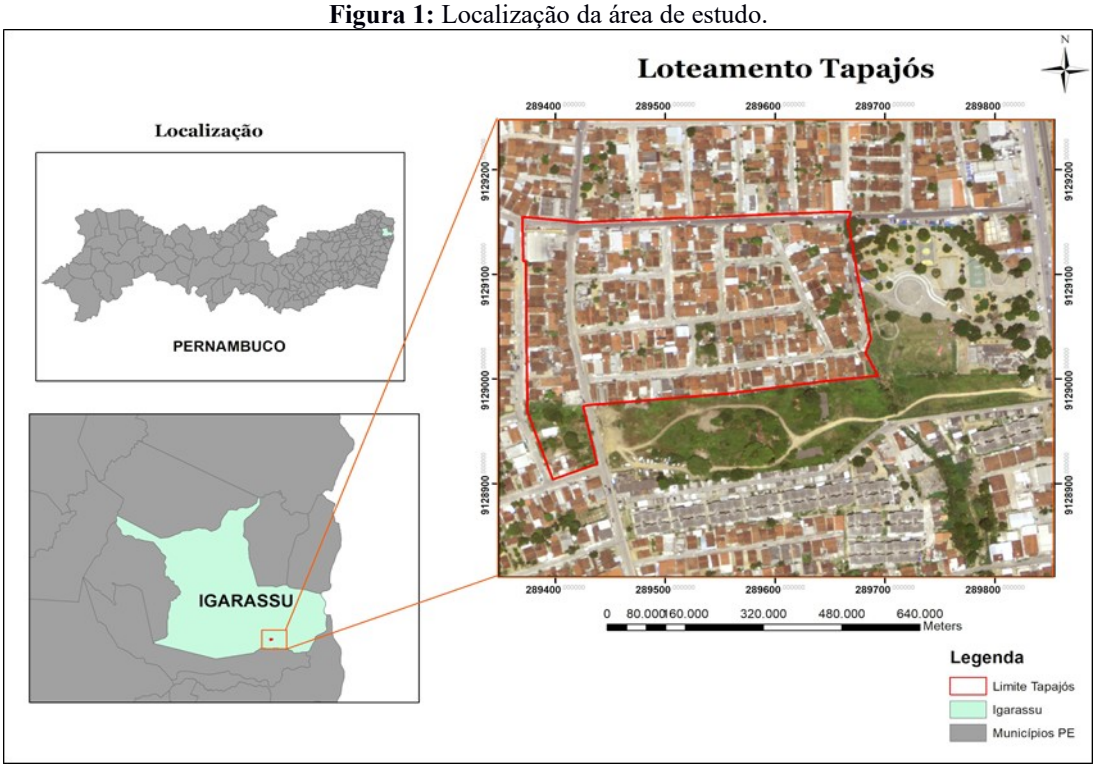
qualidade espacial, utilizando o padrão brasileiro de acurácia posicional e alguns métodos que têm feições lineares como primitivas geográficas de análise.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de estudo escolhida compreende os limites do Loteamento Tapajós, situado no município de Igarassu pertencente à Região Metropolitana do Recife. O Loteamento está inserido em áreas públicas de domínio do município, sendo esta uma das áreas contempladas para a intervenção no Projeto de Regularização Fundiária de Assentamentos Habitacionais da Região Metropolitana do Recife firmado entre a Universidade Federal de Pernambuco e o Ministério das Cidades. A Figura 1 ilustra a região onde o trabalho foi desenvolvido.

Figura 1: Localização da área de estudo.



2.2 Material

O material utilizado no desenvolvimento deste trabalho foi disponibilizado pela Agência Estadual CONDEPE/FIDEM e pelo Projeto de Extensão de Regularização Fundiária de Assentamentos Habitacionais da Região Metropolitana do Recife.

Figura 2: Base de Dados

CONDEPE/FIDEM	**UFPE / Ministério das Cidades**
- Ortofotos do PE3D Resolução Espacial: 50 cm Escala: 1:5.000 **- MDT do PE3D** Resolução Espacial: 1m	**- Pontos de Controle** Provenientes de Levantamento RTK obtidos durante o desenvolvimento Do Projeto de Extensão.

2.3 Métodos

2.3.1 Produção Cartográfica

A elaboração de uma carta abrange os elementos essenciais que irão compô-la. As informações contidas na produção precisam deixar claro ao leitor o que se deseja abordar. Neste trabalho, foi imprescindível a presença de elementos como: Título, Sistema de Referência, Sistema de Projeção, Escala, Malha de Coordenadas, Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), Mapa de Localização da área em questão, Legenda e Símbolos Cartográficos.

A integração da base cartográfica, normalmente, é feita com a reunião das feições necessárias para determinado fim atreladas aos elementos cartográficos que tornam legível o produto resultante gerado. Para isso, as feições extraídas e vetorizadas para compor a base foram: curvas de nível, quadras, lotes, árvores, via pavimentada com meio feio e equipamentos urbanos.

Neste trabalho adotou-se o Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000, oficialmente utilizado no Brasil e como datum altimétrico o ponto localizado no marégrafo de Imbituba-SC. O Sistema de Projeção utilizado foi a Universal Transversa de Mercator (UTM), adotado como padrão nos projetos cartográficos brasileiros.

2.3.2 Determinação do Tamanho da Amostra

Os pontos de controle adotados foram obtidos a partir do levantamento feito com equipamento RTK (Real Time Kinematic). A seleção das amostras foi feita com posse de 1101 pontos de referência agrupados na área de estudo mediante um processo aleatório, a fim evitar uma possível tendenciosidade.

Os fatores que interferem no dimensionamento da amostra envolvem o estabelecimento do erro máximo permissível Ɛ e o valor do intervalo de confiança 1-α (probabilidade de acerto). Dessa forma, a determinação do tamanho da amostra (n) baseou-se no método desenvolvido por Nogueira Jr. (2003).

A probabilidade (P) de que a diferença entre a média amostral (X) e a média populacional (μ) seja menor que o erro máximo permissível (ε) corresponde ao valor do intervalo de confiança (1− α), expressado em (1).

$$P\ \{(\acute{X} - \mu) < \varepsilon\} = 1 - \alpha \qquad (1)$$

Dada a equação:

$$\acute{X} - \mu = \varepsilon \qquad (2)$$

na qual $\acute{X}$ é dado como a estimativa da média populacional, obtido da amostra selecionada, μ é a média da população e ε corresponde ao erro máximo da estimativa.

Se $\acute{X}$ tem distribuição normal, com média μ = 0 e variância σ²/n = 1, tem-se a distribuição normal padrão ou reduzida e a variável aleatória z tem distribuição normal N (0,1). Sendo assim:

$$z = \frac{(\acute{X} - \mu)\sqrt{n}}{\sigma} \sim N\ (0,1) \qquad (3)$$

Logo,

$$\acute{X} - \mu = z\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \qquad (4)$$

onde z foi obtido a partir da tabela normal em função do intervalo de confiança; σ é o desvio padrão populacional e n corresponde ao tamanho da amostra.

Como X − μ = ε, substituindo em (4), resulta-se em:

$$\varepsilon = z\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \qquad (5)$$

A partir da equação 5, deduziu-se que:

$$n = \frac{z^2\sigma^2}{\varepsilon^2} \qquad (6)$$

Ao trabalhar com uma população finita, é recomendado o acréscimo de um fator de correção. Dessa maneira, a expressão resultante aponta (7) o tamanho mínimo que a amostra deve conter ao se fazer a estimativa de μ com um erro máximo ε, a um nível de confiança desejado (α).

$$n = \frac{z^2 \sigma^2 N}{(N-1)\varepsilon^2 + z^2 \sigma^2} \qquad (7)$$

2.3.3 Determinação do Tamanho da Amostra

- Controle de qualidade posicional utilizando feições pontuais

Foram calculadas a média e desvio padrão das discrepâncias das coordenadas E e N entre os pontos de controle e os pontos coletados na base cartográfica digital.

Em seguida, realizou-se a análise de tendência da amostra a partir do teste t-student para um nível de confiança (1-α) e intervalo de confiança |tcalculado |<t (n-1; α/2), onde o valor da estatística t é dado por:

$$t = \frac{\acute{X}1 - \acute{X}2}{\sigma dif} \qquad (8)$$

Sendo, $\acute{X}1$ e $\acute{X}2$ as médias de cada amostra e σdif, o erro-padrão da diferença.

Após a verificação de tendência foi realizada a análise da precisão através do teste do χ^2, comparando as discrepâncias das coordenadas com o erro-padrão esperado nas classes do PEC-PCD.

O resultado é enquadrado em uma dada classe se $|\chi^2 calculado| < \chi^2$ (n-1; α).

$$\chi^2 = \frac{(n-1) * RMS}{EP} \qquad (9)$$

em que RMS= Erro Médio Quadrático;
EP= Erro Padrão;

- Controle de qualidade posicional utilizando feições lineares

Para o método da Banda Épsilon ou Métodos das áreas foram seguidas as etapas:

- Selecionou-se a amostra contendo linhas homólogas de teste e de referência;
- As linhas deveriam se sobrepor (a linha de teste e a de referência), nos casos divergentes, quando os pontos extremos das mesmas não coincidiram, foi criado um segmento de reta unindo-os, chamada de linha de fechamento;
- Calculou-se o somatório das áreas internas (em m²), criadas a partir da sobreposição das linhas de teste e de referência, para cada elemento i pertencente à amostra de linhas homólogas;
- Obtiveram-se os comprimentos (em metros) de cada linha de teste;
- Calculou-se a Banda de Erro Épsilon (ε) para cada elemento i da amostra, a partir da razão entre o somatório das áreas internas e o comprimento da linha de teste:

$$\varepsilon i = \frac{\sum(Ai)}{CLTi} \qquad (10)$$

- Por fim, analisou-se a medida de discrepância a partir do padrão de acurácia utilizado. Atrelando o resultado com o Decreto-Lei n° 89.817, é necessário verificar a independência e normalidade. Após a constatação, pelo menos 90% das linhas testadas deverão apresentar valor de ε menor ou igual ao valor do PEC, bem como o RMS da amostra de ε ser menor ou igual ao valor de EP, para a classe e escala utilizada.

Para o método do Buffer Simples foram seguidas as etapas:

- Selecionou-se a amostra com n linhas homólogas, sendo elas as de teste (LT) e as de referência (LR);

- Calculou-se o comprimento, em metros, de cada linha i das linhas de referência. Determinou-se o tamanho do buffer de acordo o valor exigido no PEC-PCD para a escala e a classe utilizada no processo de avaliação, de modo a aplicar de acordo com o Decreto-Lei n° 89.817;
- Efetuou o processo de interseção entre as linhas de teste e os polígonos gerados pelo buffer (aplicados nas linhas de referências).
- Calculou-se os comprimentos (em metros) de cada linha i de teste resultante da interseção (CLxi)
- Calculou-se o percentual de inclusão de cada linha de teste dentro da área do buffer correspondente. O cálculo efetuado foi feito através da razão entre o comprimento da linha i inclusa e o comprimento total da linha de teste:

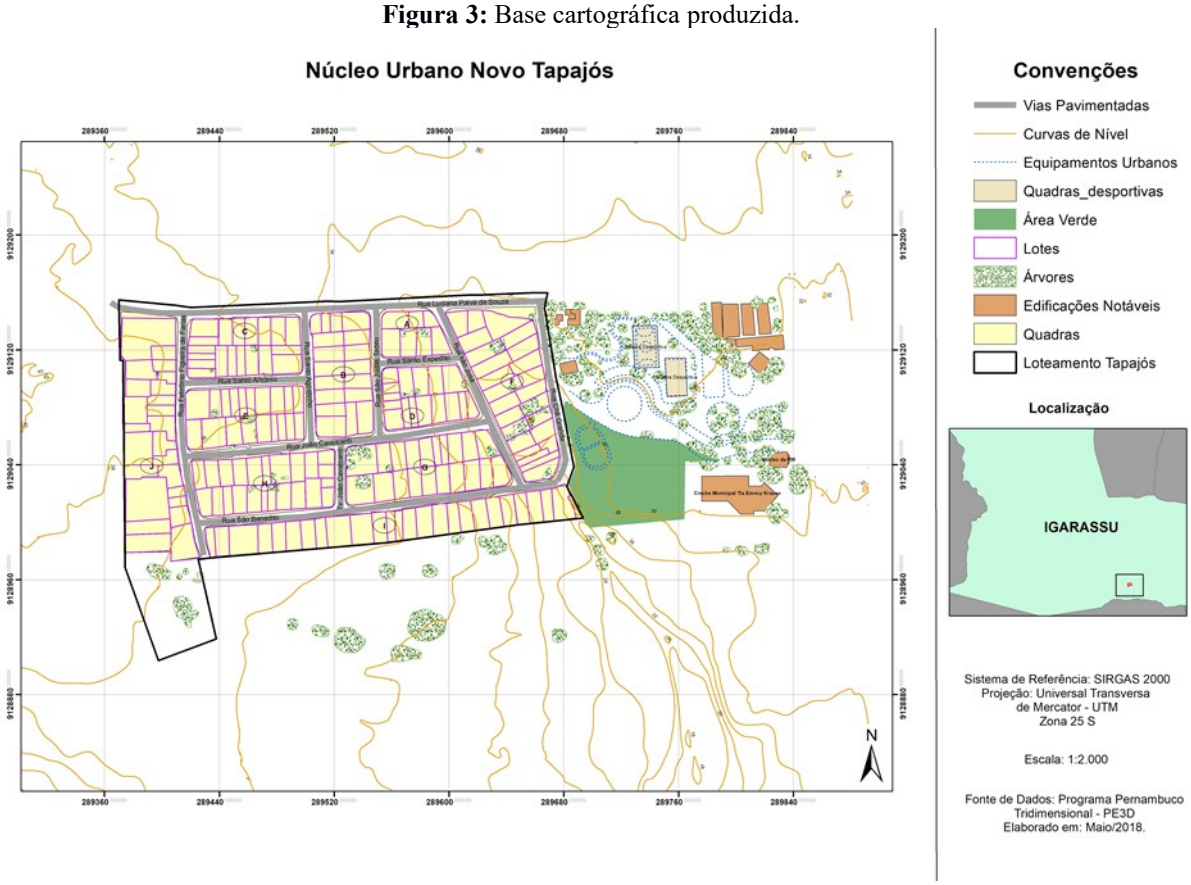
$$P(x)i = \frac{CLXi}{CLTi} \qquad (11)$$

- De acordo com o Decreto-Lei 89.871, verificou-se a independência e a normalidade da amostra de discrepâncias e, caso afirmativo, faz-se a análise de modo que 90% das linhas de teste apresentem percentual maior ou igual a 0,9 ou 90%, classificando assim, o dado espacial de acordo com a classe e a escala trabalhada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A base cartográfica digital do Loteamento Tapajós foi gerada a partir da vetorização das feições observadas nas ortofotos e na extração das curvas de nível dos modelos digitais do terreno oriundos do Programa Pernambuco Tridimensional, tendo como referência o Projeto de Regularização Fundiária do Núcleo Urbano Novo Tapajós. O produto cartográfico obtido pode ser observado na Figura 3.

Figura 3: Base cartográfica produzida.



O cálculo do tamanho da amostra foi realizado a partir da fórmula (7), tendo uma população de 1101 pontos de referência, erro permissível de 33% e desvio padrão igual ao da Classe A segundo o PEC-PCD para escala de 1:2000, variando-se o valor de z conforme a tabela abaixo.

Tabela 1: Tamanho da amostra necessária para um erro máximo de 33% e um desvio padrão σ = 0,56 - Carta de Escala 1:2.000

N	Erro Admissível	Desvio Padrão	$n = \frac{z^2\sigma^2 N}{(N-1)e^2 + z^2\sigma^2}$		
			Z		
			1	**1,64**	**1,96**
1101	33,00%	0,56	9,11	24,18	34,21

Conforme a Tabela 1 foram obtidos três tamanhos para a amostra, entretanto utilizou-se aquele cujo o nível de significância corresponde a 10%, dado quando z=1,64. Logo, o tamanho N da amostra resultou em 24 pontos.

A fim de evitar uma possível tendenciosidade, o processo de escolha dos pontos foi feito de maneira aleatória separando a população em grupos para uma melhor distribuição na área de estudo. A distribuição dos pontos escolhidos na base cartográfica pode ser visualizada na Figura 4.

Figura 4: Localização dos pontos de controle na base cartográfica.

Para a avaliação do controle de qualidade posicional utilizando feições pontuais foram calculadas as discrepâncias planimétricas entre as coordenadas dos pontos de referência e as coordenadas coletadas na base cartográfica para as direções Leste e Norte. Para verificação de tendência foi aplicado o teste *t-student* a um nível de significância de 5%, sendo então aprovado nestas condições e comprovando-se a não tendenciosidade da amostra. Os valores estatísticos resultantes desta etapa são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Estatística e teste t-student.

PLANIMETRIA		
Número de Pontos	**Média da Discrepância Planimétrica (m)**	**RMS (m)**
24	0,33	0,42569026319037
Análise de Tendência		
t_{cal}	Este	Norte
	-1,503982137311	0,83845803283242
$t_{(23,0,10)}$	2,06866	
Resultado	Não tendecioso	

De modo a enquadrar o produto em uma das classes do PEC-PCD realizou-se o teste do χ^2 adotando-se H_0: $RMS=EP_{classeA}$ para avaliar se os valores testados diferiam significativamente. Utilizou-se o nível de significância igual a 10% e 23 graus de liberdade (n-1).

Tabela 3: Resultado do teste χ^2.

Análise de Precisão	
χ^2_{cal}	28,7967
$\chi^2_{(23;0,10)}$	32,0070
Resultado para a Classe A	Aceito

Para o método da Banda Épsilon foram obtidas as áreas formadas entre as linhas de referência e de teste. Verificou-se que na amostra estudada 90% do Erro Épsilon calculado foi inferior ao erro padrão para classe A.

Tabela 4: Resultado da aplicação do método da Banda Épsilon.

ID_POLÍGONO	A_i (m²)	CLT_i (m)	ε_i (m)
A	24,872909	36,495896	0,681526191
B	10,625346	30,987417	0,342892278
C	14,060403	51,550801	0,272748487
D	5,021204	63,501416	0,079072315
E	0,176313	20,476623	0,008610453
F	21,118237	60,278542	0,35034419
G	14,427285	50,081284	0,288077378
H	11,430349	76,872418	0,148692461
I	9,233055	50,975763	0,181126372
J	78,74925	149,801624	0,525690229
Resultado do Método para Classe A		Aceito	

Já no método do *Buffer* Simples foi necessário realizar o cálculo duas vezes: i) utilizando-se o tamanho do *buffer* igual ao da Classe A de acordo com o PEC-PCD; ii) utilizando-se o tamanho do *buffer* igual ao da Classe B de acordo com o PEC-PCD, ambos para a escala de 1:2000, conforme apresentado na Tabela 5. A partir dos resultados observados, enquadrou-se o produto na Classe B do PEC- PCD, pois 90% dos valores calculados para o percentual de inclusão foi maior que 0,9.

Tabela 5: Resultado da aplicação do método do Buffer Simples.

TESTE PARA CLASSE A				TESTE PARA CLASSE B			
ID_LINHA	**CLXi**	**CLTi**	**P(x)**	**ID_LINHA**	**CLXi**	**CLTi**	**P(x)**
A	5,389046	36,495896	0,15	A	36,495896	36,495896	1
B	23,661985	30,987417	0,76	B	30,987404	30,987417	1
C	46,492603	51,550801	0,9	C	47,04945	51,550801	0,91
D	63,501445	63,501416	1	D	63,501339	63,501416	1
E	20,476623	20,476623	1	E	20,476623	20,476623	1
F	54,093594	60,278542	0,9	F	58,778286	60,278542	0,98
G	50,081282	50,081284	1	G	50,081282	50,081284	1
H	76,872376	76,872418	1	H	76,872377	76,872418	1
I	50,506114	50,975763	0,99	I	50,506135	50,975763	0,99
J	82,971335	149,801624	0,55	J	126,945945	149,801624	0,85
Resultado		Não aceito		Resultado		Aceito	

O Quadro 1 apresenta a classificação do produto de acordo com o PEC-PCD em cada método proposto.

Método de Avaliação de Acurácia Posicional	Pontual	Banda Épsilon	*Buffer* Simples
Classe	A	A	B

4 CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento deste trabalho pôde-se avaliar o uso de dados oriundos do Programa Pernambuco Tridimensional para gerar bases cartográficas através da vetorização de feições lineares observadas nas ortofotos. Foi verificado que apesar da boa resolução espacial dos dados, os mesmos apresentam regiões com nível de nitidez distintos. As articulações trabalhadas na área de estudo manifestaram um certo desfoque que pode ter comprometido a qualidade final do produto cartográfico gerado. Aqui, vale salientar a importância do apoio de campo para que a representação gráfica esteja de acordo com a realidade do território.

A avaliação da qualidade posicional planimétrica foi realizada através de testes estatísticos, classificando a base cartográfica de acordo com o PEC-PCD para planimetria, na escala de 1:2000. Para a análise de tendência, utilizou-se a distribuição de t-student, em que após a verificação das hipóteses, no nível de significância de 5%, apontou a inexistência de erros sistemáticos na base cartográfica dentro deste intervalo de confiança.

A sequência metodológica voltada ao processo de determinação do tamanho da amostra para o controle de qualidade de produtos cartográficos foi crucial para o desenvolvimento do trabalho, devido a necessidade da escolha de pontos que evitassem uma possível tendenciosidade na amostra.

A averiguação da potencialidade e viabilidade da acurácia posicional que utilizam feições pontuais e lineares apresentou a partir dos resultados uma maior confiabilidade no produto final, tendo por base o padrão de acurácia posicional brasileiro, definido pelo Decreto-lei n° 89.817.

Os resultados da avaliação dos dados do Programa Pernambuco Tridimensional apresentaram classificações, de acordo com o Decreto-Lei n° 89.817/ET-ADGV, semelhantes na aplicação do método utilizando o ponto como primitiva geográfica e no método linear da Banda Épsilon (ou método das Áreas), Classe A. Já o método do *Buffer* simples enquadrou na Classe B. Entretanto, a literatura base adotada, afirma que este último método é maior apropriado quando comparados à sensibilidade de erro grosseiros nas feições lineares.

Por fim, ressalta-se que é de extrema importância avaliar e averiguar a base cartográfica a ser gerada, de modo a efetuar o processo de controle de qualidade proposto neste trabalho, tendo em vista que é necessário garantir a confiabilidade do produto gerado. Assim, para alcançar a Classe A do PEC-PCD, deve-se realizar o controle em todas as etapas destacadas nas principais literaturas e enquadrar os resultados obtidos, a fim de comprovar a satisfatoriedade do produto final.

REFERÊNCIAS

NOGUEIRA JR., J. B**. Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica.** Presidente Prudente. 2003, 147 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cartográfica) - UNESP, Campus Presidente Prudente.

NOGUEIRA JR., MONICO J. F.G., TACHIBANA, V.M.; **Tamanho da amostra no controle de qualidade posicional de dados cartográficos.** Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 10, no 1, p.101-112, 2004.

WILLIAMSON et al.; **Land Administration for Sustainable Development - Esri Press, 380 New York Street, Redlands,** California 92373-8100, 2010.

ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE SÃO GONÇALO DO GURGUÉIA

GRENDA JUARA ALVES COSTA [1]
CARLA IAMARA DE PASSOS VIEIRA[1]

[1] Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências – CTG
Programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação - PPGCGTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
grendajuara@hotmail.com, iamarapassos@gmail.com

RESUMO - O uso e cobertura da terra é um dos grandes responsáveis por uma série de problemas ambientais. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a vulnerabilidade ambiental do município de São Gonçalo do Gurgueia, Piauí, através do mapeamento temático das características físicas da área identificando os locais com mais vulnerabilidade. Para isso, foram usadas técnicas de geoprocessamento, produtos do sensoriamento remoto e dados para caracterização da área. Para integração dos dados foi realizada uma análise multicritério e uma de aplicação de álgebra de mapas por meio QGIS. Como resultado, verificou-se que as áreas de vulnerabilidade ambiental muito alta correspondem a 17%, enquanto a média vulnerabilidade ambiental ocupa cerca de 43%, e as áreas com vulnerabilidade muito baixa correspondem a 9%. Com isto foi possível concluir que as áreas com maiores declividades são as mais propensas a riscos ambientais, por isto é de extrema importância à verificação já que município de São Gonçalo do Gurgueia faz parte do núcleo de desertificação do Piauí.
Palavras- chave: Desertificação; SIG; Análise multicriterio.

ABSTRACT - The use and coverage of land is one of the main culprits for a number of environmental problems. In this sense, the present work had the objective of evaluating the environmental vulnerability of the municipality of São Gonçalo do Gurgueia, Piauí, through the thematic mapping of the physical characteristics of the area identifying the most vulnerable places. For this, geoprocessing techniques, remote sensing products and data were used to characterize the area. To integrate the data, a multicriteria analysis and a map algebra application were performed using QGIS. As a result, it was found that areas of very high environmental vulnerability correspond to 17%, while the average environmental vulnerability occupies about 43%, and areas with very low vulnerability correspond to 9%. With this, it was possible to conclude that the areas with the highest slopes are the most prone to environmental risks, so it is extremely important to verify that the municipality of São Gonçalo do Gurgueia is part of the desertification nucleus of Piauí.
Keywords: Desertification; SIG; Multicriteria analysis.

1 INTRODUÇÃO

Com a intensa necessidade por espaços ocorreram crescimentos desordenados das cidades gerando inúmeras consequências como exploração dos recursos naturais, desmatamentos, ocupações urbanas em áreas inadequadas, dentre outros. As consequências da ação antrópica relacionadas às características físicas podem acelerar os processos de degradação ambiental das áreas, principalmente quando as atividades agropecuárias são executadas em solos com baixa aptidão, acelerando o processo de degradação.

A desertificação é uma decorrência desse tipo de degradação, pois ela depende tanto das características físicas quanto da influência da ação antrópica. A desertificação é um complexo grau de degradação de solos, é um problema de debate global, que afeta as regiões de clima árido, semiárido e sub-úmido seco da Terra, decorrente de fatores climáticos, muitas vezes associado a atividades antropogênicas (FRANÇA; PIUZANA; ROSS,2017)

De acordo com Perez-Marin *et al*.(2012), no Brasil as áreas susceptíveis à desertificação compreendem 1.340.863 km², englobando 1.488 municípios de nove Estados da região Nordeste, além de municípios setentrionais de Minas Gerais e Espírito Santo. A região semiárida brasileira apresenta seis núcleos de desertificação: Irauçuba (CE), Inhamus (CE), Seridó (RN), Cabrobró (PE), Jaguaribe (CE) e Gilbués (PI). O núcleo de Gilbués é considerado o maior

do país, com extensão a cerca de 6.000 km² e abrange, além desse, os municípios de Monte Alegre do Piauí, Barreiras do Piauí, São Gonçalo do Gurgueia, Santa Filomena, Alto Parnaíba.

Combater a desertificação implica no desenvolvimento de ações voltadas ao controle e prevenção deste processo e, quando possível, recuperar as áreas degradadas, assim como é importante também suprimir as causas que provocam estas consequências (LOPES; SOARES,2016). Com isto a análise da vulnerabilidade ambiental se torna relevante, pois ela leva em consideração diversos elementos que constituem o ambiente, seja ele natural ou antropizado, pois consequências da desertificação comprometem os recursos hídricos, do solo, da cobertura vegetal e da qualidade de vida da população nas áreas afetadas.

A vulnerabilidade ambiental de uma determinada área é encontrada a partir do cruzamento de informações geoespaciais de vulnerabilidade natural com informações de uso e ocupação de solos e cobertura vegetal. Esse cruzamento tem como objetivo a análise de estabilidade dessas áreas e seu comportamento após ações externas (GOMES, 2014).

Neste sentido as geotecnologias possibilitam a execução destes estudos ambientais, pois o mapeamento da vulnerabilidade ambiental auxilia no processo de prevenção e/ou recuperação de áreas degradadas. Essa constatação mostra a importância e a necessidade do desenvolvimento de estudos em áreas com suscetibilidade à desertificação. Tomando como área de estudo o município de São Gonçalo do Gurgueia/PI, que faz parte do núcleo de desertificação do Piauí o presente trabalho tem como objetivo principal analisar a vulnerabilidade ambiental, através do mapeamento temático das características físicas da área e da aplicação da metodologia de indicadores da análise multicritério em ambiente SIG.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2. 1 Aspectos geoambientais

De acordo com Vieira et al (2015) no Brasil, as áreas desertificadas mais críticas estão localizadas no semiárido nordestino. O clima, o tipo de solo, a geologia, a vegetação, os fatores socioeconômicos e a gestão destas áreas são os aspectos importantes considerados neste processo.

De acordo com Guerra (2013), no nordeste brasileiro, existem quatro áreas que são chamadas núcleos de desertificação, onde é intensa a degradação. Elas somam 18,7 mil km² e se localizam nos municípios de Gilbués, no Piauí; Seridó, no Rio Grande do Norte; Irauçuba, no Ceará e Cabrobó, em Pernambuco.

As diferenças do núcleo de Gilbués com os demais se refere às características climáticas com pluviosidade média anual em torno de 200 mm, ausência de extensos períodos de estiagem e aspectos geoambientais como a litologia, pedológicos, geomorfológicos, hidrológicos e Cerrados como cobertura vegetal predominante (SILVA, 2014).

O município de São Gonçalo do Gurgueia está localizado no núcleo de desertificação de Gilbués/PI. De acordo com o que estabelece a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação, a desertificação é definida como sendo a degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e sub-úmidas secas resultantes de fatores diversos tais como as variações climáticas e as atividades humanas.

Para Silva (2014) e CPRM (2004) as unidades geológicas que ocorrem no município são a Formação Urucaia, que reune arenito e conglomerado, a Formação Areado, constituída de arenito, conglomerado e folhelho e por último a Formação Poti, englobando arenito, folhelho e siltito. A estrutura geológica destaca-se por apresentar litologias extremamente vulneráveis a erosão.

O clima predominante na região é o semiúmido com 4 a 5 meses de estiagem e temperaturas que variam de 25º a 36ºC. A precipitação pluviométrica média anual é definida no regime equatorial e continental, com regime pluviométrico bastante heterogêneo caracterizado por alta amplitude pluviométrica durante o ano, que pode variar de 820 a 1840 mm (SILVA, 2013; 2014).

No estudo realizado por Crepani (2009), o Núcleo de Desertificação de Gilbués, onde está localizado São Gonçalo do Gurgueia constitui-se em caso especial de degradação do solo, relacionado diretamente ao Grupo Areado da Bacia Sanfranciscana que ocorre apenas no extremo sul do Estado do Piauí e não se repetirá fora dessa circunscrição.

2.2 Vulnerabilidade ambiental

Villa e McLeod (2002) relacionam a vulnerabilidade a processos intrínsecos que ocorrem em um sistema, decorrente do seu grau de conservação e resiliência ou capacidade de recuperação após um dano, e a processos extrínsecos, relacionados à exposição a pressões ambientais atuais e futuras. A análise da vulnerabilidade ambiental é fundamental para o planejamento ambiental, pois indica as reações de um determinado ambiente e dar subsídios para criação de ações de preservação ou melhoria ambiental de uma área.

A vulnerabilidade ambiental de maneira geral inclui o grau ao qual o homem ou um ecossistema está em contato com um risco, o grau ao qual uma unidade é afetada pela exposição e a capacidade de resistir ou recuperar-se dos danos (SALAZAR, 2015). Para reduzir a vulnerabilidade, é importante primeiro fazer uma avaliação focalizando não só na exposição e sensibilidade das características físicas, mas também na medição dos aspectos físicos e impactos (CHAUDHURY, 2017).

De acordo com Trombeta (2015) a fragilidade ambiental permite avaliar as áreas que sofrem mais impactos, principalmente, da ação antrópica sem considerar o uso racional dos recursos naturais, e que, portanto, necessitam de proteção e recuperação ambiental, sendo importantes indicativos do planejamento ambiental.

Para o entendimento da fragilidade ambiental destaca-se a metodologia de Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados (ROSS, 1994), que estar baseada na aplicação das concepções de ecodinâmica e ecossistema em projetos de planejamento ambientais associados a meios instáveis a áreas, caracterizados por intervenção antrópica e meios estáveis, caracterizadas pelo estado natural, sem intervenção do homem segundo a concepção de Tricart (1977).

Esterhuyse (2017) argumenta sobre a grande importância do desenvolvimento dos mapas e avaliações de vulnerabilidade para o monitoramento e proteção adequada dos recursos naturais para fornecer uma contribuição direta no gerenciamento adequado. O uso e cobertura da terra é uma das avaliações que permitem avaliar o grau de proteção e fragilidade para cada uma das classes identificadas no terreno, por meio da classificação de imagens de satélite e verificação em campo (TROBETA et. al, 2014).

A proposta metodológica baseia-se na interpretação dos componentes como o relevo e o uso e ocupação da terra e a integração destes elementos com a atribuição de valores, de acordo com o grau de vulnerabilidade. O uso da metodologia do mapeamento de vulnerabilidade ambiental com a associação e combinação multicriterial visa caracterizar os diferentes níveis de vulnerabilidade da área de estudo.

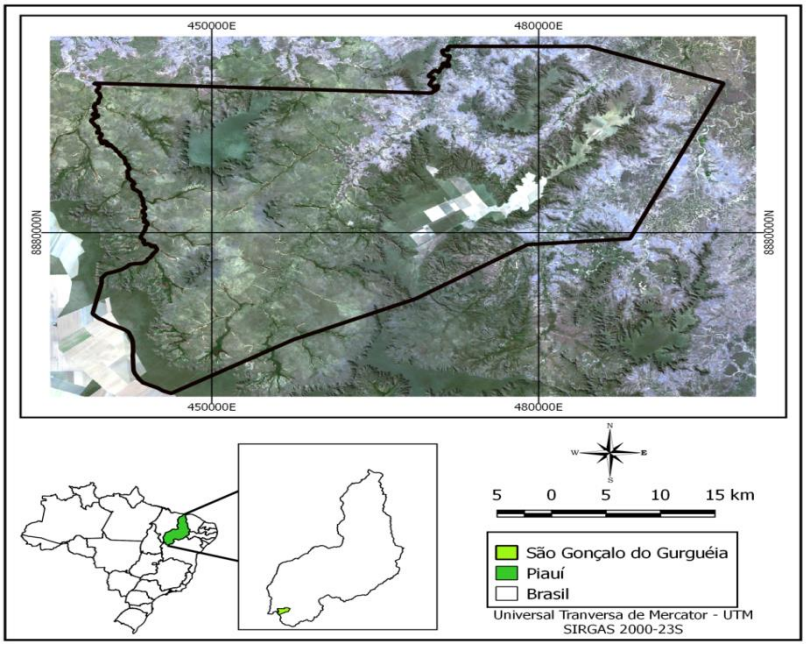
De acordo com Miranda (2015) a análise multicritério exige a definições de valores de critérios, que representam o grau com que uma alternativa se relaciona a certo critério a ser avaliado. Para esta pesquisa a alternativa refere-se à caracterização da vulnerabilidade ambiental e os critérios são o uso e cobertura da terra e declividade. Uma análise multicritério requer uma série de procedimentos que, como regra, visa apoiar o processo de tomada de decisão em situações complexas (ALVES et al, 2018).

Os SIGs podem fornecer valiosas contribuições no apoio às tarefas e aos projetos de planejamento cada vez mais complexos. Obtenção, arquivo, gestão, manipulação, análise e difusão de dados são as tarefas de um SIG. Portanto, são utilizados para a documentação e visualização, bem como para a análise de fenômenos (LANG & BLASCHKE, 2009).

3 METODOLOGIA DO TRABALHO

O município de São Gonçalo do Gurgueia localiza-se na região Sul do Estado do Piauí, na Microrregião do Alto Médio Gurguéia na Bacia Sedimentar do Parnaíba, com área aproximada de 1.385,00 km²(Figura 1). A sede municipal encontra-se a 820 km da capital Teresina. Tem como limites os municípios de Gilbués e Barreiras do Piauí ao norte, ao sul com Corrente, a oeste com Barreiras do Piauí e o estado da Bahia e, a leste com Corrente e Riacho Frio.

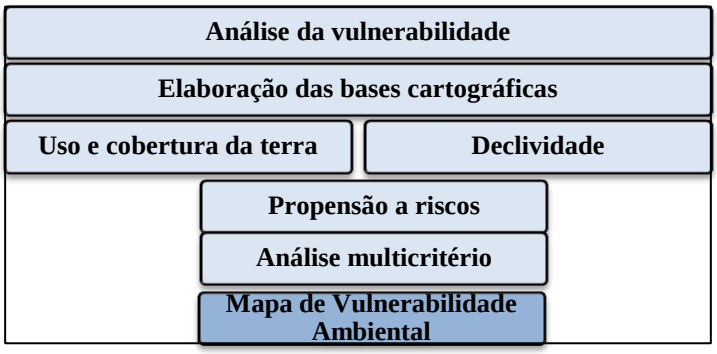
Figura 1 – Mapa de localização de São Gonçalo do Gurgueia.



Fonte: Imagem Landsat 8, 2018. Elaborado pelos autores (2018)

A metodologia utilizada para o cálculo da vulnerabilidade foi adaptada de Crepani (2001) onde os riscos recebem pesos de 1 a 3 e a mesma foi adaptada às duas características físicas escolhidas do município de São Gonçalo do Gurgueia.

Figura 2 – Etapas metodológicas da pesquisa.



Fonte: Autores (2018).

Como mostra a Figura 2 à primeira etapa foi elaboração de bases cartográficas necessárias para a pesquisa, que foram uso e ocupação da terra e declividade, após esta etapa foi feita a classificação das características de acordo com suas propensões a riscos para obtenção do mapa final. A pesquisa foi baseada na metodologia de Crepani et. al (2001) e os riscos para cada característica foi adaptado a área de estudo.

Para a declividade foram usados os dados disponibilizados pela EMPRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária a partir de padrão estabelecido, em plano (< 3%), suave ondulado (3-8%), ondulado (8-20%), forte ondulado (20 - 45%), montanhoso (45 – 75%) e escarpado (>75%).

O uso e cobertura da terra em São Gonçalo do Gurgueia foi gerado utilizando uma cena adquirida pelo site da *United States Geological Survey* (USGS), Landsat 8 sensor OLI, datada de 2 de agosto de 2017, órbita 220 cena 67. No Spring foram usadas as bandas 3, 4 e 5 para formação da imagem sintética e assim ser feita a classificação supervisionada através do classificador Maxver. Na classificação supervisionada foram usadas as classes de vegetação densa, vegetação rasteira, cultivo agrícola e solo exposto.

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade foi usada à calculadora *raster* do QGIS, onde todas as características foram multiplicadas por seus determinados riscos (Tabela 1 e 2) e a partir destas classificações geradas outras imagens.

Tabela 1 - Riscos para o uso e cobertura da terra em São Gonçalo do Gurgueia.

Uso e cobertura da terra	**Risco**
Vegetação densa	1
Vegetação rasteira	1, 5
Cultivo agrícola	2
Solo exposto	3

Tabela 2 - Riscos para a declividade em São Gonçalo do Gurgueia.

Declividade	**Risco**
Plano	0
Suave ondulado	1
Ondulado	1,5
Forte ondulado	2
Montanhoso	2,5
Escarpado	3

Os dados foram trabalhados no software QGIS 2.18.11 onde todas as informações necessárias para a tomada de decisão, foram reunidas e convertidas para a mesma projeção (SIRGAS 2000 - zona 23 S). O AHP (Analytic Hierarchy

Process) é um método de apoio multicritério (MCDM - Multi-Criteria Decision-Making) que procura esclarecer o processo de tomada de decisão, tentando incorporar aos julgamentos, os valores dos agentes, na intenção de acompanhar a maneira como se desenvolvem as preferências (Singh, 2013).

Os riscos foram classificados em vulnerabilidade Muito baixa, Baixa, Média, Alta e Muito alta. O cálculo foi feito através da análise multicritério, onde foi realizado o cruzamento de cada classe com seus respectivos pesos e para o cálculo final foi feita uma média das características conforme a Equação 1.

$$V = \frac{Vd+Vus}{2} \quad (1)$$

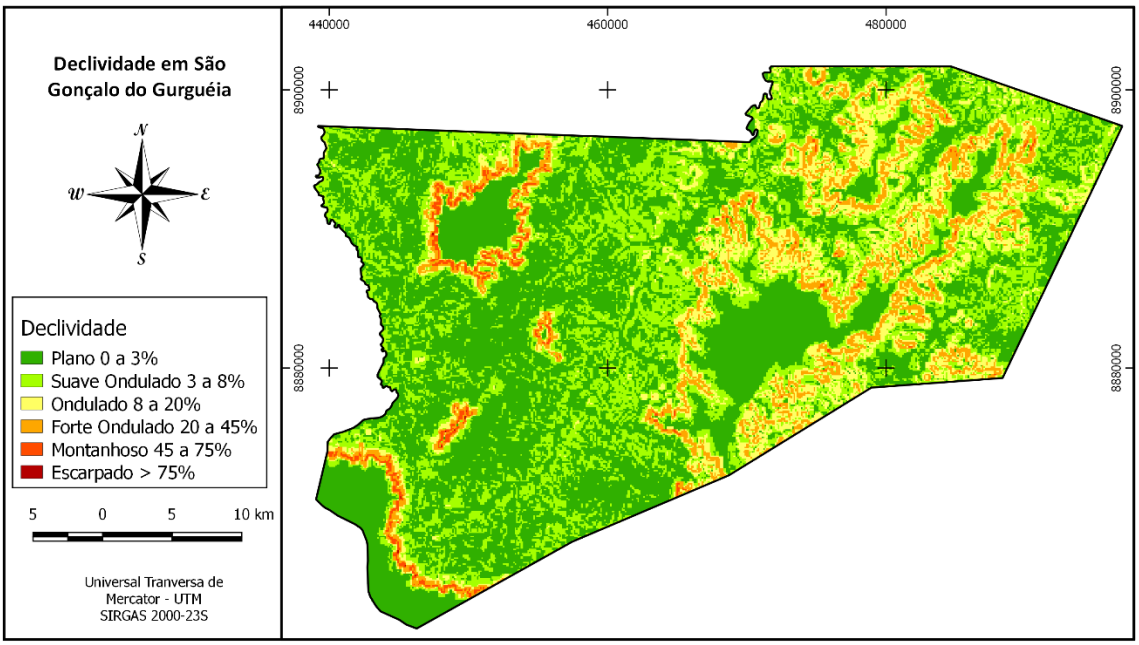
Onde: V = Vulnerabilidade;
Vd = Variável para declividade;
Vus = Variável para uso e cobertura da terra.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste estudo foi levada em consideração a inclinação do relevo, quanto maior a declividade maior a sua vulnerabilidade. De acordo com Dias (2012) essa forma, a maior capacidade de erosão que esculpe as formas de relevo faz prevalecer à morfogênese. O conhecimento da declividade do município é de extrema importância para o planejamento e intervenções das ações do homem, pois a declividade influencia diretamente na susceptibilidade a perda de solo e erosões o que pode intensificar a desertificação.

A declividade foi classificada de acordo com as classes padrões da EMPRAPA, o que corresponde a um relevo plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado. De acordo com a Figura 3, o valor médio da declividade encontrada no município foi de 3 a 20%, o que corresponde a um relevo Suave Ondulado e Ondulado e alguns pontos onde o relevo foi de montanhoso a escarpado de acordo com a classificação sugerida pela Embrapa.

Figura 3 - Representação da declividade em São Gonçalo do Gurgueia.



Fonte: Dados de declividade obtidos pela EMBRAPA. Elaborados pelos autores (2018).

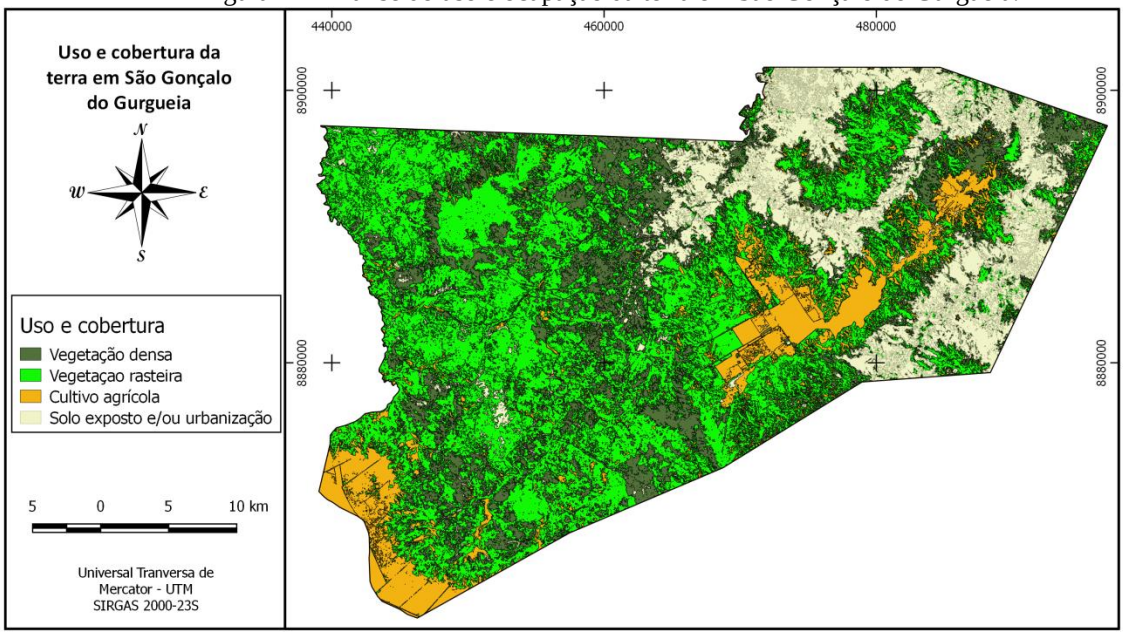
Os principais usos do solo identificados no município de São Gonçalo do Gurgueia foram vegetação densa, vegetação rasteira, cultivo agrícola e solo exposto.

Tabela 3 - Porcentagem das áreas para o Uso e cobertura da terra.

CLASSES	ÁREA (Km²)	%
Vegetação densa	302,8842	21,88
Vegetação rasteira	685,1781	49,50
Agricultura	165,8384	11, 93
Solo exposto e/ou urbanização	231,0993	16,69
TOTAL	**1385**	**100**

O uso predominante da área de estudo é o da vegetação rasteira com 685,1781 km ² o que equivale a 49,50 % da área do município, em seguida aparecem a vegetação densa com 302,8842km ², correspondendo a 21,88 % da área. Área de cultivo agrícola e solo exposto correspondem a 11,93% e 16,69 % da área respectivamente (Tabela 2).

Figura 4 - Análise do uso e ocupação da terra em São Gonçalo do Gurgueia.



Fonte: Autores (2018).

Tabela 4 - Quantificação das classes temáticas de vulnerabilidade

CLASSES	ÁREA (Km²)
Muito baixa	127,9405
Baixa	270,8409
Média	596,7324
Alta	158,3671
Muito alta	231,1191
TOTAL	**1385**

De acordo com os cálculos da vulnerabilidade no município de São Gonçalo do Gurgueia como mostra o Quadro 03 somente 127,9405 km ² possui vulnerabilidade muito baixa, 270,8409 km ² Baixa, 596,7324 km ² é Média, Alta 158,3671 km ² e 231,1191 km ² é considerado terreno com vulnerabilidade muito alta.

Como mostra o Gráfico 1 as porcentagens correspondem às áreas referentes à tabela acima. O município pode ser considerado de alta vulnerabilidade ambiental, pois somente 9% da área de acordo a análise multicritério possui vulnerabilidade muito baixa e 20% Baixa.

Gráfico 1 - Porcentagem das classes temáticas de vulnerabilidade.

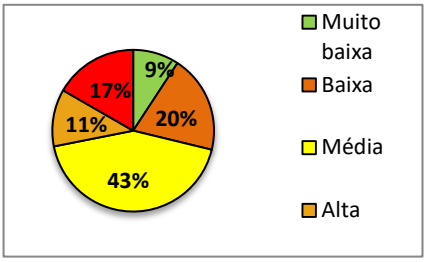
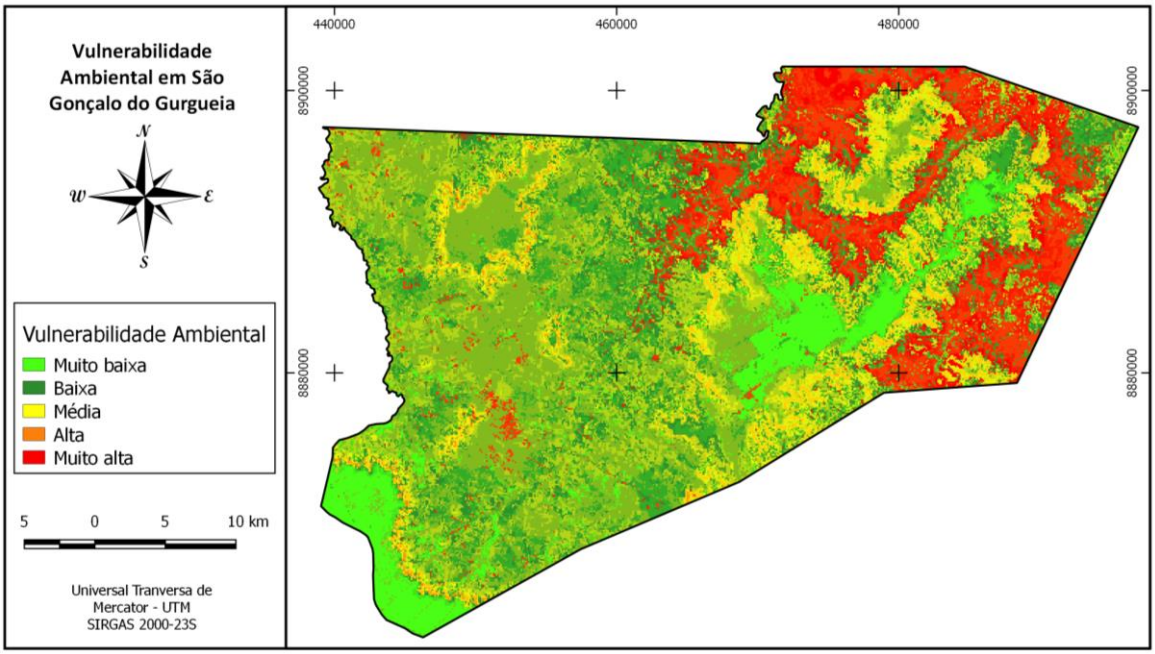


Figura 5 - Representação da vulnerabilidade ambiental de São Gonçalo do Gurguéia.



Fonte: Autores (2018).

A Figura 5 mostra o resultado final, onde é possível visualizar os locais estáveis e instáveis e de onde foi feita a extração e quantificação dos dados citados acima. Na cor verde claro são os locais com vulnerabilidade muito baixa, que são locais consideravelmente planos e áreas de cultivo agrícola, verde escuro Baixa vulnerabilidade, amarelo medianos, laranja os locais com alta vulnerabilidade e em vermelho os locais mais instáveis. É possível notar que os locais com vulnerabilidade muito alta são os locais que já sofrem um processo intenso de erosão o que consequentemente causa a desertificação.

5 CONCLUSÕES

O objetivo principal desta pesquisa foi analisar as condições da vulnerabilidade ambiental do município de São Gonçalo do Gurgueia através de suas características físicas utilizando tecnologias da geoinformação. O município pode ser considerado de alta vulnerabilidade ambiental, pois somente 9% da área de acordo a análise multicritério é considerado solos com vulnerabilidade muito baixa. Com os resultados obtidos é possível concluir que o método de avaliação por análise multicritério torna-se fundamental para identificar áreas susceptíveis a fragilidade ambiental, pois aponta os locais com maior vulnerabilidade, sendo assim uma ferramenta do planejamento ambiental.

Desta forma a classificação dos usos da terra junto à suas características de declividade resultou em uma espacialização dos locais com maiores vulnerabilidades. Contudo se os fatores ambientais não forem levados em consideração no processo de uso da terra, a modificação do terreno pode ocorrer de forma desequilibrada aumentando assim as áreas de solo exposto podendo acarretar no aumento da desertificação no município que pode ser irreversível.

REFERÊNCIAS

ALVES, P.B.R., TSUYUGUCHI, B. B., RUFINO, I. A. A., FEITOSA, P. H. C. Mapping of flood susceptibility in Campina Grande county – PB: a spatial multicriteria approach. **Bulletin of Geodetic Sciences**, Vol. 24, issue 1, 28-43, Jan-Mar, 2018.

BLASCHKE, Thomas & LANG, Stefan. **Análise da paisagem com SIG**. Tradução de Hermann Kux. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 423p.

CHAUDHURY, Moushumi. **Strategies for reducing vulnerability and building resilience to environmental and natural disasters in developing countries**, 2017. Disponível em <https://www.un.org/development/desa/dspd/wp-content/uploads/sites/22/2017/04/Moushumi-Chaudhury-Strategies-to-Reduce-Vulnerability-Paper_WRI_Final.pdf> Acesso em 26,abr.2018.

CPRM-Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí: diagnóstico do município de São Gonçalo do Gurguéia**. Organização do texto Robério Bôto de Aguiar e José Roberto de Carvalho Gomes. Fortaleza, 2004.

CREPANI, E. O Núcleo de Desertificação de Gilbués observado pelo Sensoamento Remoto e pelo Geoprocessamento. In: **Anais** do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5185-5192. Disponível em:<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2008/11.13.18.39/doc/5185-5192.pdf> Acesso em 20 abr. 2018.

CREPANI, Edison; MEDEIROS, José Simeão de; AZEVEDO, Luiz Guimarães; HERNANDEZ FILHO, Pedro; FLORENZANO, Tereza Gallotti; DUARTE, Valdete. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.

DIAS, Valdirene Silva Brito. **Análise Hierárquica Processual (AHP) na Modelagem da Vulnerabilidade Ambiental do Microcorredor Ecológico Serra das Onças (BA).** 2012. 76 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2012.

ESTERHUYSE,S et al. Vulnerability mapping as a tool to manage the environmental impacts of oil and gas extraction. Royal Society Open Science.. 4: 171044.2017.

FRANÇA, Luciano C. J; PIUZANA, Danielle; ROSS, Jurandy L. S. Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente em núcleo de desertificação no semiárido brasileiro (Gilbués, Piauí). Revista Espacios, Vol. 38,nº 31.Pág. 21,2017.
GOMES, M. *et al*. Análise preliminar dos mapas de vulnerabilidade do patrimônio espeleológico para as áreas cársticas prioritárias da região de abrangência do pan cavernas do São Francisco. **Revista Brasileira de Espeleologia – RBEsp**, v. 1, n. 4, 2014.

GUERRA, Sidney. Crise Ecológica na Sociedade de Risco. **Revista de Direito da Cidade**, vol.05, nº02. ISSN 2317-7721 p. 77-105, 2013.

LOPES, Laryssa Sheydder de O; SOARES,Rafael Celestino. Suscetibilidade à desertificação das terras secas de Gilbués (Estado do Piauí) e Cabrobó (Estado do Pernambuco), nordeste do Brasil. Revista Geográfica de América Central, v. 1, n° 56. p. 307–323.2016.

METZGER, Marc J.; et al. The vulnerability of ecosystem services to land use change. Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 114, p. 69-85, 2006.

PEREZ-MARIN, A. M.; CAVALCANTE, A.M.B.; MEDEIROS, S.S.; TINÔCO, L.B.; SALCEDO, I.H.Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? **Parc.Estrat.** Brasília-DF, v.17, n.34, p.87-106, 2012.

ROSS, Judandyr Luciano Sanches. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturas e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. V.8, 1994.

SALAZAR, Juan Pablo Catamuscay. **Determinação de cenários futuros de uso e cobertura do solo e sua influência na vulnerabilidade ambiental: o caso do Município de Formosa** – Goiás, Brasil, 2015.127f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade de Brasília. Faculdade Tecnologia. 2015.

SCHOTER, Dagmar. et al. Vulnerability assessment - analysing the human-environment system in the face of global environmental change. The ESS Bulletin, v. 2, p. 11-17, 2004.

SILVA, I. A. de S. **Clima e arenização em Gilbués-Piauí: dinâmica das precipitações e a vulnerabilidade da paisagem aos eventos pluviais intensos.**Goiás,Brasil,2014.184f.Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Goiás. Instituto de Estudos Socioambientais. 2014.

SILVA, I. A. de S. Degradação ambiental em Gilbués-PI: bases conceituais, condicionantes geoambientais e impactos na paisagem. **Revista Equador**, Vol.1, n.1, p. 14-29, 2013.

SINGH, Rajesh K. "Prioritizing the factors for coordinated supply chain using analytic hierarchy process (AHP)". Measuring Business Excellence 17 (2013): 80-97.

TRAN, Liem T. et al. Fuzzy Decision Analysis for Integrated Environmental Vulnerability Assessment of the Mid-Atlantic Region. Environmental Management, v. 29, p. 845-859, 2002.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.

TROMBETA, L.R.; GARCIA, R.M.; NUNES, R.S.;GOUVEIA, I.C.M.C.; LEAL, A.C.2014. Análise da fragilidade potencial e emergente do relevo da unidade de gerenciamento de recursos hídricos pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil. **Caderno de prudentino de geografia**, nº36, p.159-173,2014.

TROMBETA, Letícia Roberta**. Planejamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego Guaiçarinha, Município de Álvares Machado, São Paulo, Brasil**. 2015. 205f. Dissertação (mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Geografia, campus de Presidente Prudente. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia.2015.

VIEIRA, R. M. S. P., TOMASELLA, J., ALVALÁ, R. C. S., SESTINI, M. F., AFFONSO, A. G., RODRIGUEZ, D. A., BARBOSA, A. A., CUNHA, A. P. M., VALLES, G.F., CREPANI, E., OLIVEIRA, S. B. P., SOUZA, M. S. B. de., CALIL, P. M.,CARVALHO, M. A. de., VALERIANO, D. M., CAMPELO, F. C. B. y SANTANA,M. O. (2015). Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian Northeast. **Soid Eart**, 6, p.347.

VILLA, F; McLEOD, H. Environmental Vulnerability Indicators for Environmental Planning and Decision-Making: Guidelines and Applications. Environmental management, v. 29, p. 335-348, 2002.

ANÁLISE ESPACIAL DA TAXA DE MORTALIDADE INFANTIL EM PERÍODO NEONATAL NO ESTADO DO PIAUÍ, 2016

ABÍLIO GOMES FIGUEREDO NETO 1
CARLOS ANDRÉ CARVALHO DA SILVA 2
JULIANA GONÇALVES DE SOUSA 3
GABRIELA DE SOUSA CRUZ 4

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI
Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento - CSTGEO
Departamento de Informação, Ambiente, Saúde e Produção Alimentícia, Teresina, PI
abiliotleo@hotmail.com, carlosxtremer@gmail.com, julianahsousa2013@gmail.com, gabrielascruz09@gmail.com

RESUMO - A taxa de mortalidade infantil expressa o número de crianças de um determinado local que morre antes de completar 1 ano de vida a cada mil nascidas vivas. Esse dado é um indicador da qualidade dos serviços de saúde, saneamento básico e educação que agrava principalmente locais menos favorecidos de recursos desse tipo. Com isso, esta pesquisa refere-se a um estudo acerca do padrão espacial do componente neonatal da mortalidade infantil no Piauí em 2016. A análise desse componente foi obtida através do Índice de Moran local feito no programa ArcMap 10.5 e classificações ilustradas através de mapas dos dados adquiridos por meio de pesquisas feitas no site do Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA, onde foram colhidas tabelas de informações das taxas do período neonatal, tendo em vista este ser o principal componente da mortalidade infantil. Com isso o trabalho aponta um estudo de análise espacial de áreas, cujas taxas correspondem aos índices do Piauí, sendo que as técnicas de geoprocessamento utilizadas foram de grande valia para chegar ao resultado almejado, demonstrando a extrema importância o uso de Sistema de Informação Geográfica – SIG para alcançar tal pleito. Portanto, conclui-se que a identificação dos locais de déficit, as condições de assistência à gravidez, ao parto e ao recém-nascido, somadas a uma melhor distribuição de renda, são decisivas para a sobrevivência no primeiro mês de vida e assim assegurar melhores resultados ao estado.

ABSTRACT - The infant mortality rate expresses the number of children in a given place who dies before completing one year of life for every thousand live births. This figure is an indicator of the quality of health services, basic sanitation and education that aggravates mainly less favored sites of such resources. Thus, this research refers to a study about the spatial pattern of the neonatal component of infant mortality in Piauí in 2016. The analysis of this component was obtained through the local Moran Index made in the ArcGIS Pro program and classifications illustrated through maps of the data acquired through surveys of the IBGE System of Automatic Recovery System (SARS), where tables were collected information on the rates of the neonatal period, in view of this being the main component of infant mortality. This work points to a study of spatial analysis of areas, whose rates correspond to the indexes of the Piauí, and the geoprocessing techniques used were of great value in order to reach the desired result. Therefore, it is concluded that the identification of deficit sites, conditions of care for pregnancy, childbirth and the newborn coupled with a better income distribution are decisive for survival in the first month of life and thus ensure better results to state.

1 INTRODUÇÃO

A mortalidade infantil (MI) é algo bastante preocupante e corriqueiro no Brasil, sendo importante enfatizar os óbitos no início da vida extrauterina (que se refere ao período neonatal), fato perturbante principalmente em regiões que apresentam problemas socioeconômicos, com pouco acesso aos serviços de saúde e bem-estar social. Existem, também, outros fatores que acarretam nos óbitos de recém-nascidos, como no caso de agressões sofridas no período da gestação materna ou as condições de parto e de assistência ao recém-nascido, por exemplo. Esta Taxa de Mortalidade é um caso especial de taxa de mortalidade específica por faixa etária. Ela mede o risco de morte no primeiro ano de vida**.**

Além dos fatores já mencionados, a educação também é crucial para ocorrer o óbito recém-nato, Morais Neto, et al. (2000) afirma que a importância do nível educacional está presente no modelo de regressão da taxa de mortalidade infantil precoce (TMIP) através da proporção de mulheres com menos de oito anos de estudo. É reconhecido pelo Banco Mundial que as políticas de desenvolvimento educacional são fortemente aliadas dos ganhos obtidos em saúde. O grau de instrução é considerado um marcador da condição socioeconômica da mãe e de sua família. Além desse enfoque, o nível educacional da mãe pode ser compreendido também como fator relacionado ao perfil cultural e a comportamentos ligados aos cuidados de saúde, que têm um importante efeito na determinação da mortalidade infantil.

Segundo Duarte, et al. (2002) apud Bezerra Filho, et al. (2007), no país, diversos estudos voltados à mortalidade infantil têm demonstrado a existência de diferenciais tanto entre estratos sociais, entre regiões e estados, como entre áreas da mesma cidade, o que leva normalmente à identificação de territórios constituídos de grupos populacionais sob altos riscos de morte infantil ou a correlacionar os riscos desta mortalidade com variáveis socioeconômicas e de assistência à saúde.

No estado Piauí essas taxas têm diminuído nos últimos tempos, mas ainda sim os resultados de óbitos infantis são bem preocupantes. De acordo com informações do portal de notícias O Dia a média de crianças com menos de um ano de idade que vai a óbito no Piauí, representada pela Taxa de Mortalidade Infantil (TMI), é maior que a média nacional, de acordo com a estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), divulgada no Diário Oficial da União. A estimativa indica que, em 2016, enquanto a taxa de mortalidade infantil nacional foi de 13,29 a cada mil crianças nascidas; no Piauí, é de 19,11.

Quando se fala em mortalidade infantil é importante ressaltar que a mesma possui dois componentes compreendidos como: taxa de mortalidade neonatal, que equivale aos primeiros 28 dias de vida do bebê e a taxa de mortalidade pós-neonatal, que ocorre dos 28 dias de vida até o primeiro ano de nascimento. A mortalidade neonatal ainda apresenta a taxa de mortalidade neonatal precoce, que acontece nos primeiros 7 dias de vida e a tardia, onde o óbito ocorre entre 7 e 28 dias de nascido.

> A mortalidade neonatal constitui o principal componente da mortalidade infantil e nisso, os óbitos fetais, em grande parte, são considerados potencialmente evitáveis, sendo de suma importância registrar e estudar as causas de mortes ocorridas nas regiões, pois através dos indicadores é possível prever iniquidades sociais e prover importantes programas de políticas públicas em saúde coerentes com sua população ocupacional. Mathias, et al. (2008) apud Boing; Boing (2008).

Segundo Monteiro, et al. (2000) Dentre os diversos indicadores sanitários, a taxa de mortalidade infantil é um dos mais sensíveis às transformações sociais de qualquer região. O estudo detalhado do seu comportamento é fundamental para o controle e redução dos seus níveis. Um dos aspectos desse conhecimento diz respeito à sua distribuição espacial. Um estudo possível de ser realizado é a análise espacial de áreas, cujas taxas corresponderiam à mortalidade de cada município.

Nesse sentido, o uso do geoprocessamento e das técnicas de análises de dados espaciais são de extrema importância no sentido de identificar padrões de distribuição da mortalidade infantil e com isso auxiliar na implantação de programas de saúde que contemplem os locais que sofrem com esses problemas, sendo que o uso das geotecnologias vem sempre a agregar, pois estas auxiliam e suprem de forma louvável a obter resultados para determinados estudos e problemas como é o caso deste.

Assim, para o desenrolar dessa pesquisa, foi utilizado o índice de Moran local, executado através do ArcMap 10.5 e a classificação de dados feita através do método de Otimização de *Jenks* no software QGIS 2.18.13 para demonstrar os municípios piauienses que apresentam um maior índice de mortalidade neonatal.

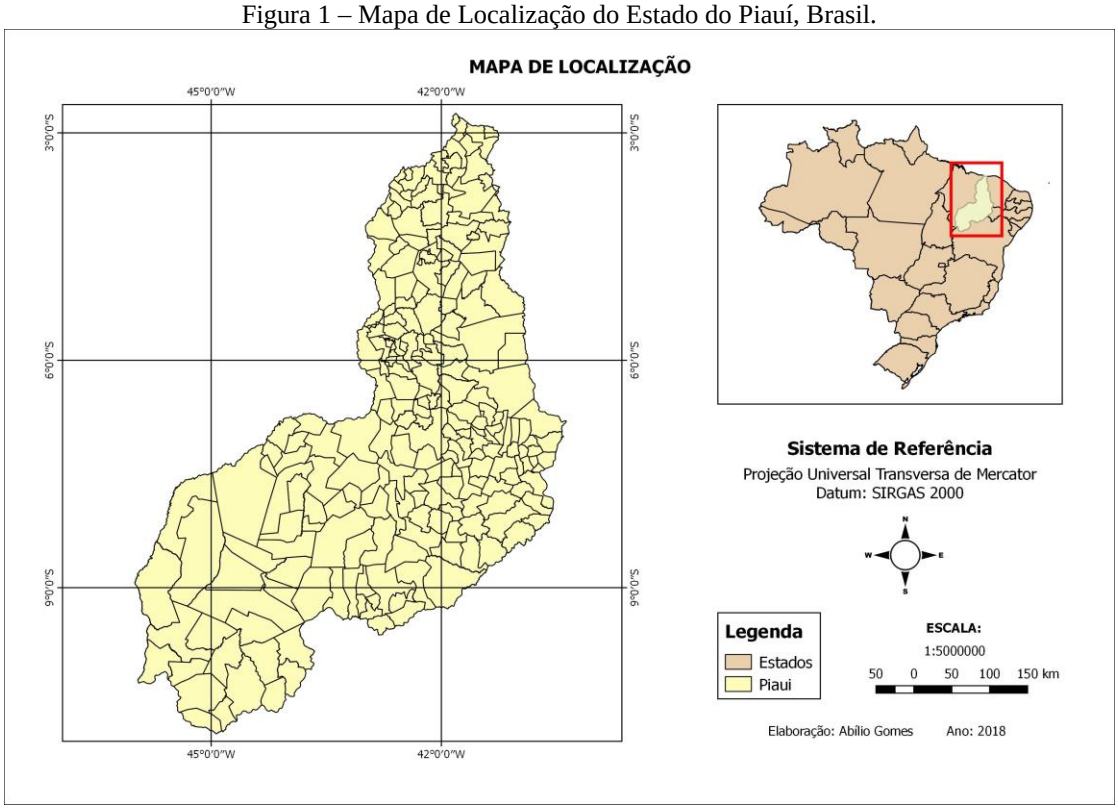
Portanto, o objetivo deste trabalho é mostrar os resultados de um dos componentes da taxa de mortalidade infantil, que é a taxa de mortalidade neonatal (precoce e tardio) no estado do Piauí em 2016, apontando, assim, os locais onde ocorre um maior número de crianças nascidas vivas, bem como analisar os padrões de distribuição espacial da mortalidade neonatal.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Área de estudo

O Piauí é um estado da república federativa do Brasil, localiza-se na região nordeste do país (figura 1) e possui uma área total de 251 577,738 km², sendo o décimo primeiro maior estado do Brasil em área e tendo uma população de 3.194,718 habitantes.

Figura 1 – Mapa de Localização do Estado do Piauí, Brasil.



Fonte: Figueredo Neto, A. G. (2018)

2.2 Aquisição e manipulação de dados

Primeiramente foi feita uma pesquisa através do Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA, onde foram coletadas tabelas de informações a respeito da quantidade de bebês nascidos vivos, bem como o número de óbitos no período neonatal precoce, tardio e o total dos dois. Logo após a aquisição desses dados, os mesmos foram inseridos no Software QGIS 2.18.13, unidos com a *shapefile* dos municípios do Piauí e salvos como um só arquivo *shapefile*. Em seguida, no mesmo software, foi feita a classificação dos dados através do método de Otimização de *Jenks*, possibilitando a produção de mapa coroplético com o intuito de classificar a porcentagem de recém-nascidos vivos e dos óbitos neonatais por habitantes e identificar por meio da intensidade das cores os locais que apresentaram mais nascimentos com vida e mais mortes de bebês para cada 100 habitantes por município. Posteriormente, o arquivo *shapefile* foi adicionado ao programa ArcMap 10.5 e através deste foi possível fazer o índice de Moran local, dependência espacial, sendo permitido observar a autocorrelação espacial entre os vizinhos de cada região do estado.

2.3 Índice de Moran

Um tipo de estatística bem difundida e que mede a autocorrelação espacial a partir do produto dos desvios em relação a média é o índice de Moran, sendo uma medida global da autocorrelação espacial, pelo fato de indicar o grau de associação espacial que se encontra no conjunto de determinados dados.

Carlos Paiva (2008) aponta que no índice de Moran, a autocorrelação espacial é calculada a partir do produto dos desvios em relação à média como uma medida de covariância, dessa forma, valores significantemente altos indicam grandes chances de que haja locais de associação espacial tanto de regiões com altos valores associados como com baixos valores associados.

Dessa forma, o índice de Moran local quantifica o grau de associação espacial para que cada localização do conjunto amostral seja submetida a função de um determinado modelo de vizinhança.

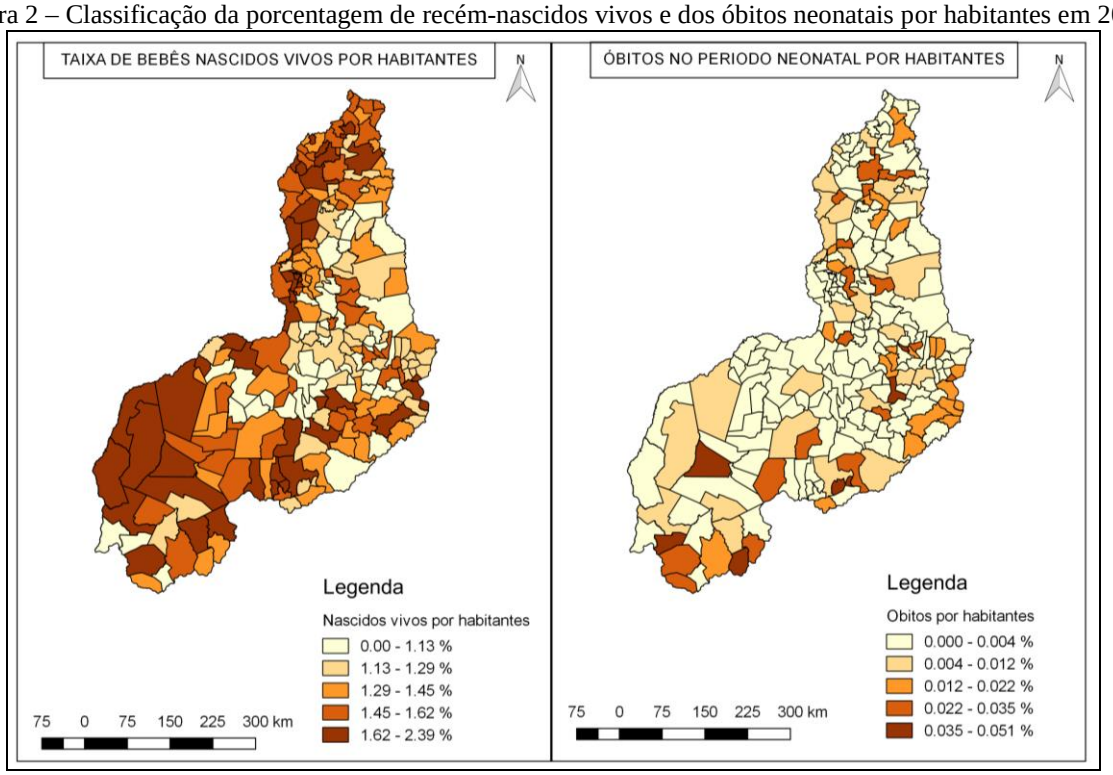
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 apresenta um mapa coroplético produzido através da classificação de dados, no qual foi usada a classificação de quebras iguais (Otimização de *Jenks*), com cinco classes de representação. Esse método de classifi-

cação foi utilizado, pois, segundo demonstra Ramos A. P. M. et al. (2016) é a regra que melhor otimiza a distribuição dos dados nas cinco classes de representação, sendo que neste caso, antes da escolha do método, fez-se uma análise da distribuição dos dados.

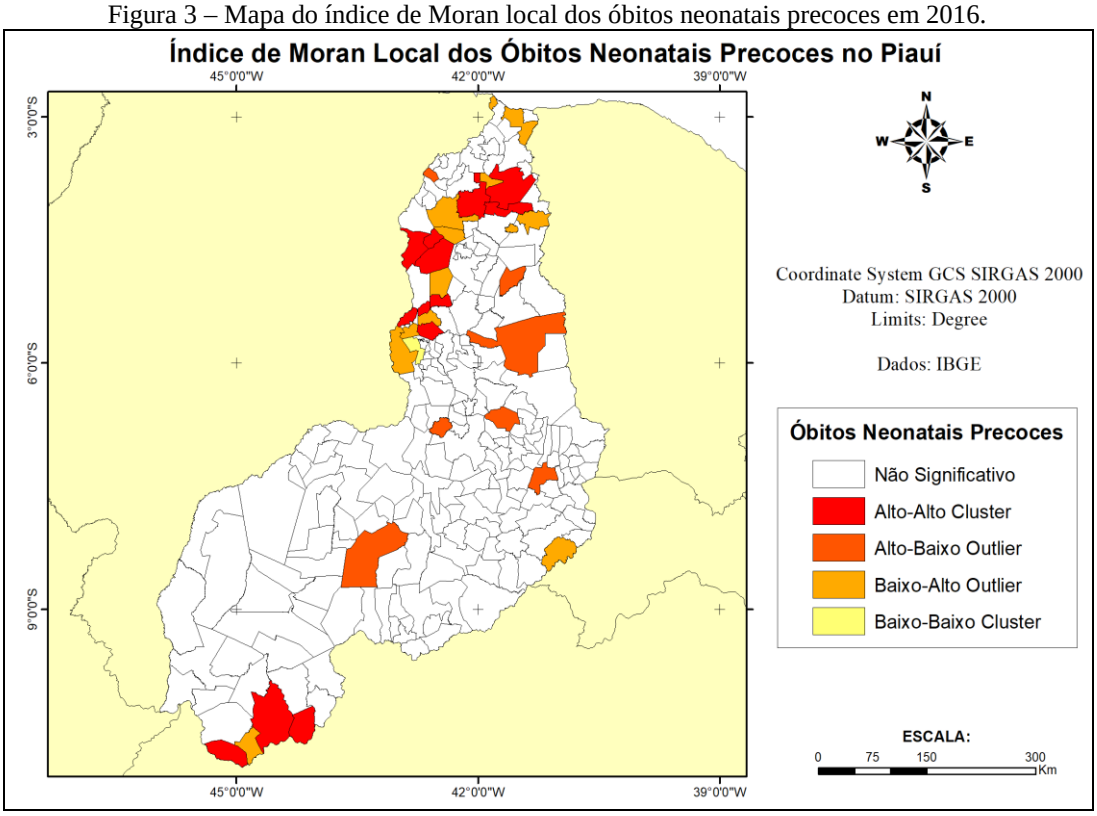
Dessa forma foi possível apontar a quantidade de crianças nascidas vivas e o total de falecidos no período neonatal precoce e tardio do ano de 2016 para cada 100 habitantes dos municípios do estado, assim, quanto mais forte for a cor, mais intenso foram os casos de acordo com a quantidade de habitantes nas localidades apontadas.

Figura 2 – Classificação da porcentagem de recém-nascidos vivos e dos óbitos neonatais por habitantes em 2016.



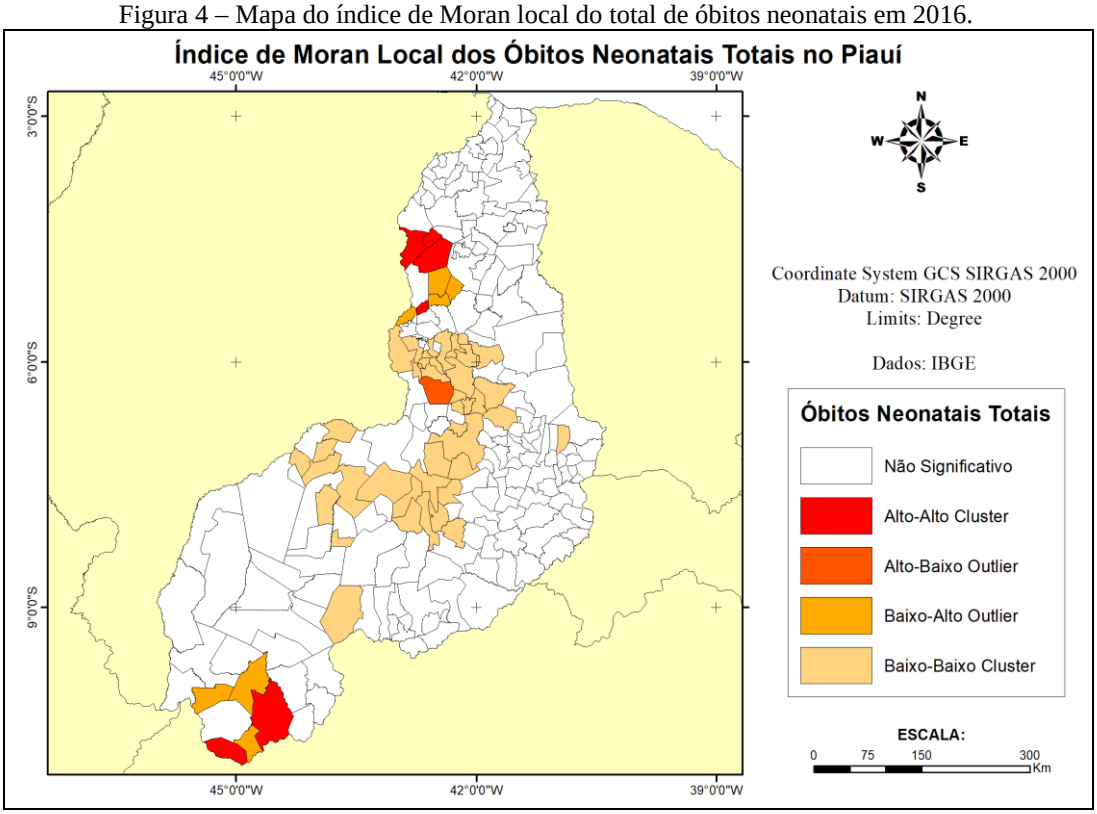
Fonte: Silva, C. A. C. (2018)

Figura 3 – Mapa do índice de Moran local dos óbitos neonatais precoces em 2016.



Fonte: Figueredo Neto, A. G. (2018)

Figura 4 – Mapa do índice de Moran local do total de óbitos neonatais em 2016.



Fonte: Figueredo Neto, A. G. (2018)

Essa análise ajudou a demonstrar a autocorrelação espacial que mede o nível de dispersão ou cluster para os municípios do estado (atributo "Z"), que são relativos ao seu valor, vinculados as suas áreas vizinhas dos quadrantes, apontando os locais de associação espacial positiva Q1 (valores positivos, médias positivas), negativas Q2 (valores negativos, médias negativas), áreas em transição Q3 (valores positivos, médias negativas) e Q4 (valores negativos, médias positivas).

Assim, as figuras 3 e 4, representam os óbitos neonatais precoces e óbitos neonatais totais, respectivamente, e apresentam no primeiro quadrante Q1 as regiões com polarização positiva, demonstradas pela cor mais escura (Alto-Alto). No segundo quadrante Q2 apontam os locais com agrupamento negativo, que são as regiões ilustradas pela cor mais clara (Baixo-Baixo).

No que diz respeito ao terceiro quadrante Q3, apresenta os locais em transição com valores positivos, mas com médias negativas (Alto-Baixo), regiões ilustradas nos mapas pela segunda cor mais escura. Por fim, as regiões pertencentes ao quarto quadrante Q4, também são áreas em transição com valores baixos e médias altas (Baixo-Alto) representados no mapa pela cor azul escuro.

Para chegar aos valores de média final dos resultados das taxas de mortalidade infantil, foram feitos os cálculos através das seguintes fórmulas:

$$TMINP = \frac{\text{Óbitos precoces (menos de 7 dias)}}{\text{Número total de nascidos vivos}} \times 1000$$

$$TMINT = \frac{\text{Óbitos tardios (entre 7 e 28 dias)}}{\text{Número total de nascidos vivos}} \times 1000$$

$$TMING = \frac{\text{Óbitos Neonatais Gerais (0 e 28 dias)}}{\text{Número total de nascidos vivos}} \times 1000 \quad (1)$$

4 CONCLUSÕES

Ao final de todo o processo de pesquisa e de análises é perceptível que uso de técnicas de geoprocessamento, bem como o auxilio do Sistema de Informação Geográfica, são extremamente importantes para diversos tipos de estudos, não só deste cunho, mas também para vários outros, dando a oportunidade de ser observado o grau do problema enfrentado pelo estado do Piauí e apontando de forma útil os municípios que apresentam déficit de população pelo fato do grau de óbitos infantis serem acentuados, onde o estado apresenta a quinta maior média de mortalidade infantil do Brasil, sendo que o Piauí não é um estado tão desenvolvido economicamente e este é um dos fatores que contribuem para esse tipo de ocorrência.

Dessa forma foi possível demonstrar o poder da análise espacial, este sendo um estudo de fenômenos sociais localizados no espaço geográfico, no qual teve o papel fundamental de auxiliar o desenvolvimento de várias etapas, como a visualização da TMI e de seus componentes em mapas, objetivando descrever os dados de forma a contribuir para o desenvolvimento de modelos e hipóteses. Consequentemente, este modo de visualização representa de forma mais clara os índices do estado, facilitando o entendimento e fixação dos resultados apresentados; fato diferente caso as representações fossem feitas apenas por tabelas, por exemplo.

Portanto, pesquisas como esta servem de auxilio para o poder público a fim de estudar determinados locais que demonstram uma deficiência maior no que diz respeito à qualidade dos serviços de saúde, saneamento básico e educação, dando a oportunidade e facilitando na criação de políticas públicas no intuito de minimizar tal problema.

REFERÊNCIAS

BEZERRA FILHO, J. G., KERR, L. R. F. S., MINÁ, D. D. L., & BARRETO, M. L. (2007). Distribuição espacial da taxa de mortalidade infantil e principais determinantes no Ceará, Brasil, no período 2000-2002. **Cadernos de Saúde Pública**, *23*, 1173-1185.

BOING, A. F.; BOING, A. C. Mortalidade infantil por causas evitáveis no Brasil: um estudo ecológico no período 2000-2002. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, p. 267-274, 2008.

DUARTE EC, SCHNIDER MC, PAES-SOUSA R, RAMALHO WM, SARDINHA LMV, SILVA JR. JB, et al. Epidemiologia das desigualdades em saúde no Brasil: um estudo exploratório. Brasília: **Fundação Nacional de Saúde**; 2002.

MATHIAS, T. A. F.; ASSUNÇÃO, A. N.; SILVA, G. F. Óbitos infantis investigados pelo Comitê de Prevenção da Mortalidade Infantil em região do Estado do Paraná. **Rev. esc. enfermagem USP**, São Paulo, v. 42, n. 3, p. 234-239, 2008.

MONTEIRO CA, NAZÁRIO CL. Declínio da mortalidade infantil e eqüidade social: o caso da Cidade de São Paulo entre 1973 e 1993. In: Monteiro CA, organizador. **Velhos e novos males da saúde no Brasil: a evolução do país e suas doenças**. 2ª Ed. São Paulo: Editora Hucitec; 2000.

MORAI-NETO OL, BARROS MBA. Fatores de risco para mortalidade neonatal e pós-neonatal na Região Centro-oeste do Brasil: **linkage entre bancos de dados de nascidos vivos e óbitos infantis**. Cad Saúde Pública 2000.

RAMOS, Ana Paula Marques et al. AVALIAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DE MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DE DADOS PARA O MAPEAMENTO COROPLÉTICO. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 3, 2016.

Sites consultados:

Portal de Notícias O Dia. < https://www.portalodia.com/noticias/piaui/ibge-aponta-que-a-cada-mil-criancas-que-nascem-no-piaui,-19-morrem-304959.html> acesso em 10 de Março de 2018.

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA DISTRIBUIÇÃO DA DENGUE NO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO DA BAHIA – BRASIL NO PERÍODO DE 2009 A 2010

MANUELLA LIMA DAMASCENO 1
RÔMULO ALEXANDRINO SILVA 1
CARLOS ALBERTO BORBA SCHULER 1
LUCILENE ANTUNES CORREIA MARQUES DE SÁ 1
DENNIS MARINHO OLIVEIRA RAMALHO DE SOUZA 2

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE manuellalimaufpe@gmail.com, romulo_alex_silva@hotmail.com, lacms@ufpe.br; cschuler@ufpe.br; dennis.marinho@univasf.edu.br

RESUMO – Este trabalho visa analisar a dinâmica espaço-temporal da dengue na zona urbana do município de Juazeiro/Bahia, no período de 2009 a 2010. Foram utilizados dados fornecidos pela Secretaria de Saúde do município sobre as notificações da doença nos bairros inseridos na zona urbana. Os mapas temáticos foram elaborados no software QGIS versão 2.10, através do estimador de densidade de Kernel realizando-se a análise do número total de casos de dengue nas áreas inseridas no perímetro urbano do município, taxas de incidência, sazonalidade, total de casos por ano e gênero e a média da taxa de ocorrência da série temporal. Os resultados obtidos demonstraram em 2009 e 2010 a notificação em 887 casos de dengue na zona urbana do município de Juazeiro, sendo os bairros centrais da cidade os que apresentaram maior foco da doença, seguido pelos bairros João XXIII e João Paulo II. Já os bairros Dom José Rodrigues e Alto da aliança apresentaram os menores índices. Constatou-se a efetividade da utilização do estimador de Kernel, uma vez que foi possível identificar os bairros mais afetados pela doença na série temporal estudada, bem como elucidar dos dados em meio cartográfico as áreas que apresentaram maiores taxas de incidência da dengue.

ABSTRACT - This paper aims to analyze the spatial-temporal dynamics of dengue in the urban area of the municipality of Juazeiro / Bahia, from 2009 to 2010. We used data provided by the Health Department of the municipality on the notifications of the disease in the districts inserted in the urban zone. The thematic maps were elaborated in the software QGIS version 2.10, by means of the Kernel density estimator, being realized the analysis of the total number of dengue cases in the inserted areas in the urban perimeter of the municipality, incidence rates, seasonality, total cases per year and gender and the mean of the occurrence rate of the time series. The results obtained demonstrated in 2009 and 2010 the notification in 887 cases of dengue in the urban area of the city of Juazeiro, being the central districts of the city that presented the greatest focus of the disease, followed by the districts João XXIII and João Paulo II. On the other hand, the districts Dom José Rodrigues and Alto da aliança presented the lowest rates. It was verified the effectiveness of the use of the Kernel estimator, since it was possible to identify the neighborhoods most affected by the disease in the time series studied, as well as to elucidate the data in the cartographic environment of the areas that presented the highest rates of dengue incidence.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o vetor mais comum é o Aedes (Stegomya) Aegypti (LINNAEUS, 1762), seguido do Aedes (Stegomya) Albopictus (Skuse, 1894), sendo este historicamente caracterizado por epidemias nas Américas e prevalente na Ásia (BRASIL, 2002). Conforme Silva (2008), o principal aspecto ao surgimento da dengue é a expansão inadequada da malha urbana, promovendo áreas cujo saneamento e demais serviços básicos são precários. Ademais, nestas áreas, encontram-se também terrenos com acúmulo inadequado de resíduos sólidos, servindo de lócus de proliferação do vetor da doença (SILVA, 2008). Quanto aos aspectos ecológicos e naturais, ressalta-se que os países tropicais estão mais vulneráveis por apresentarem clima quente e úmido, ou seja, altos índices de precipitação pluviométrica e temperaturas médias elevadas. Essa característica somada ao grande número de locais suscetíveis à proliferação do vetor urbano resulta no maior número de notificações da dengue (BRAGA, 2007; SILVA, 2008; LEFÈVRE et al., 2004).

As maiores epidemias recentes de dengue na Bahia ocorreram em 2009, com 123.637 casos notificados, e 2013, quando houve 83.453 notificações. Analisando o município de Juazeiro, o mesmo apresentou uma queda significativa nos casos de dengue no ano mesmo ano (2009) comparado ao ano anterior. Em 2008 em estudo realizado por Carvalho (2011), foi realizada a inserção de insetos machos Aedes Aegypti estéreis nas áreas de maior incidência no município de Juazeiro-BA o que resultou somado a outros fatores, na redução significativa dos casos de dengue na área.

De acordo com Donalísio e Glasser (2002) é de fundamental importância a realização periódica de atividades de vigilância entomológica, para o dimensionamento do impacto das medidas de controle, e orientar ajustes nas ações prescritas pelos programas de controle de vetores e epidemias. Os autores ainda apontam que algumas questões básicas não são respondidas pelos programas de controle de vetores, como por exemplo: "que áreas ou bairros da cidade possuem maiores níveis de infestação?". Neste sentido, o estudo da distribuição espaço-temporal da ocorrência da dengue pode produzir um diagnóstico para acompanhar a infestação das diversas áreas de um município, indicando a presença do vetor e orientando ações de eliminação direcionadas. As técnicas de análise de dados espaciais visam identificar esses padrões de distribuição segundo alguma dependência espacial. Uma das ferramentas que têm sido comumente utilizada para realizar este tipo de análise é a densidade de Kernel, que permite estimar a quantidade de eventos por unidade de área, em cada célula de uma grade regular que recobre a região estudada. Esta técnica não paramétrica, além de estimar a intensidade da ocorrência de casos em toda a superfície analisada, permite filtrar a variabilidade de um conjunto de dados, ao mesmo tempo que retém suas principais características locais. Embora seja um método de análise exploratória de interpretação subjetiva, possibilita fácil e rápida visualização de localidades expostas a diferentes graus de risco, sem serem afetadas pelas divisões político-administrativas existentes. Dentro dessa perspectiva, o uso de técnicas de análise espacial pode se tornar instrumento importante no planejamento de ações voltadas à redução de densidade do vetor Aedes aegypti em determinada área.

Diante do exposto, esta pesquisa se justifica na importância da dengue como uma das principais ameaças a saúde da população, visto que ainda não há controle efetivo desta no município de Juazeiro, foco deste estudo. Percebe-se também que a produção científica em torno desta temática no respectivo recorte espacial é escassa, demonstrando a necessidade do trabalho em torno desta problemática, a fim de se conhecer as áreas com maior incidência da doença e contribuir para a tomada de decisão na elaboração de alternativas eficazes de controle epidemiológico. Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar a incidência e distribuição espaço-temporal dos casos identificados de dengue na área urbana do município de Juazeiro da Bahia no período de 2008 a 2010 através da utilização do estimador de densidade de Kernel.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

A situação epidemiológica da dengue no Brasil, conforme Teixeira (2002, p.1), mostra que desde a década de 1980, a doença vem causando perplexidade com relação às políticas públicas endereçadas ao controle do principal vetor transmissor da doença, uma vez que até o ano de 2008 mais de 70% dos municípios brasileiros registraram a presença do principal vetor de transmissão da dengue. Outro fator de relevância diz respeito ao padrão apresentado de hiperendemicidade deste agravo, registrado em grandes e pequenos centros urbanos, que aliado à dispersão do vetor, predomina no Brasil a circulação de três (DEN-1, 2 e 3) dos quatro sorotipos da dengue, proporcionando desta forma, a ocorrência de epidemias com elevada expressividade no território nacional (BARRETO & TEIXEIRA, 2008, p. 1; MENDONÇA et al., 2009, p. 258). Conforme Braga (2007), no Brasil, a dengue apresenta um padrão sazonal, com maior aparecimento de casos nos primeiros cinco meses do ano, período mais quente e úmido, típico dos climas tropicais.

No estado da Bahia, os primeiros casos de dengue foram detectados em 1994 em municípios próximos a Itagimirim (MELO, et al., 2010). Neste mesmo estudo realizado por Melo et al. (2010), no qual o autor buscou revelar o padrão espacial e a difusão da dengue em todo o estado da Bahia (entre 1994 e 2000), os resultados mostraram ocorrência de notificações em todas as mesorregiões do estado, e os principais municípios que apresentaram maiores números de notificações e as maiores taxas de incidência da doença foram aqueles situados próximos ao litoral, os mais urbanizados (como Salvador), aqueles situados próximos da BR-101, com elevadas taxas de densidade populacional e outros.

As técnicas de análise de dados espaciais visam identificar esses padrões de distribuição segundo alguma dependência espacial. Uma das ferramentas que têm sido comumente utilizada para realizar este tipo de análise é o estimador de densidade por Kernel, ou KDE (PARZEN, 1962), que permite estimar a quantidade de eventos por unidade de área, em cada célula de uma grade regular que recobre a região estudada. O mesmo é obtido através da superposição de funções de kernel, como descrito na Equação 1, centralizadas em cada um dos elementos xi(i = 1 : : :N) do conjunto de amostras. Assim, a estimativa de densidade ^ f(xt) no ponto xt depende apenas da relação espacial entre xt e os elementos da amostra xi(i = 1 : : :N), quantificada pela métrica embutida na função de kernel. Trata-se de uma técnica não paramétrica, que além de estimar a intensidade da ocorrência de casos em toda a superfície analisada, permite filtrar a variabilidade de um conjunto de dados, ao mesmo tempo que retém suas principais características locais.

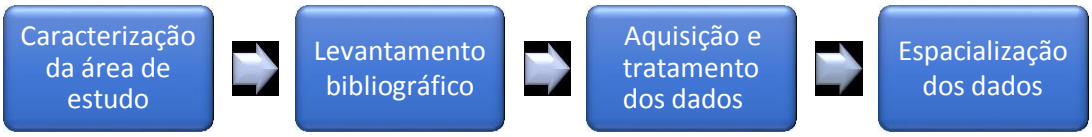
$$\lambda(s) = \sum n\ 1\ k\ (s - si)\ \tau\ 2\ i=1\ \tau \quad (1)$$

Sendo: λ (s) – estimador de intensidade; k – função Kernel de ponderação; t – largura de banda; s – centro da área a ser estimada; si – local do ponto; n – número total de pontos (eventos).

Desta forma, este estudo buscou analisar a dinâmica espaço-temporal da dengue no município de Juazeiro - Bahia no período de 2008 a 2010, tendo em vista que os casos de dengue no município representam significativa importância epidemiológica em escala estadual, sobretudo pelas condições favoráveis de desenvolvimento do vetor, dos quais destacam-se os de ordem ambiental, socioeconômica e de infraestrutura.

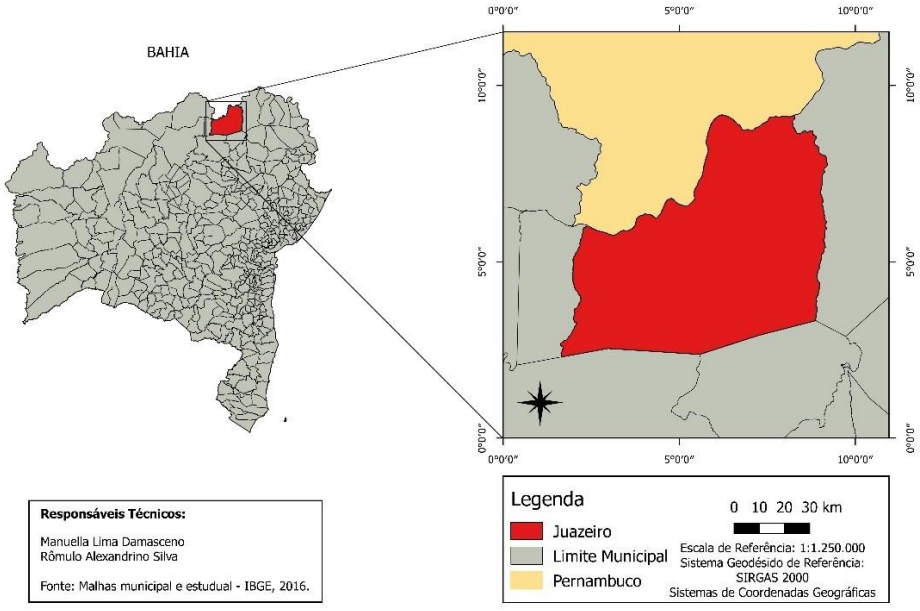
O trabalho trata-se de um estudo epidemiológico descritivo, e para atender aos objetivos principais e secundários propostos, a metodologia desenvolvida está subdivida em quatro vertentes representadas na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma representativo de organização e execução deste trabalho.



A primeira vertente refere-se à caracterização da área de estudo. O município de Juazeiro (Figura 01), foco deste estudo, localiza-se no Norte do Estado da Bahia entre as coordenadas 9° 26' 18" Sul, 40° 30' 19" Oeste. O município está incluído no domínio climático tropical semiárido, compõe o bioma caatinga (BRASIL, 2010) e é caracterizado como um importante polo agrícola, onde são cultivadas frutíferas por meio da irrigação, cujas águas são captadas do rio São Francisco e afluentes. Sua população para a época de estudo era de aproximadamente 197.965 habitantes, o que proporcionava uma densidade demográfica de 30,45 hab/ km². Atualmente é de aproximadamente 221.771 habitantes, sendo que cerca de 81% da sua população encontra-se na área urbana do município e em conjunto com Petrolina – Pernambuco, forma o maior aglomerado urbano do Semiárido brasileiro. De acordo com o IBGE (2017) o município apresenta um Índice de Desenvolvimento Urbano de 0,667.

Figura 2 - Mapa de localização do município de Juazeiro-BA.



A segunda vertente do procedimento metodológico contempla a fase de pesquisa bibliográfica, onde foi realizado um levantamento em diferentes artigos, dissertações, teses, livros e portais que tratassem das temáticas de saúde pública, saúde coletiva, geografia da saúde e, sobretudo, da dengue e a sua incidência em áreas urbanas, além da caracterização da área de estudo. Após o levantamento, os materiais foram estudados e trabalhados para a construção de um referencial teórico apurado que sustentasse a pesquisa.

A terceira vertente refere-se à aquisição e tratamento dos dados. Os dados trabalhados neste artigo foram

fornecidos pela Secretaria de Saúde de Juazeiro. Para análise dos dados foram inseridos todos os casos de dengue registrados no perímetro urbano da cidade de Juazeiro-BA, no período de 2008 a 2010, totalizando 4271, compreendendo todas as regiões, faixas etárias e sexo. As notificações de casos da doença foram georreferenciados utilizando o software GoogleEarth seguindo os endereços apresentados nos prontuários dos pacientes e que fosse possível a sua localização por latitude -longitude, destes, 3121 casos obtiveram êxito em seu georreferenciamento.

A quarta e última vertente refere-se à espacialização dos dados. Para buscar identificar o padrão espacial da dengue em Juazeiro, o procedimento realizado correspondeu à soma do total de casos notificados no município entre 2009 e 2010, e ao cálculo da média da incidência de dengue na série temporal estudada. Outro procedimento realizado para auxiliar a compreensão do problema em estudo, foi a coleta de dados por mês das notificações em cada ano, estes obtidos na Secretaria de Saúde de Juazeiro, os quais serviram para identificar a variação semestral de notificações apresentada em cada ano, bem como revelar a sazonalidade desta enfermidade no município. Cabe ressaltar que os dados de dengue colhidos para o município de Juazeiro – Bahia não foram organizados de acordo com a classificação clínica manifestada pela doença. As notificações usadas nesta pesquisa foram utilizadas sem distinção, ou seja, com a soma total de casos registrados (seja clássico, com complicações, hemorrágico ou síndrome do choque de dengue) para determinado ano.

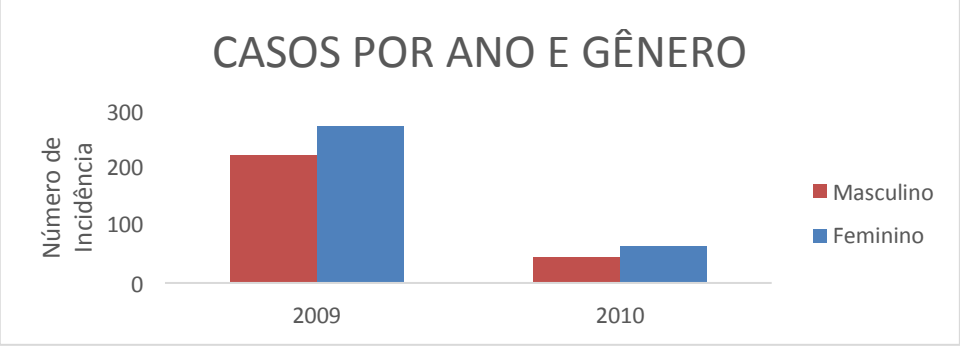
No tratamento dos dados e análise estatística foram utilizados os softwares Excel – onde foi realizado o cálculo da taxa de incidência por município e R-statistics versão 2.12.1, complementando-o com a ferramenta Gdal. Para a análise dos dados utilizou-se o estimador de densidade de Kernel no software Qgis versão 2.10, sendo utilizada neste estudo a função gaussiana com um raio de vizinhança variando entre 1 e 1,5 km. Na determinação do estimador foi considerado um erro de 5% para perda de informação da residência do paciente, tendo em vista a ausência de informações nas unidades de saúde e insuficiência de dados para realizar sua geolocalização. Após a aquisição dos dados, os mesmos foram separados por ano e plotados sobre a área, gerando por fim, um mapa temático para cada ano em estudo com respectivos cálculos. Assim, foi possível identificar o padrão espaço-temporal apresentado pela dengue no período de 2009 a 2010 na área estudada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 03, 04 e 05demonstram a taxa de incidência dos casos de dengue notificados no município de Juazeiro, e número de casos separados por gênero e semestre, respectivamente, para o intervalo de tempo estudado.

Figura 3 – Taxa de incidência (%) de casos de dengue em Juazeiro-BA, entre 2009 a 2010.

Figura 4 - Número de casos de dengue em Juazeiro-BA, separados por gênero, entre 2009 a 2010.



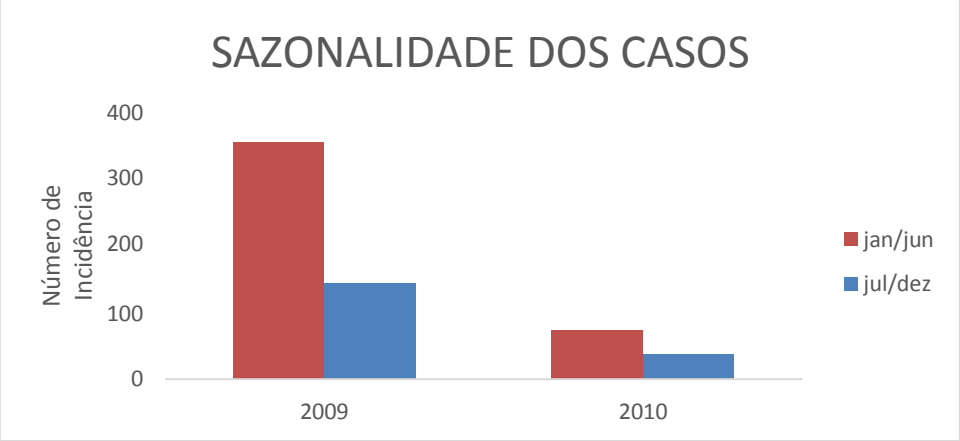
Na Figura 04, que demonstra o número de casos separados por gênero, observa-se um maior quantitativo de casos em mulheres, sendo em 2009 223 para o sexo masculino e 272 feminino e em 2010 foram 45 para o sexo masculino e 64 para o feminino. Em trabalho similar, Defavari (2016) encontrou resultados semelhantes. Para a incidência de casos ser maior no sexo feminino, sugere-se as seguintes interpretações: mulheres geralmente são mais prudentes na busca e contato

com o sistema de saúde em relação aos homens e além disso, por se tratar de uma área interiorana, predominam mulheres que dedicam boa parte do seu tempo cuidando da casa, dos filhos e consequentemente possuem mais tempo e disponibilidade para se dirigir ao sistema de saúde.

Habitualmente em estudos que buscam compreender a dinâmica temporal e espacial da dengue é comum apontar a sazonalidade do surto, cuja maior incidência está presente no verão, em regiões de terra baixa e centros mais populosos (Donalísio, 1999). Dessa forma, observando a sazonalidade da doença a partir do número de casos (Figura 5), foi identificado que nos meses de janeiro a junho em todos os anos analisados, são os meses que possuem o maior número de casos.

Pode-se atribuir a esse comportamento a elevação da temperatura no primeiro semestre, correspondente ao verão, época de maior proliferação de insetos por conferir ao ambiente condições favoráveis a isso; Façanha (2010) encontrou resultados parecidos para as épocas coincidentes com este trabalho. O período chuvoso do Submédio Vale do São Francisco consiste nos meses de novembro a abril (APAC, 2017), elevando a umidade da região, o que também favorece o desenvolvimento e proliferação de insetos, incluindo o Aedes Aegypti. Além disso, Teixeira et al. (1999, p. 21, 22) também ponderam que a explicação para esta sazonalidade em refere-se ao aumento da densidade populacional do principal vetor da dengue (*Aedes aegypti*) em virtude do aumento da temperatura e umidade registrado em várias regiões do país nas semanas precedentes aos picos epidêmicos registrados.

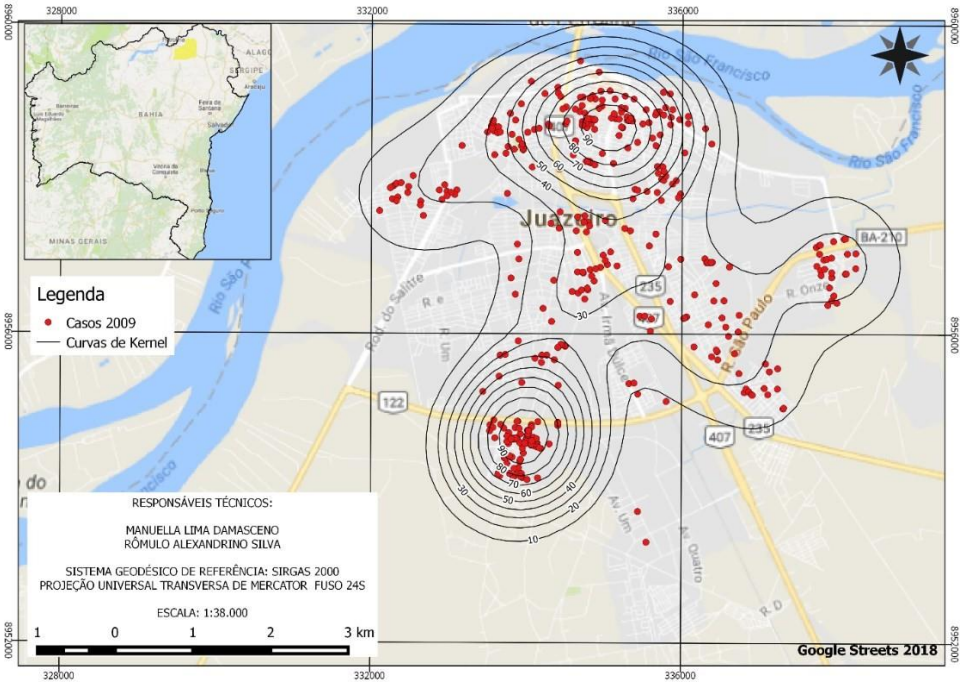
Figura 5 - Casos de dengue em Juazeiro-BA por semestre, entre 2009 a 2010.



Configurando-se numa epidemia, no ano de 2009, apenas 23 municípios da Bahia não registraram casos de dengue, este total compreendeu o percentual de 5,52% dos 417 municípios. Ao comparar o percentual de aumento entre as epidemias de 2008 e 2009, verifica-se que a proporção de aumento chegou a 196,58% de novos registros. A maior proporção de casos ocorreu entre os meses de janeiro e junho, que somados, chegaram a um total de 93.598 casos, ou 94,02% das notificações deste ano, conforme constatado por Mendes et al (2017). Os meses com maior número de casos foram o mês de abril (34.917 casos) e maio (51.119 casos) que juntos, alcançaram o percentual de 86,42% dos registros. Conforme o boletim epidemiológico da Secretaria de Saúde da Bahia (BAHIA, 2009), no ano de 2009 foram identificados três (DEN-1, DEN-2 e DEN-3) dos quatros sorotipos da dengue em municípios baianos, com predominância do tipo DEN-2 na maioria dos municípios, de acordo com amostras enviadas para análise.

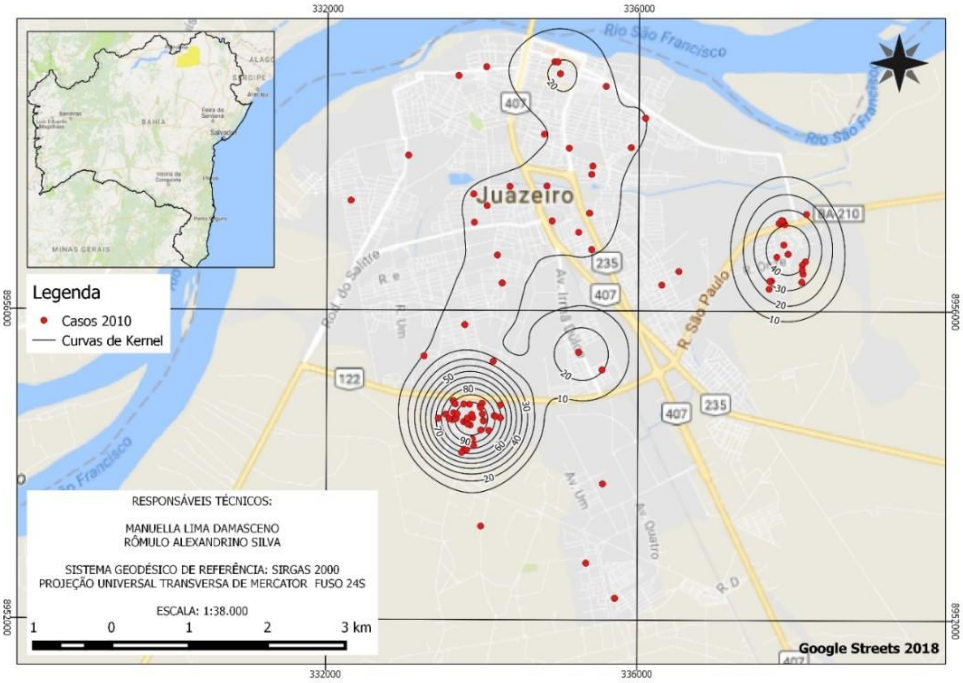
No que confere ao município de Juazeiro, na Figura 6 podem ser identificadas 4 regiões diferentes dentro do perímetro urbano de Juazeiro-BA com foco da doença, sendo o maior índice probabilístico em torno de 90% com 218 e 140 casos, corresponde as regiões do Centro e do bairro Dom José Rodrigues respectivamente; seguido pelo bairro João XXIII, em torno de 30% com 79 casos e do bairro do Tabuleiro com 20%, 29 casos

Figura 6 - Dispersão dos casos de dengue e curvas de densidade probabilísticas de kernel, em Juazeiro – BA em 2009.



Na Figura 7 são identificadas 3 regiões que permanecem com focos da doença, no entanto, é nítida a redução no número de casos da doença. O maior índice probabilístico, 90% com 40 casos, correspondeu a região do bairro Dom José Rodrigues; seguida pelas regiões do bairro Tabuleiro, em torno de 40% com 19 casos e das regiões Centro e bairro Alto da Aliança com 20% sendo 9 casos.

Figura 7 - Dispersão dos casos de dengue e curvas de densidade probabilísticas de kernel, em Juazeiro – BA em 2010.



As taxas de incidência da doença nos anos de 2009 e 2010 (Figuras 6 e 7) demonstram uma redução sequencial. Pode-se atribuir este comportamento ao trabalho realizado por Carvalho (2011) em 2008, com a inserção de insetos híbridos machos Aedes Aegypti estéreis nas áreas de maior incidência da doença no município de Juazeiro-BA. Baseada na tecnologia RIDL que compreende a criação em massa e liberação de mosquitos machos que carregam gene letal para

a sua prole, a inserção de insetos híbridos garante que o cruzamento não promova a produção de novos indivíduos, constatando-se assim a eficácia desse método de controle da doença.

Vale ressaltar que embora tenha havido uma redução progressiva no número de casos da doença para o intervalo de tempo analisado, é notório que há uma padronização nos focos da doença para os bairros de Tabuleiro, Dom José Rodrigues e Centro. No que se refere à aplicação da técnica de georreferenciamento e análise estatística, estas mostram-se eficientes na avaliação da distribuição espacial da dengue e no entendimento dos fatores que podem estar relacionados à ocorrência dos casos. Essa técnica permiti o mapeamento da doença e contribui na estruturação e análise de riscos socioambientais, todavia é preciso que os dados armazenados nos sistemas de informação estejam completos. Dentro desse contexto, pode-se destacar como limitação do estudo as perdas registradas no processo de georreferenciamento realizado, evidenciando fragilidade nas ações da vigilância epidemiológica do município, uma vez que compromete a leitura da realidade local e dificulta a tomada de decisão.

5 CONCLUSÕES

A inserção de mosquitos híbridos se configurou como o fator de maior relevância para o controle da doença na área estudada, apresentando significativa redução nos anos de 2009 e 2010. A sazonalidade e os padrões nos focos da doença para as regiões dos bairros Tabuleiro, Dom José Rodrigues e Centro, são fatores de importância para o planejamento e execução de ações de combate à dengue para área urbana do município de Juazeiro-BA.

Ao considerar o procedimento metodológico empregado nesta pesquisa, cabe destacar a contribuição que este estudo apresentou sobre a compreensão da difusão espacial e da dinâmica das notificações de dengue por bairro no município de Juazeiro – Bahia no período analisado. Com esta abordagem, foi possível identificar os principais bairros afetados por esta enfermidade ao logo do tempo, bem como elucidar as regiões que apresentaram às maiores taxas e a maior incidência da dengue. Além disso foi possível identificar o padrão espacial apresentado por esta enfermidade no município de Juazeiro, o qual manteve sua expressividade em termos de notificações os bairros com elevada taxa de urbanização, e que apresentam problemas de infraestrutura urbana, localizados próximo ao centro.

Dessa forma, ao verificar a abordagem empregada para compreender a difusão e a dinâmica espacial da dengue em Juazeiro da Bahia, buscamos considerar os subsídios da cartografia temática na elucidação da distribuição geográfica dos casos notificados de dengue, bem como sua difusão espacial no município, afim de destacar com maior facilidade e rapidez a identificação das áreas onde a dengue se manteve com maior expressividade, tanto no número de casos como na taxa de incidência. A importância das técnicas aplicadas para a compreensão da difusão espacial da dengue na área estudada está aliada, sobretudo, à função objetiva do mapa temático na transposição das informações, que conforme Archela e Théry (2008), deve dizer o quê, onde e como ocorre determinado fenômeno geográfico, visando facilitar a comunicação e transmissão do conhecimento.

O combate à dengue não se configura uma tarefa simples, uma vez que sua ocorrência, seja na forma clássica ou grave, envolve fatores sociais e oferta de serviços de saúde. A análise da distribuição espacial utilizando o estimador de densidade de Kernel demonstrou ser um importante instrumento para o planejamento de ações, uma vez que permitiu a identificação dos padrões nos focos da doença na área estuda, podendo ser empregada para melhor entendimento dos fatores que contribuem para a ocorrência de dengue e de outras doenças de caráter epidemiológico.

Além disso, a observação das desigualdades sociais para o entendimento da ocorrência de casos da doença, expõem a importância do espaço geográfico e da dinâmica social na definição de lugares com capacidade de manutenção da mesma. Essa observação deve ser levada em consideração na organização de ações estratégicas de combate ao vetor e no planejamento da oferta assistencial em áreas de maior vulnerabilidade, gerando impacto positivo no controle do agravo e na diminuição da severidade da doença.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Secretaria Municipal de Saúde no município de Juazeiro/Bahia, pela disponibilização dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Meteorologia, Monitoramento da seca, Boletins Climáticos.** Disponível em: < http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/boletins_climaticos_old.php>. Acesso em: 03 jul 2018.

ARCHELA**,** R. S.; THÉRY, H. Orientação metodológica para construção e leitura de mapas temáticos**. Confins Revues**, nº 3, 2008.

BARRETO, M. L.; TEIXEIRA, M. G. L. C. Dengue no Brasil: situação epidemiológica e contribuições para uma agenda de pesquisa. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 64, p.53-72, 2008.

Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Dengue: aspectos epidemiológicos, diagnóstico e tratamento** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2002. 20p.

CARVALHO, D. O. **Estudo de dispersão de machos da linhagem transgênica OX513A de Aedes aegypti**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Instituto de Ciências Biomédicas. São Paulo, São Paulo, 2011.

DEFAVARI, E. R. **Distribuição Espacial da Dengue em um Município de Médio Porte do Estado de São Paulo nos Anos de 2008 a 2015**. Dissertação Mestrado Profissional. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba. Piracicaba, São Paulo. 2016.

FAÇANHA, G. P. **Ocorrência do Vírus Dengue em Crianças de 0 a 10 Anos no Município de Manaus, Amazonas, 2008**. Dissertação Mestrado em Ciências da Saúde. Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Ciências da Saúde. Manaus, Amazonas, 2010.

DONALÍSIO, M. R.; GLASSER, C. M. Entomological Surveillance and Control of Dengue Fever Vectors. **Rev. Bras. Epidemiol**. Vol. 5, Nº 3, 2002.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama 2017, v4.3.8.14**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/juazeiro/panorama>. Acesso em: 03 jul 2018.

MELO, M. S. S. et al. Progressão da circulação do vírus do dengue no Estado da Bahia, 1994-2000. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 2, p.139-144, mar-abr, 2010.

MENDONÇA, F. A., A. F. SOUZA, D. A. DUTRA. Saúde Pública, Urbanização E Dengue No Brasil. **Revista Sociedade & Natureza,** Uberlândia, **21** (3): 257-269, dez. 2009.

SILVA, J. S. A dengue no Brasil e as políticas de combate ao Aedes aegypti: da tentativa de erradicação ás políticas de controle. **Revista Hygeia.** Uberlândia, v. 3, n. 6, jun. 2008

Teixeira, M.G., Costa, M.C.N., Guerra, Z., Barreto, M.L. **Dengue in Brazil: current situation and trends**. Dengue Bull 2002; 26: 70-76.

APLICAÇÃO DA ETAPA DE CONCEPÇÃO DA ANÁLISE ORIENTADA A OBJETOS AO TRANSPORTE PÚBLICO NA CIDADE DO RECIFE - PERNAMBUCO

THALLES RAMON PINHEIRO DE SOUSA
LUCILENE ANTUNES CORREIA MARQUES DE SÁ

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
thalles.ramon@ufpe.br, lacms@ufpe.br

RESUMO - Este artigo apresenta a aplicação das etapas preliminares de metodologias de Análise Orientada a Objetos – AOO para o desenvolvimento do MobiRecife - Sistema de Transportes Públicos de Passageiros com perspectiva espacial, para a cidade do Recife – Pernambuco - e descreve, com ênfase na análise e projeto de sistemas, o desenvolvimento dos artefatos a partir da definição das metodologias de Larman e Yourdon-Coad. O objetivo principal desta pesquisa é propor modelos conceituais em UML (*Unified Modelling Language*) e caracterização dos equipamentos de transportes aplicando técnicas de AOO utilizando como base de dados as informações Transporte Municipal de Passageiros do Recife. Para tal, o fluxo de atividades consiste em caracterizar os dados e definir os artefatos utilizados na etapa de planejamento e elaboração, tais como o Domínio da Aplicação, definição dos Casos de Uso e construção dos respectivos diagramas, desenvolvimento dos Diagramas de Sequência, Fluxo de Dados e Contexto, Dicionário de Dados das principais entidades e por fim, a definição do Modelo Conceitual inicial. A partir dos resultados, é possível destacar o enriquecimento semântico da aplicação e importância da AOO no desenvolvimento de quaisquer aplicações com perspectiva espacial.

ABSTRACT - This paper presents the application of the preliminary steps of Object Oriented Analysis methodologies for Public Transport Systems with a spatial perspective and describes, with emphasis in the analysis and design of systems, the development of the artifacts from the definition of Larman methodologies and Yourdon-Coad. The main objective of this research is to propose conceptual models in UML (Unified Modeling Language) and characterization of the transport equipments applying AOO techniques using as information data the Municipal Transportation of Passengers of Recife. To do this, the activity flow consists of characterizing the data and defining the artifacts used in the planning and elaboration stage, such as the Application Domain, the definition of the Use Cases and the construction of the respective diagrams, development of the Sequence Diagrams, Flow of Data and Context, Data Dictionary of the main entities and, finally, the definition of the initial Conceptual Model. From the results, it is possible to highlight the semantic enrichment of the application and importance of AOO in the development of any applications with spatial perspective.

1 INTRODUÇÃO

A gestão e otimização da mobilidade urbana é um dos principais desafios que qualquer administração municipal enfrenta. Inclui todas as atividades relacionadas à gestão do tráfego de veículos dentro dos limites urbanos, com o objetivo final de permitir uma fácil mobilidade para qualquer pessoa, em qualquer lugar e a qualquer momento (CESANA; REDONDI, 2017).

Este cenário exige que as cidades procurem soluções para as suas necessidades que possibilitem o melhor gerenciamento dos seus serviços urbanos, desde as interconexões de redes (transportes, energia, saúde, educação, entre outros) até as necessidades econômicas e sociais da população, auxiliando no crescimento e desenvolvimento da cidade.

A Análise Orientada a Objetos - AOO é um método de análise que examina os requisitos a partir da perspectiva das classes e objetos encontrados no vocabulário do domínio do problema (BOOCH, 1994). É um processo técnico

globalmente aceito para manipular uma aplicação específica, negócio ou modelo de sistema e diagrama gráfico simples para análise e melhoria da qualidade do produto, aplicando o método de protótipo orientado a objeto (CASTANA, 2012).

Larman (2007) defende que em AOO deve-se utilizar técnicas de Desenvolvimento Iterativo e Evolutivo, que envolve o desenvolvimento da aplicação concomitante ao processo de modelagem e definição de requisitos, processo esse que auxilia na descoberta de falhas e correção em tempo hábil, evitando retrabalho e custos mais altos.

Neste sentido, surge a necessidade de aplicar de forma rápida e concisa às etapas de modelagem. A Modelagem Ágil (MA) é uma metodologia baseada em práticas para uma modelagem e documentação eficazes de sistemas baseados em software. Esta metodologia não define um guia de procedimentos, em vez disso, fornece conselhos sobre como ser eficaz como modelador. (AMBLER, 2002).

"O Processo Unificado surgiu como um processo iterativo popular para o desenvolvimento de softwares visando à construção de sistemas orientados a objetos" (LARMAN, 2007). O ciclo de vida de sistemas utilizando métodos de desenvolvimento iterativo, o desenvolvimento é organizado em miniprojetos curtos e com duração fixa denominadas iterações. Este método é baseado em refinamentos e incrementos sucessivos para convergir em um sistema adequado (LARMAN, 2007).

As fases de trabalho e iterações do PU são definidas por Larman (2007), como: (1) Concepção – visão aproximada, casos de negócio, escopo e estimativas vagas; (2) Elaboração – visão refinada, implementação iterativa da arquitetura central, resolução dos altos riscos, identificação da maioria dos requisitos e do escopo e estimativas mais realistas; (3) Construção – implementação iterativa dos elementos restantes de menor risco e mais fáceis e preparação para a implantação; (4) Transição – testes beta e implantação.

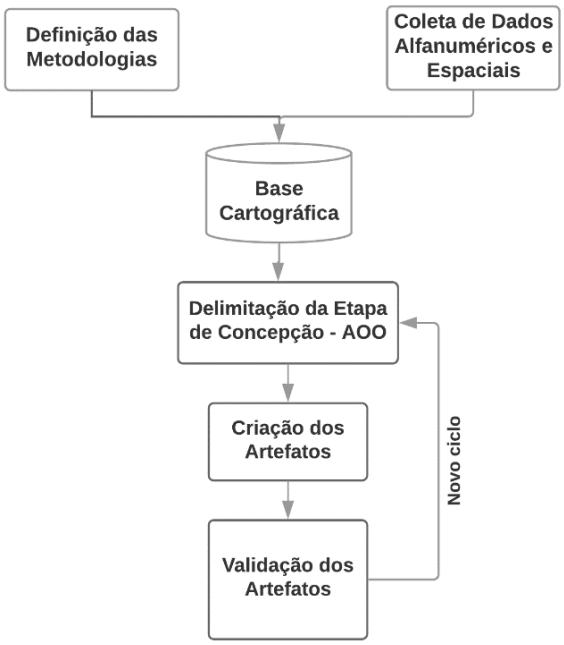
A finalidade desta pesquisa é propor modelos conceituais em UML (*Unified Modelling Language*) e caracterização dos equipamentos de transportes aplicando técnicas de AOO para Sistemas de Transportes Públicos Urbanos com perspectiva espacial utilizando como base de dados as informações Transporte Municipal de Passageiros do Recife.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

Para a análise das informações de transportes públicos, na cidade do Recife, foram utilizadas a base cartográfica obtidas através do Open Street Maps, aplicativo VGI (*Volunteered Geographic Information*) de mapeamento e distribuição de informações geográficas, como também informações alfanuméricas e estatísticas cedidas pelo Consórcio Grande Recife de Transporte, responsável pelo gerenciamento e manutenibilidade dos Sistemas de Transportes Públicos de Passageiros.

O fluxo desta pesquisa foi definida com base na metodologia de Processo Unificado (LARMAN, 2007) agregando outros modelos e técnicas de abstração e modelagem de dados, como o de Yourdon-Coad (1997). A Figura 1 apresenta o fluxograma com as etapas desenvolvidas nesta pesquisa.

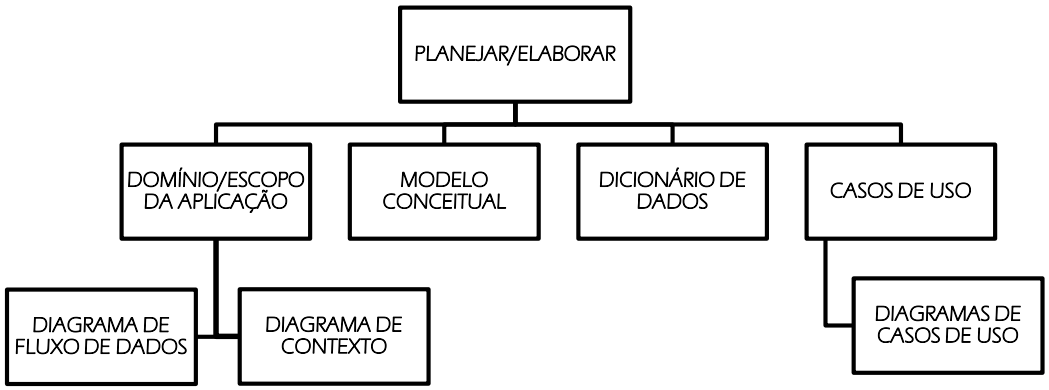
Figura 1 - Fluxograma da metodologia adotada na pesquisa.



Fonte: Elaboração do autor.

As etapas preliminares tratam-se da definição das metodologias utilizadas e quais os principais artefatos seriam construídos, além de coletar os dados necessários parar a construção da Base Cartográfica de apoio. Este artigo irá discutir os artefatos desenvolvidos - descritos na Figura 2 - para as duas fases iniciais da metodologia de Larman (2007), denominada 'Planejar e Elaborar' e destacará exemplos de cada etapa da AOO. Contudo, idealizando um ganho semântico das análises preliminares, foi incorporado os Diagramas de Fluxo de Dados e de Contexto, definidos por Yourdon-Coad (1997), desenvolvidos após a definição do Domínio da aplicação.

Figura 2. Artefatos das fases Planejar e Elaborar.



Fonte: Elaboração do autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Domínio da pesquisa

A definição do domínio do sistema visa diminuir a complexidade e facilitar o entendimento da abordagem e técnicas utilizadas nos diferentes níveis de abstração do processo de desenvolvimento. A Tabela 1 exibe a descrição do domínio da pesquisa, elencando as principais funcionalidades e requisitos necessários ao desenvolvimento.

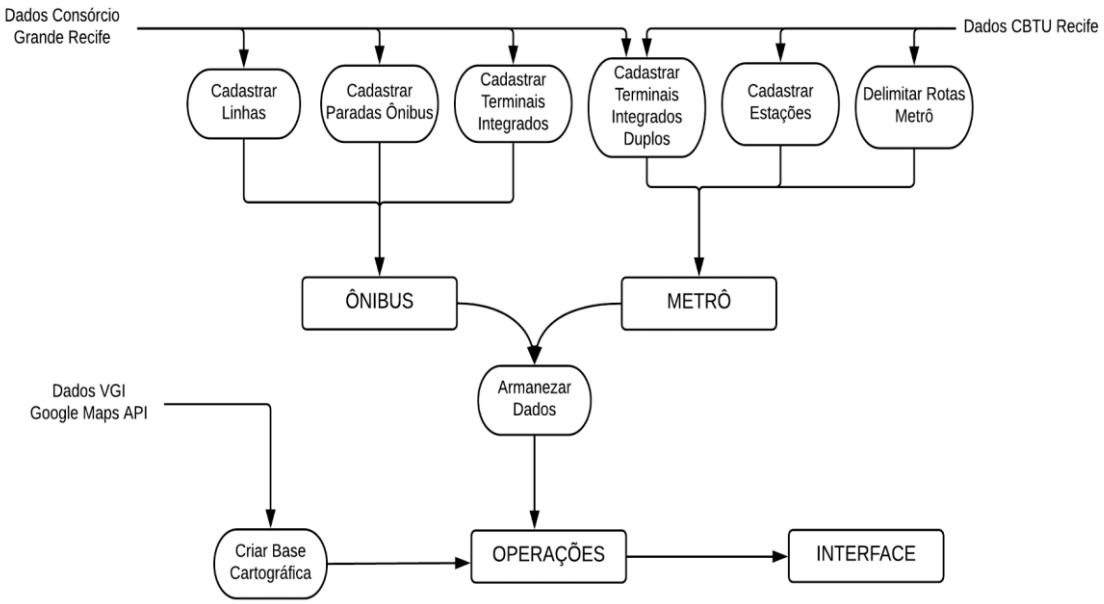
Tabela 1 - Domínio da Pesquisa: Sistema MobiRecife

Título:	Sistema MobiRecife – Transportes Públicos Urbanos
Descrição:	Os dados referentes ao Sistema Municipal de Transportes Públicos da cidade do Recife encontram-se divididos entre as empresas mantenedoras - Consórcio Recife de Transportes (Ônibus tradicionais e Linhas de BRT) e CBTU (Trens de superfície e Metrô). Para acesso as informações espaciais georreferenciadas, os usuários necessitam solicitar via ofício os dados nas empresas. O sistema trabalhará disponibilizando informações acerca dos sistemas de transporte público, tais como: • Paradas de ônibus e estações; • Roteirização das linhas de ônibus e metrô; • Informações alfanuméricas, entre outros.

4.2 Diagrama de Fluxo de Dados e Contexto

O Diagrama de fluxo de dados (DFD), disposto na Figura 3, foi criado a partir do metodologia de Yourdon-Coad (1997) que especifica o mapeamento do fluxo de informações para processos ou sistemas, utilizando símbolos definidos, como retângulos, círculos e flechas, além de rótulos de textos breves, para mostrar entradas e saídas de dados, pontos de armazenamento e as rotas entre cada destino

Figura 3 - Diagrama de Fluxo de Dados desenvolvido para o Sistema MobiRecife.



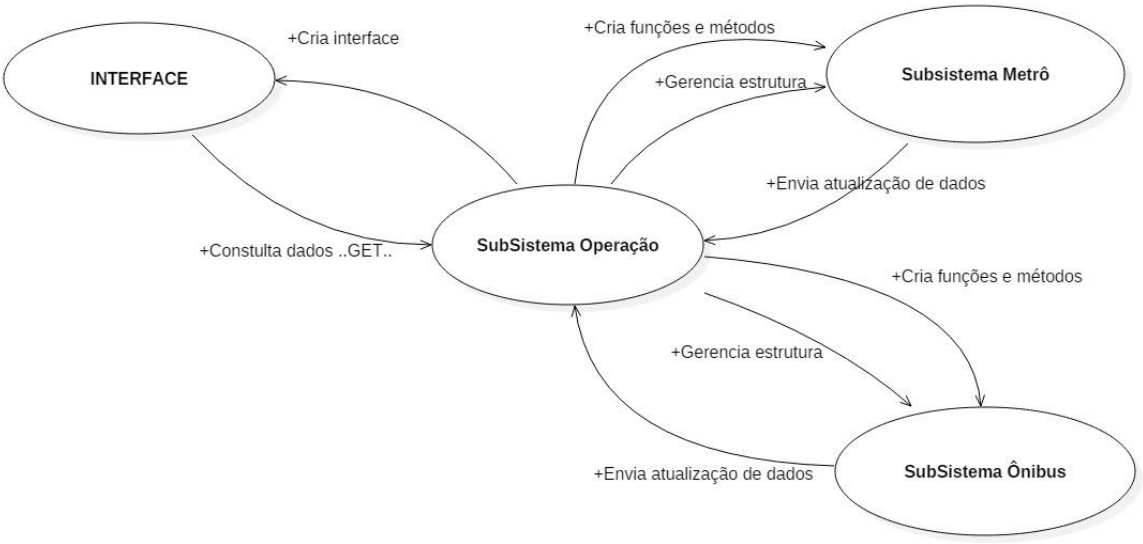
Fonte: Elaboração do autor.

Este diagrama exibe visualmente a dinâmica de obtenção de utilização dos diversos dados espaciais utilizados no sistema. Pode-se identificar três principais bases de dados, as quais disponibilizam informações especializadas. A partir do fluxo Consórcio Grande Recife de Transportes, obtém-se as informações acerca das linhas, paradas de ônibus e terminais de integração multimodais utilizados no município e Região Metropolitana do Recife (RMR).

A base de dados da CBTU disponibiliza informações das Estações ferroviárias/metrô existentes, rotas e direções das linhas de Metrô urbano. A partir das duas informações, pode-se classificar os Terminais de Integração quanto aos seus modais disponíveis e caracterizá-los como duplos ou multimodais, interligando os diferentes tipos de transporte público existentes na cidade.

O Diagrama de Contexto apresentado na Figura 4 representa o sistema como um único processo, composto por fluxos de dados que mostram as interfaces entre o sistema e as entidades externas. O diagrama é uma forma de representar o objeto do estudo, o projeto, e sua relação ao ambiente.

Figura 4 - Diagrama de Contexto do Subsistema Operações e interações.



Fonte: Elaboração do autor.

Posterior a classificação e diagramação das entidades de entrada, classifica-se então, as duas principais entidades (Ônibus e Metrô) do sistema, as quais irão interagir, através de subsistemas, com o subsistema de Operações/Controle. Este subsistema será responsável pelo gerenciamento das informações, coleta da base cartográfica nos principais repositórios VGI (Google Maps API e Open Street Maps) e controlará a disponibilização e interação através da interface.

4.2 Casos de uso

A partir do entendimento do domínio do sistema, foram especificados os componentes com base nos requisitos identificados. Os modelos inicialmente especificados servem para representar uma versão inicial, a qual será refinada até obter uma versão final. Na análise do domínio do Sistema de Transportes, pode-se destacar os seguintes atores identificados:

- Usuário – Ator final do sistema, com privilégios normais, que solicita informações e pode sugerir mudanças e melhorias;
- Administrador – Ator para o qual os relatórios e consultas são enviados. Determina também o cadastro das novas roteirizações e administra do banco de dados da aplicação;
- Empresas de transportes: Sistemas externos pertencentes às empresas mantenedoras que poderão solicitar e enviar informações; e
- Gestores municipais: Usuários previamente cadastrados no sistema que poderão solicitar diversas informações acerca dos sistemas de transporte municipal de passageiros e sugerir mudanças e melhorias.

Para cada caso de uso especificam-se os seus comportamentos (normal e alternativos) através de modelos de casos de uso, complementados com uma documentação textual. Foram descritos seis principais Casos de Uso na forma resumida, na etapa preliminar de aquisição de dados, dos quais são observados nas etapas iterativas e escolhidos os Casos que serão descritos de forma estendida, aumentando a semântica da modelagem e documentação do projeto. A Tabela 2 descreve o Caso de Uso da ação de 'Criar Roteirização de Linhas', de forma resumida, com seus respectivos atores participantes e prioridade de implementação.

Tabela 2 - Caso de Uso - Criar Roteirização de Linhas

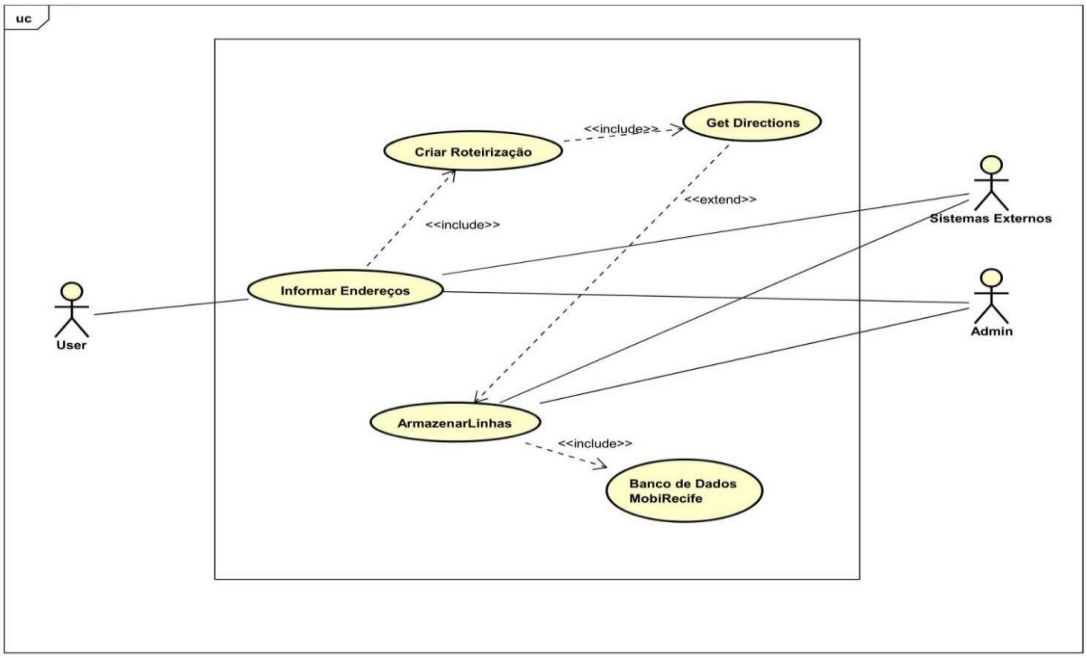
Caso de uso: Criar Roteirização de Linhas	**ID:** CDU-1	**Prioridade:** Alta
Atores: Usuário		
Tipo: Primário		
Descrição: O usuário informa ao sistema a lista de logradouros. O sistema apresenta a lista de logradouros informados e processa o roteiro na API Directions. O sistema responde com o roteiro e disponibiliza o link para o download. O usuário recebe a informação solicitada.		
Pré-condições:		

Fonte: Elaboração do autor.

4.2.1 Diagramas de Casos de uso

Posterior a definição dos Casos de Uso do problema, a etapa subsequente é concentrar-se nos aspectos específicos do aspecto textual, ou seja, descrever graficamente as ações, interações e responsabilidades de cada entidade e ator participante, através dos Diagramas de Casos de Uso. Para cada Caso de Uso escrito em forma resumida, foi criado um diagrama correspondente. O diagrama de Caso de Uso de Roteirização de Linhas (Figura 5) é baseado na descrição do caso de uso CDU-1. Este diagrama exibe a interação entre os atores Usuário, Sistemas externos e Admin e os processos inerentes a criação de Roteiros para linhas de ônibus e seus atores externos são: Sistema do Consórcio e Sistema da CBTU.

Figura 5 - Diagrama de Caso de Uso de Roteirização de Linhas.



Fonte: Elaboração do autor.

Este diagrama exibe graficamente as interações entre os três principais atores participantes. Os atores Usuário, Sistemas Externos e Admin tem como função padrão permitida o carregamento dos endereços através do método Informar Endereços, que executa através do Subsistema Controle a operação de Criar Roteirização. Este método retorna os resultados da roteirização e habilita aos usuários Admin e Sistemas Externos, a possibilidade de armazerar a informação gerada no BDE (Banco de Dados Espacial).

Portanto, os sistemas externos são classificados como os sistemas interoperáveis das empresas operadoras dos serviços (CBTU e Consórcio Recife) que poderão acessar e ter todos os privilégios de um usuário Admin. O usuário User é classificado como usuário comum, principal beneficiário do sistema e poderá realizar funções de consulta e criação de roteiros, mas não poderão realizar o arquivamento no sistema.

4.3 Dicionário de Dados

A definição dos dicionários de dados é parte fundamental no processo de documentação da AOO, visto que é o resultado da fase de análise das necessidades existentes em termos de dados Geoespaciais, e permite a definição completa e organizada dos detalhes físicos de um modelo. Esta etapa teve a definição preliminar de doze dicionários de dados para as entidades, de acordo com as especificações e modelo padrão da Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais 3.0 (ET-EDGV, 2018).

A Tabela 3 apresenta o dicionário de dados da entidades modeladas no sistema e como as classes devem ser implementadas no BDE. Deve-se destaque a inclusão da primitiva geométrica apresentada em cada entidade (simbologia apresentada pelo modelo OMT-G) que tem por objetivo facilitar a distinção entre as classes georreferenciadas e as classes tradicionais.

Tabela 3 - Entidade dos Sistemas de Transporte Público: Parada de Ônibus.

Classe	**Descrição**			**Primitiva Geométrica**
ParadasOnibus	Designação de um local de transporte público de ônibus onde os passageiros embarcam ou desembarcam.			☆
Atributo	**Tipo**	**Tamanho**	**Descrição**	**Domínio**
codigoParadaOnibus	Inteiro	10	Código identificador do ponto de ônibus, de acordo com o Sistema do município.	A ser preenchido
descricao	Alfanumérico	80	Descrição da localização e estrutura da instância.	A ser preenchido

geometriaAproximada	Boolean	-	Indica que a geometria adquirida é aproximada em relação à escala prevista para o produto cartográfico.	Sim Não
codigoLinhas	Inteiro	10	Código identificador das linhas do transporte público de ônibus que utilizam o ponto.	A ser preenchido
codigoBairro	Inteiro		Código identificador do bairro ao qual o ponto está referenciado.	A ser preenchido
nomeAbrev	Alfanumérico	50	Nome ou abreviatura padronizada.	A ser preenchido
ano_referencia	Inteiro	04	Ano de referência da alteração, atualização ou instalação do ponto de ônibus.	A ser preenchido
Cobertura	Alfanumérico	20	Indica qual tipo de cobertura existe no ponto. Ex. Estrutura coberta, ausência, estrutura danificada, entre outros.	A ser preenchido

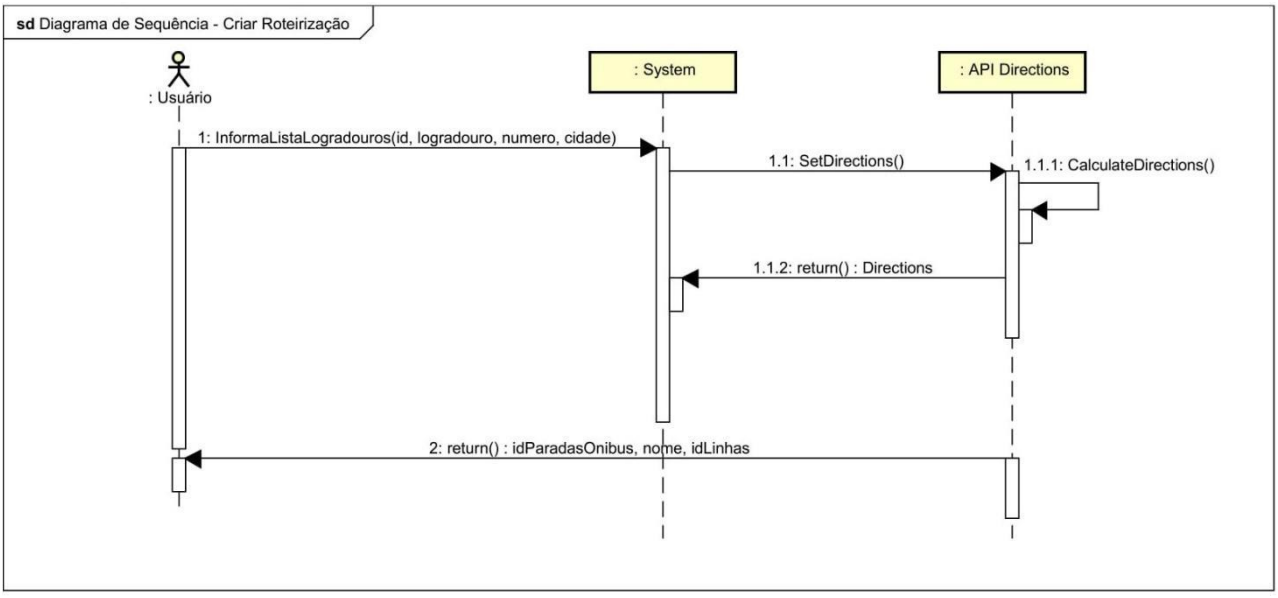
Fonte: Elaboração do autor.

O objetivo principal é esclarecer o escopo e os tipos de metadados associados aos objetos do sistema e ajudar a evitar a duplicação de dados, inconsistências e falta de integridade durante a codificação e gerenciamento de dados. Neste exemplo, é facilmente identificado qual a denominação da entidade, uma breve descrição e sua perspectiva geográfica, baseada na simbologia definida no Modelo OMT-G (BORGES, 1997).

4.4 Diagramas de Sequência

Os Diagramas de sequência exibidos nas Figuras 6 e 7 descrevem o possível comportamento do sistema nas interações e chamadas de métodos. Na primeira Figura, pode-se constatar o fluxo do ator Usuário informando uma lista de endereços, interpretados pela interface como a chamada do método InformaListaLogradoures() e passa como parâmetros as informações disponíveis e não obrigatórias (id, logradouro, numero e cidade). O subsistema de Controle carrega a API desenvolvida com base na Google API Directions e retorna os valores ao Usuário.

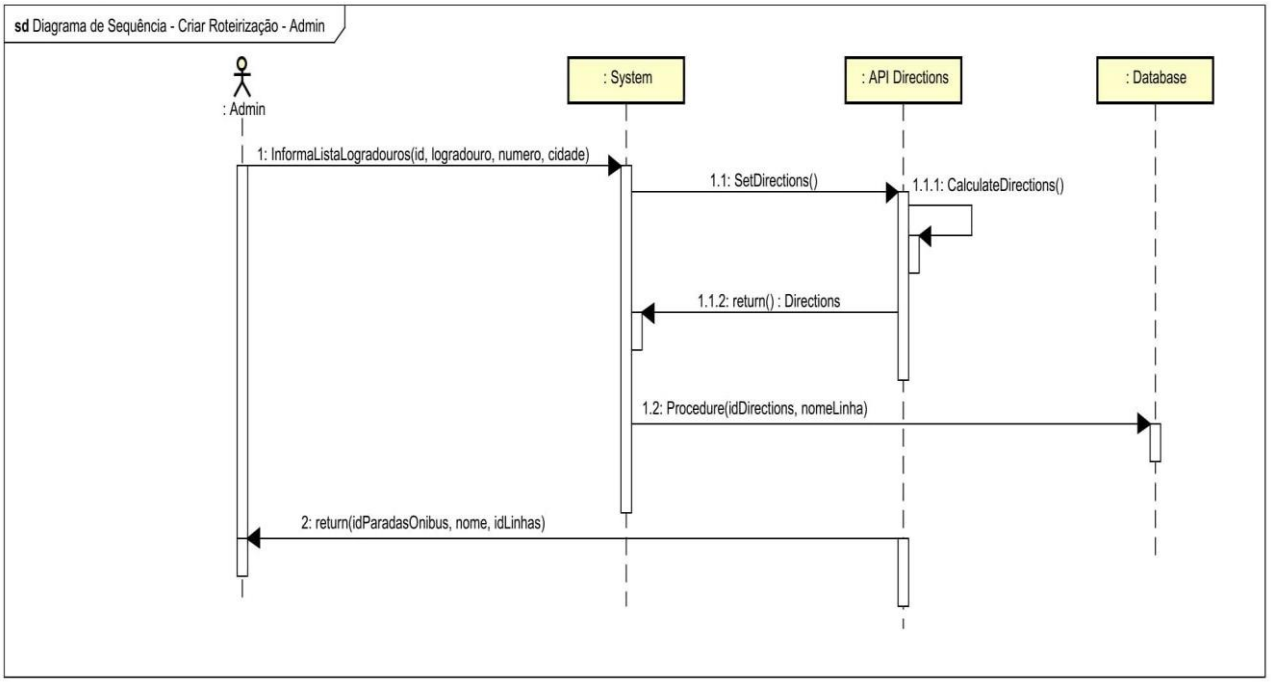
Figura 6 - Diagrama de Sequência para criação de roteiros (ator Usuário).



Fonte: Elaboração do autor.

Da mesma forma, o diagrama na Figura 7 os mesmos processos descritos na Figura 5 acrescidos da opção de armazenamento. Este método é liberado através da verificação de privilégios e liberação do sistema. O usuário Admin, então, após a obtenção dos roteiros, pode realizar o arquivamento dentro do BDE através da chamada de uma procedure existente, passando o como informações o identificador da feição e nome da linha criada.

Figura 7 - Diagrama de Sequência para criação de Roteirização (ator Admin).

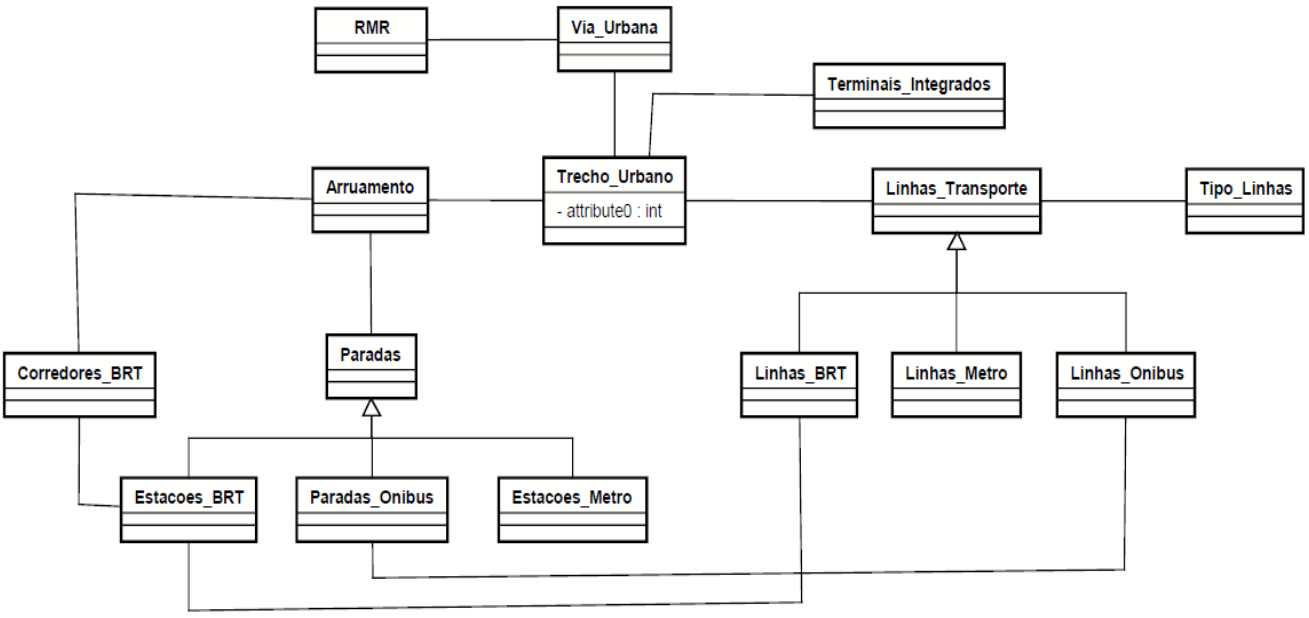


Fonte: Elaboração do autor.

4.5 Modelo Conceitual Inicial

No desenvolvimento preliminar da pesquisa as entidades auferidas estão descritas na Figura 8. A aplicação da abstração de dados através da AOO objetivou reunir e modelar os principais objetos do domínio pacotes visando à facilidade de organização, identificação de relacionamentos e posterior implementação em sistemas de banco de dados.

Figura 8 - Modelo Conceitual inicial das entidades do Sistema MobiRecife.



Fonte: Elaboração do autor.

Como pode-se observar na Figura 8, as entidades estão dispostas próximas aos seus níveis de relacionamentos, especializações ou agregações, com intuito de facilitar os primeiros refinamentos nos atributos e métodos. Outros refinamentos ocorrerão a partir da análise conjunta com os modelos de sequência e outros modelos de interações, que auxiliarão no refinamento dos comportamentos dos casos de uso. A partir da aplicação de diversos ciclos de revisão e refinamento, será possível detalhar os métodos e parâmetros da aplicação, detalhar seus tipos de retorno e outros detalhes intrínsecos.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitem inferir novas abordagens de gestão dos equipamentos e serviços urbanos, através da aplicação de técnicas de AOO e abstração de dados no desenvolvimento de aplicativos e sistemas confiáveis. Destaca-se a importância da prévia análise ao desenvolvimento de ferramentas e aplicativos, fator indispensável à qualidade e robustez do sistema, como também na identificação de potenciais falhas e incoerências antes da etapa de programação.

Os dados espaciais são um fator preponderante dentro das análises de redes, tais como os sistemas de transporte, uma vez que sua investigação e aplicação destas informações podem subsidiar a tomada de decisão de gestores municipais, objetivando o bem estar dos usuários do sistema. É necessário destacar os problemas de disponibilização e utilização dos dados espaciais, visto que as empresas mantenedoras não dispõe de portais eletrônicos para acesso dos usuários e pesquisadores.

Por fim, pode-se concluir que o uso das tecnologias da geoinformação empregadas em conjunto com métodos de AOO possibilita obter uma nova perspectiva através da união de informações de transporte público e análise, e se constitui em uma excelente técnica para criação de ferramenta necessárias na aplicação de políticas públicas de gestão do espaço urbano.

AGRADECIMENTOS

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo fomento e concessão de bolsa de estudo, assim como ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Sistemas da Geoinformação e ao Laboratório de Cartografia Costeira (LATECGEO), da Universidade Federal do Pernambuco por disponibilizar todos os recursos necessários ao desenvolvimento desta pesquisa.

Agradecimento especial ao Consórcio Grande Recife de Transportes por ceder os dados do sistema de ônibus e BRT utilizados nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

AMBLER, S. **Agile Modeling.** John Wiley & Sons. 2002.

BOOCH, G. **Object-oriented Analysis and Design.** Addison Wesley: 2nd ed. 1994.

BORGES, K. A. V. **Modelagem de Dados Geográficos: Uma Extensão do Modelo OMT para Aplicações Geográficas.** 1997. 139f. Dissertação (Mestrado em Administração Pública) – Fundação José Pinheiro, Belo Horizonte. 1997.

CASTAGNA, G. **Object-Oriented Programming A Unified Foundation.** Springer Science & Business Media, 2012.

CESANA, M.; REDONDI, A. E. C**. IoT Communication Technologies for Smart Cities.** In Designing, Developing, and Facilitating Smart Cities: Urban Design to IoT Solutions, Springer, 2017.

LARMAN, C. **Utilizando UML e Padrões: Uma Introdução à Análise e ao Projeto Orientados a Objetos.** BOOKMAN, 3 ed. 2007.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

APLICAÇÃO DE ANÁLISE ESPACIAL DA INFRAESTRUTURA DE APOIO DO CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DA BAHIA X RISCOS PARA O FOLIÃO DO CARNAVAL DE SALVADOR

MARIA LUIZA BASTOS DA SILVA E GALINDO
FRANCISCO ADALTON DA SILVA
FLÁVIO XAVIER DOS SANTOS
PATRÍCIA LUSTOSA BRITO

Universidade Federal da Bahia - UFBA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia, Salvador, BA
malubastos@gmail.com, silvaadalton1907@gmail.com, flaviosantosfxs@hotmail.com, britopatricia@hotmail.com

RESUMO - Os megaeventos de rua requerem, do ponto de vista organizacional e operacional, a elaboração de planos fortemente estruturados para o sucesso de sua realização, e são considerados como um desafio do planejamento e gestão da cidade. O Carnaval de Salvador, um dos maiores eventos de rua do país, envolve uma grande quantidade de instituições responsáveis por diversas dimensões do cotidiano urbano, que devem considerar, quando da sua organização, os riscos, desafios e impactos gerados. Poucos são os estudos associados ao tema megaeventos de rua que têm seu foco na segurança. Entender espacialmente a configuração do espaço urbano alterado para a realização da grande festa é de extrema importância para a consolidação de um Plano de Ação eficaz. Existem hoje tecnologias que podem auxiliar as instituições responsáveis, e que conferem um novo patamar à utilização da inteligência geográfica. Para o Carnaval de Salvador, no que diz respeito à segurança, a inteligência geográfica poderá auxiliar a Secretaria de Segurança Pública (SSP), em especial o Corpo de Bombeiros Militar da Bahia (CBM-BA), na estruturação de suas ações, com foco nos riscos inerentes às estruturas existentes e temporárias associadas à realização do Carnaval. O presente trabalho tem como objetivo analisar espacialmente os pontos que configuram três possíveis situações de risco para os foliões em contraposição à distribuição espacial da infraestrutura de apoio do CBM-BA instalada ao longo de percurso do Campo Grande para garantia da segurança do público, no Carnaval de Salvador no ano de 2018.

ABSTRACT - Big street events requires, from the organizational and operational point of view, the elaboration of plans strongly structured for the success of its accomplishment, and are considered as a great challenge of the planning and management of the city. The Carnival of Salvador, one of the largest street events in the country, involves a large number of institutions that are responsible for various dimensions of urban daily life, which must consider the risks, challenges and impacts generated by its organization. There are few studies about big street events that focus on safety. It is very important for the consolidation of an effective Plan of Action to understanding spatially the urban space configuration altered for the accomplishment of a great party. There is now a great deal of technology that can help institutions involved on the event to raise the quality of their service to a new level, using geographical intelligence. For the Carnival of Salvador, with regard to security, geographic intelligence may assist the Public Security Secretariat (SSP), especially the Military Fire Brigade of Bahia (CBM-BA), in structuring its actions, with focus on the risks inherent in permanent and temporary structures on Carnival circuits. The present work aims to analyze spatially the points that configure three possible risk situations as opposed to the spatial distribution of the CBM-BA support infrastructure installed along the course of the Campo Grande to guarantee public safety in Carnival of Salvador in the year 2018.

1 INTRODUÇÃO

Os megaeventos de rua, ainda pouco estudados em termos de planejamento urbano, requerem do ponto de vista organizacional e operacional, a elaboração de planos fortemente estruturados para o sucesso de sua realização. A festa recria a cidade e sua efemeridade a transforma de fato (CLAVAL, 2011). Nesse sentido os megaeventos de rua, como ápice do fenômeno da festividade urbana, desvelam-se como um desafio do planejamento e gestão da cidade. O Carnaval de Salvador, um dos maiores eventos de rua do país, envolve uma grande quantidade de órgãos e instituições

responsáveis por diversas dimensões do cotidiano urbano (subvertido temporariamente), que devem considerar, quando da sua organização, os riscos, desafios e impactos gerados.

Ainda que o tema dos megaeventos esteja em voga no país, em função dos diversos eventos esportivos ocorridos no Brasil nos últimos anos, as abordagens adotadas para sua análise têm se restringido aos chamados legados futuros, não tendo enfoque nas transformações temporárias, ocorridas durante sua execução e imediatamente antes e depois de sua realização. Estes temas devem ser vistos, então, sob um tratamento ainda não consolidado. As exceções, em geral, se referem a publicações recentes de trabalhos desenvolvidos por Carvalho (CARVALHO, 2016; CARVALHO, MAGALHAES E GALINDO, 2014). Estes abordam os impactos temporários do Carnaval e, embora tenham rebatimento no planejamento da segurança para o Carnaval, não têm foco neste aspecto. A segurança, ainda que seja alvo de vários recentes estudos, é analisada do ponto de vista dos grandes equipamentos urbanos e pouco do espaço público.

Entender espacialmente a configuração do espaço urbano alterado para a realização da grande festa é de extrema importância para a consolidação de um Plano de Ação eficaz, do ponto de vista da gestão, organização e estruturação das ações e do efetivo dos órgãos competentes. Sob essa perspectiva, existem hoje tecnologias que podem auxiliar os órgãos e instituições responsáveis. Tecnologias que conferem um novo patamar de utilização da inteligência geográfica, permitindo realizar análises espaciais complexas, ao integrar dados geograficamente, facilitando e otimizando (em tempo, recursos, etc.) a compreensão sobre a dinâmica espacial do fenômeno, seja ele o comportamento da multidão, as operações de atendimento, evacuação do público em função de um incidente, entre outros.

Para o Carnaval de Salvador, no que diz respeito à segurança, a inteligência geográfica poderá auxiliar a Secretaria de Segurança Pública (SSP), em especial o Corpo de Bombeiros Militar da Bahia (CBM-BA), na estruturação de suas ações (sob o ponto de vista da gestão, infraestrutura, logística e efetivo). Um ponto relevante, no que tange à segurança, é o levantamento dos riscos inerentes às estruturas existentes, permanentes e temporárias, associadas à realização do Carnaval, bem como aqueles relacionados à utilização indevida de marquises, edificações, árvores, dentre outros.

O presente trabalho tem como objetivo analisar espacialmente os pontos que configuram três possíveis situações de risco para os foliões em contraposição à distribuição espacial da infraestrutura de apoio do CBM-BA instalada ao longo de percurso do Campo Grande para garantia da segurança do público, no Carnaval de Salvador no ano de 2018.

2 CONSIDERAÇÕES SOBRE RISCOS

O conceito de risco expressa a probabilidade de ocorrência de um desastre, e, ao longo das décadas, variados conceitos lhe foram atribuídos (OLIVEIRA, 2017). Inicialmente, foi definido um conceito pelas ciências naturais, quando a análise de riscos era restrita ao estudo dos fenômenos naturais, causadores de desastres. Com o tempo, passou a abranger outras áreas como as ciências aplicadas e as ciências sociais, quando os aspectos socioeconômicos passaram a ser considerados. A partir de então, tem-se o conceito de risco descrito como sendo a relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno e a magnitude de danos ou consequências sociais e/ou econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade (BRASIL, 2006).

No ano de 2016, Santos *et al.*, (2016), realizou uma análise preliminar de riscos do Carnaval de Salvador, a partir de uma pesquisa feita durante o Carnaval para mapeamento dos cenários críticos do evento (Tabela 1).

Tabela 1 – Análise Preliminar de Riscos do Carnaval de Salvador 2016.

Fator de Risco	Principais Eventos Adversos	Consequências	Possíveis Causas
Estruturas Provisórias	- Arruinamento da estrutura - Incêndio - Ausência de aterramento - Ausência de EPC - Curto-Circuito	- Traumatismo - Queimadura - Choque elétrico - Queda - Tumulto / Pânico	- Uso de materiais com baixa qualidade - Mão de obra desqualificada na montagem / desmontagem - Ausência de vistorias
Veículos	- Derramamento de óleo - Falha mecânica - Arruinamento da estrutura - Incêndio - Ausência de aterramento - Ausência de EPC - Curto-circuito	- Interrupção do desfile - Atropelamento - Queimadura - Choque elétrico - Queda - Tumulto / Pânico	- Ausência de manutenção - Uso de materiais de baixa qualidade - Uso de celular ao volante

Grande Concentração de Pessoas	- Briga - Obstrução do circuito - Manifestações não pacíficas	- Tumulto / Pânico	- Questões culturais (personalidades distintas) - Atuação de criminosos - Falha no planejamento Policial / assaltos
Marquises e abrigos de ônibus	- Arruinamento da estrutura	- Traumatismo - Tumulto / Pânico	- Falta de manutenção - Planejamento inadequado para atender a quantidade de pessoas prevista
Barracas e ambulantes	- Obstrução do circuito - Incêndio - Explosão - Ausência de aterramento	- Traumatismo - Tumulto / Pânico	- Falta de treinamento para atuar no Carnaval - Barracas e ambulantes não autorizados a trabalhar
Edificações / Casarões	- Incêndio - Desabamento	- Traumatismo - Queimadura - Queimadura - Depreciação do Patrimônio Público	- Uso de materiais com baixa qualidade - Ausência de vistorias

Fonte: Santos *et al*., 2016 (adaptado pelos autores)

Considerando os riscos elencados, pode-se dizer que a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno tem relação com os 'fatores de risco' listados. Já os 'principais eventos adversos' que constam na Tabela 1 têm relação com a magnitude de danos ou consequências sociais e/ou econômicas sobre um dado elemento, grupo ou comunidade.

Todos esses fatores de risco apresentados são passíveis de serem localizados, seja como elemento fixo (espaço construído) ou elemento de fluxo com maior possibilidade de ocorrência em determinada combinação espaço-temporal, quando o fator está associado não só ao local como também ao momento da festa. O presente estudo e concentra em alguns desses fatores fixos, explorando tecnologias de análise espacial com o apoio de *softwares* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) que podem ser de grande valia para o CBM-BA.

3 ANÁLISE ESPACIAL COM BASE NA LOCALIZAÇÃO

Longley *et al*. (2013) apresentam o conceito de análise espacial, ressaltando o fato de que esse tipo de análise, não se resume à análise geográfica, já que se aplica a dados distribuídos em qualquer espaço, não apenas no geográfico. Entende-se como análise espacial o meio de agregar valor aos dados geográficos (qualquer tipo de dado geográfico) e transformá-los em informação útil, pois inclui transformações, manipulações e métodos que podem ser aplicados a eles para adicionar valor, permitindo a tomada de decisões, revelando padrões e anomalias, não perceptíveis já no primeiro momento, como conceitua Longley *et al*. (2013).

No caso da análise espacial baseada na localização, Longley *et al*. (2013) tomam como premissa o 'onde acontece ou existe algo'. Através da análise espacial, os sistemas de informações geográficas permitem ao usuário buscar explicações entre as diferentes propriedades de um local, por meio de relações e correlações, por exemplo.

Podemos então citar métodos que se utilizam da análise espacial com base na localização (LONGLEY et al., 2013): i) análise de tabelas de atributos - por meio de comparação das tabelas de atributos de dados vetoriais, podem ser feitas relações e correlações que geram análises; ii) junção espacial - a análise espacial é realizada a partir da junção de tabelas que têm como base de informação uma localização geográfica comum. As informações são vinculadas com base na localização; iii) operação ponto-em-polígono - se dá através da comparação das propriedades de um ponto (objeto de estudo) com as propriedades das áreas onde ele está contido. É possível também verificar se um ponto está ou não contido em um polígono. Pode-se ainda, por meio dessa operação, associar pontos e polígonos, verificando, por exemplo o pertencimento de um ponto a mais de um polígono ou até mesmo a nenhum deles; iv) sobreposição de polígonos - similar à operação ponto-em-polígono, pode se dar sob a perspectiva de campos contínuos ou de objetos discretos. Para este último, o objetivo é determinar se duas áreas se sobrepõem, determinar a área de sobreposição e definir a área formada pela sobreposição como um ou mais novos objetos de área. Para o primeiro, trabalha-se com um novo conjunto de dados no qual a região é dividida em áreas menores que possuem características uniformes para ambas as variáveis; v) análise matricial - a análise matricial surge para sanar muitas das complicações enfrentadas quando da realização dos tipos de análises anteriores. A estruturação dos dados, na forma matricial, permite o

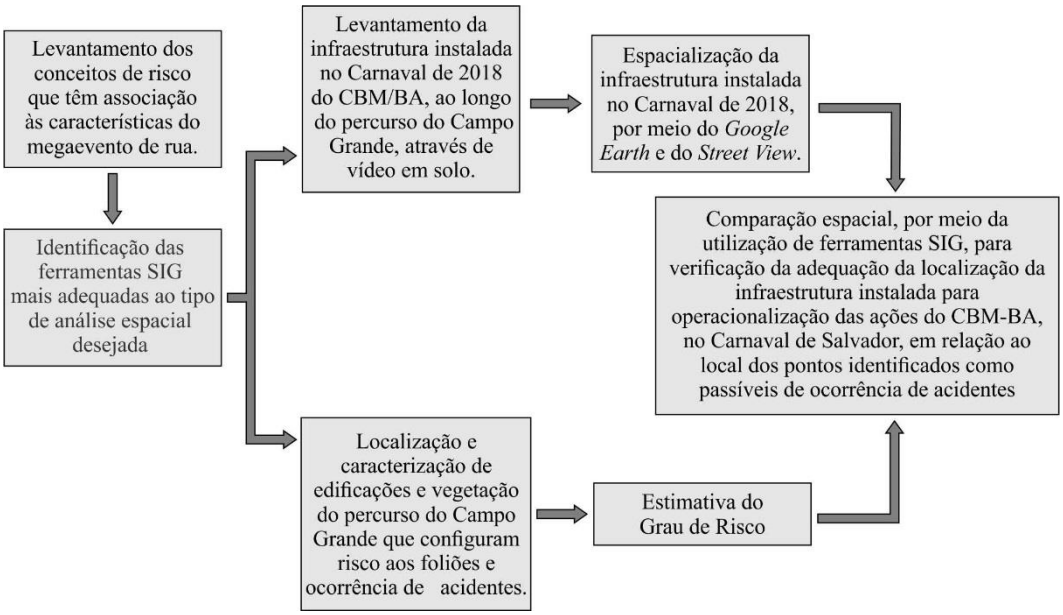
cruzamento de dados, facilitando as análises. Pode-se ainda realizar a sobreposição de matrizes, desde que essas compartilhem a mesma matriz de células.

Dentre as possibilidades de análise supracitadas, para este artigo destacamos a utilização de métodos que se utilizam da análise da tabela de atributos dos dados; da junção espacial de informações contidas em mais de uma tabela, a partir de um dado comum; e da operação ponto-em-polígono.

4 METODOLOGIA

Para a confecção deste artigo, buscou-se inicialmente o fazer um breve levantamento de conceitos de risco, na tentativa de encontrar o que melhor se adequasse aos riscos característicos do Carnaval. Partiu-se então para identificar dentro das ferramentas SIG, a que tivesse melhor adequação ao tipo de análise espacial desejada. Em sequência, realizou-se a identificação da infraestrutura instalada ao longo do percurso do Campo Grande para operacionalização das ações desenvolvidas pelo Corpo de Bombeiros no Carnaval de 2018. Para isso foi utilizado um vídeo, feito por um dos autores, utilizando a câmera de um celular e se deslocando de automóvel num horário em as vias não estavam ocupadas pelos foliões. Neste momento também foram identificados os postos elevados da Polícia Militar da Bahia (PM-BA), que também apoiam as ações do CBM-BA. O *Google Earth* e o *Street View* foram utilizados para identificar as referências espaciais e registrar a localização dos postos do CBM-BA e da PM-BA. Essas duas últimas ferramentas também foram utilizadas para especializar em forma de ponto cada edificação e árvore existentes no percurso, bem como suas características relacionadas a eventos adversos possíveis de serem identificados, conforme é apresentado na Tabela 2. Por fim, realizou-se a comparação espacial, por meio da utilização de ferramentas SIG, para verificação da adequação da localização da infraestrutura instalada para operacionalização das ações do CBM-BA, no Carnaval de Salvador, em relação ao local dos pontos identificados como passíveis de ocorrência de acidentes.

Figura 1 – Metodologia adotada



Fonte: elaborado pelos autores

Para atribuir diferentes pesos a situações com diferentes potenciais de magnitude do dano aos foliões, foi criado o campo "peso", preenchido em função do somatório de riscos associados a cada ponto (Tabela 2). Essa graduação foi feita pelos autores de forma empírica, tomando por base a Tabela 1. Vale ressaltar, no entanto, a necessidade de posterior consulta a especialistas para melhor valoração.

Foram eleitos os pontos associados à vegetação (árvore) e às edificações para a realização das análises. Os pontos foram analisados separadamente. As árvores foram analisadas em relação a dois critérios: proximidade de fiação elétrica e possibilidade de subida. As edificações, em relação à presença de restaurante, à presença de marquise e ao estado de conservação. Para os casos de mais de um critério associado ao ponto, foram atribuídos pesos maiores. Por exemplo, a uma árvore próxima à fiação, mas sem possibilidade de subida, foi atribuído peso nulo, enquanto que a uma

edificação onde observa-se a presença de restaurante (possível ocorrência de incêndio ou explosão) e a presença de uma marquise (uso inadequado pode levar a seu arruinamento) foi atribuído peso máximo.

Tabela 2 – Graduação dos pontos de acordo com o somatório de riscos.

		Árvore		**Edificação**		
		próximo à fiação	possibilidade de subida	presença de restaurante	presença de marquise	estado de conservação
Árvore	próximo à fiação	0				
	possibilidade de subida	2	1			
Edificação	presença de restaurante			2		
	presença de marquise			3	2	
	estado de conservação			3	3	1

Legenda: 0 – baixo risco 1 – risco médio 2 – risco alto 3 – risco muito alto
Fonte: elaborado pelos autores

As ferramentas SIG permitem a realização de uma série de análises espaciais a partir de pontos, superfícies e/ou áreas. Como dito anteriormente, para este trabalho, o tipo de análise espacial utilizada foi baseada na localização. Ferramentas como Kernel, um estimador de intensidade; Polígono de Voronoi e Buffer foram utilizadas para analisar a distribuição dos pontos (edificações e árvores) que representam risco para o folião e postos elevados do CBM-BA.

A partir dos dados coletados, foram propostas as seguintes análises com a utilização do programa Quantum Gis:

- Análise 1: Concentração de Riscos X Concentração de Postos - existem áreas com maior concentração de risco e menor concentração de postos?
- Análise 2: Sobrecarga dos Postos em relação à quantidade de Riscos - existem postos de bombeiros mais sobrecarregados do que outros?
- Análise 3: Sobrecarga dos acessos às vias de fuga em relação à quantidade de riscos - existem pontos de acesso às vias de fuga mais sobrecarregados do que outros?

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

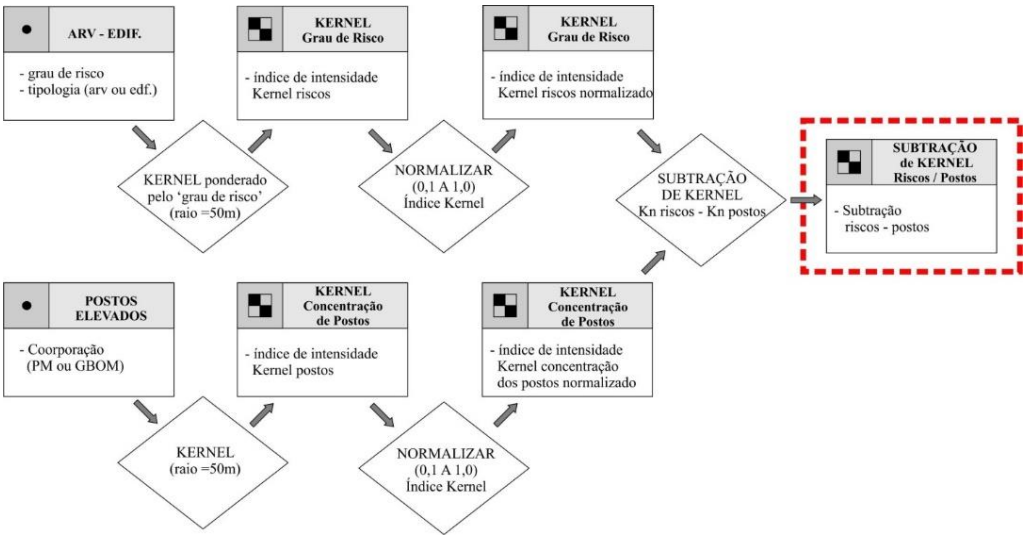
5.1 Análise 01: Concentração de Riscos X Concentração de Postos

Para esta analisar a concentração de riscos em relação à concentração de postos, a ferramenta utilizada foi o estimador de intensidade Kernel. Essa ferramenta permite analisar o comportamento de padrões de pontos, ao estimar a intensidade pontual do processo em toda a região de estudo. Tem como parâmetros básicos o raio de influência (que define a vizinhança do ponto) e uma função de estimação (com propriedades de suavização do fenômeno) (CÂMARA e CARVALHO, 2004).

Segundo Câmara e Carvalho (2004), o estimador de intensidade é muito útil para nos fornecer uma visão geral da distribuição de primeira ordem dos eventos. A superfície gerada nos permite visualizar um padrão de distribuição de pontos, percebendo os locais de maior concentração e os locais de menor concentração.

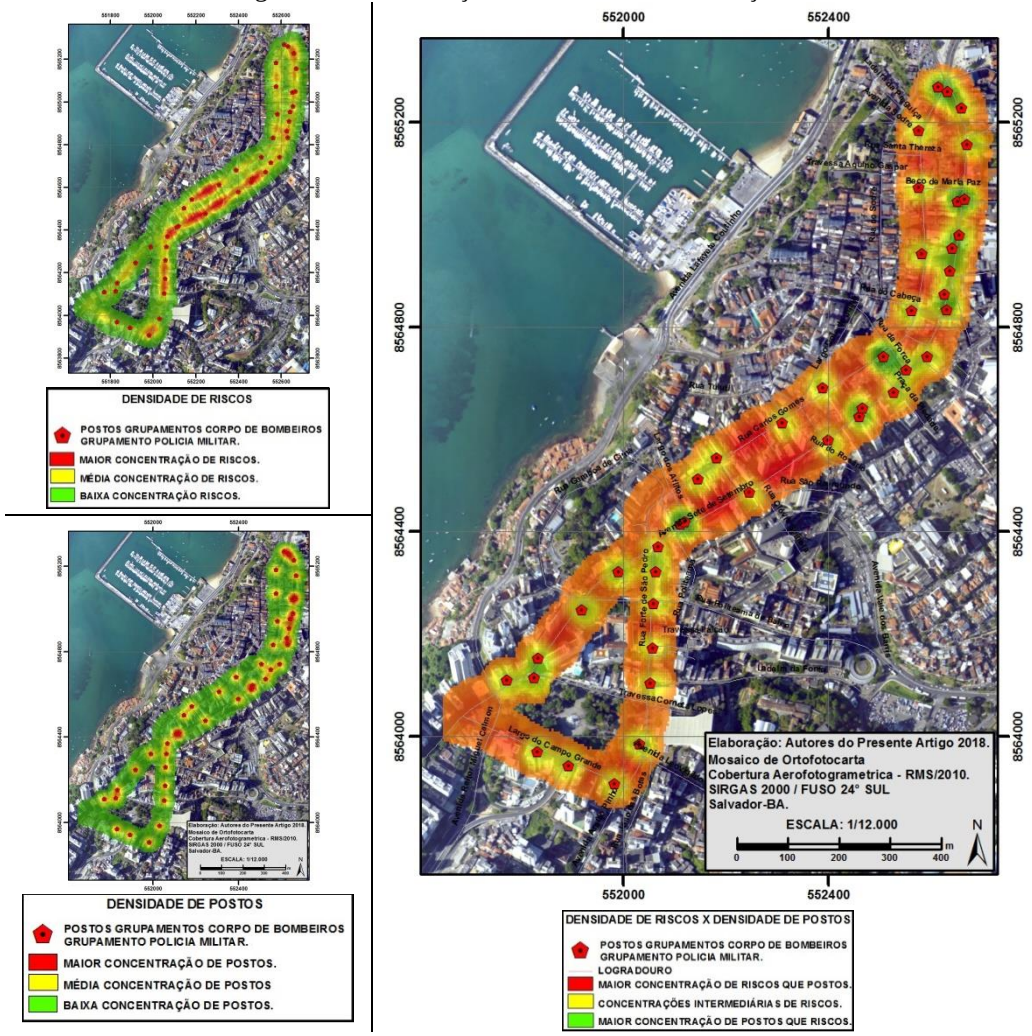
O que se pretende com esta análise é perceber se existem locais ao longo do circuito onde há uma grande concentração de riscos para uma pequena concentração de postos, considerando a disposição de postos elevados do CBM-BA e, nesse caso, também os postos da PM-BA ao longo do circuito. São gerados então um mapa de densidade a partir dos pesos de riscos identificados e outro, a partir dos postos dos bombeiros e da polícia. Os mapas de densidade são normalizados (para os dois mapas, o menor valor de cada um deles deve ser igual a zero e valor máximo, igual a um), e é realizada uma subtração entre os produtos obtidos. A partir desta operação pode-se gerar um novo mapa (de diferença Kernel), que apresenta os locais onde a concentração de postos é menor em relação à quantidade de riscos daquela área (Figura 2).

Figura 2 – Análise de Concentração de Riscos e Concentração de Postos com a ferramenta Kernel



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 3 – Concentração de Riscos X Concentração de Postos



Fonte: elaborado pelos autores

Por meio desse processo, temos então o mapa da Figura 3, no qual é possível visualizar as áreas em que a concentração de postos é menor em relação à concentração de riscos. As áreas em verde apresentam uma baixa concentração de riscos em relação à concentração de postos. Por outro lado, temos em vermelho os locais onde a concentração de riscos é alta se contrapondo à baixa concentração de postos.

Observa-se que na metade do circuito de ida (Av. Sete de Setembro, entre o término da rua Forte de São Pedro e a Rua do Rosário) há uma concentração maior de fatores de maior risco, devido principalmente a um espaçamento maior entre postos (140 metros e 185 metros, respectivamente). Neste intervalo do circuito, das 63 edificações presentes, 22 delas (35%) receberam peso 2 ou 3, estando esses pesos relacionados principalmente ao somatório dos riscos 'presença de marquise' e 'mau estado de conservação' da edificação. De acordo com a Tabela 1, associado a esses dois fatores de risco, tem-se os seguintes eventos adversos: arruinamento da estrutura, incêndio e desabamento da edificação. Esses eventos podem causar consequências como traumatismo, tumulto / pânico, queimadura, depreciação do patrimônio público.

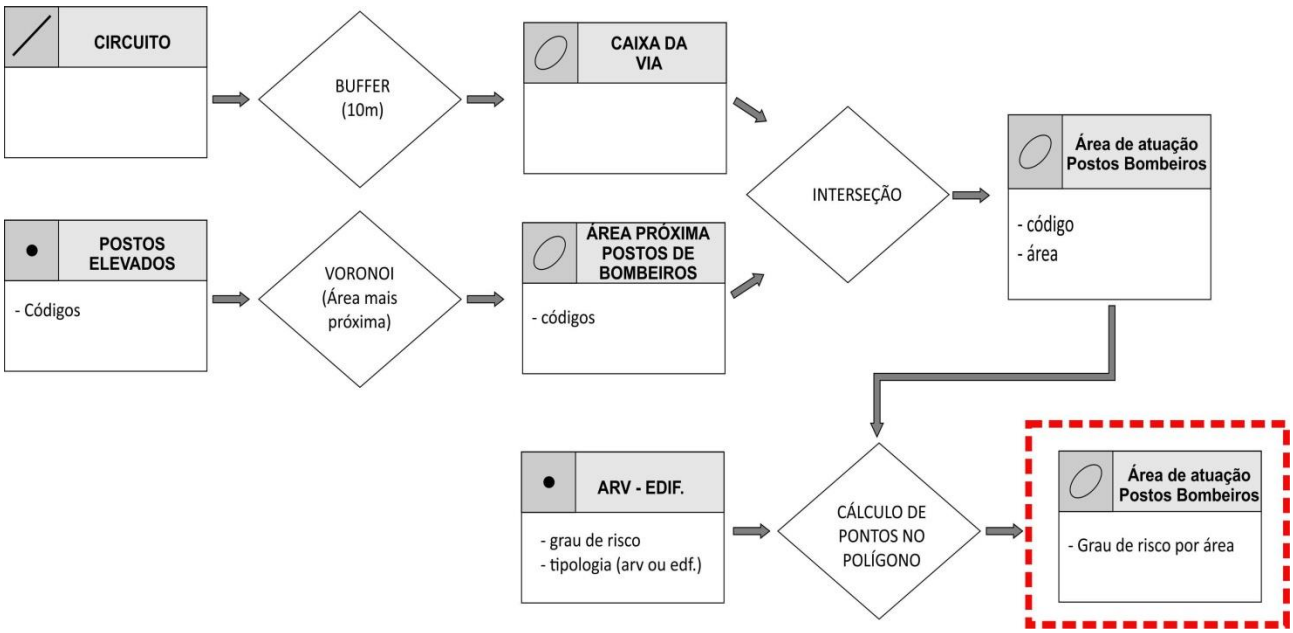
Outro fator de risco característico desse trecho está associado às árvores nas quais existe a possibilidade de subida do folião e que estão próximas de fiação elétrica (peso 2, de acordo com a Tabela 2). Das 27 árvores desse trecho, 16 (60%), encontram-se nessa situação, o que pode causar, enquanto evento adverso, curto-circuito e incêndio. Para esses casos, as consequências seriam queda, traumatismo, queimadura, choque elétrico, tumulto e pânico.

5.2 Análise 02: Sobrecarga dos Postos em relação à quantidade de Riscos

Nesta análise, a principal ferramenta utilizada é o Polígono de Voronoi. Por meio dele é possível a geração de polígonos dentro dos quais qualquer outro ponto está mais próximo do ponto a partir do qual cada polígono foi gerado.

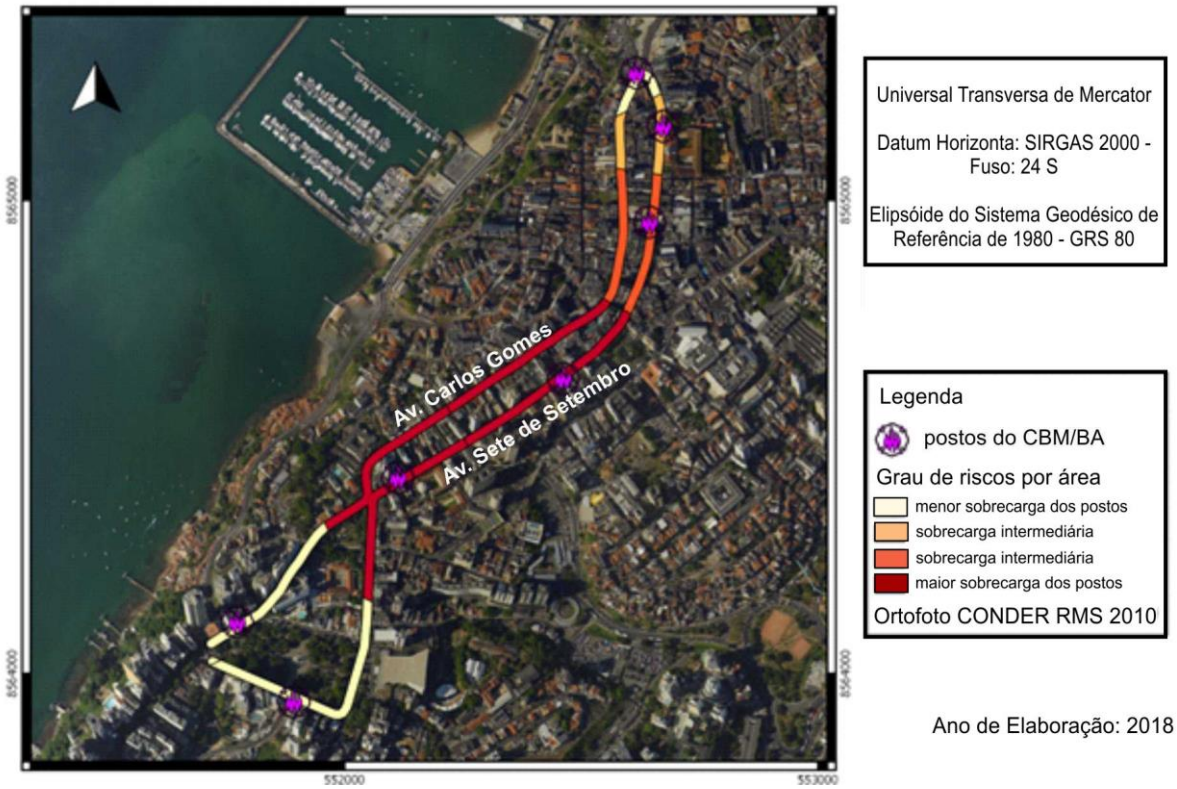
Com base na geração dos polígonos de Voronoi, a partir dos pontos referentes aos postos, foi possível identificar a quantidade de riscos contidos em cada um deles e, consequentemente, mais próximos do posto em questão. Fez-se então uma contagem de pontos por polígono, considerando o peso ou grau de risco atribuído a cada edificação ou árvore, o que permitiu verificar a sobrecarga dos postos (um em relação aos outros) (Figura 4).

Figura 4 – Análise da sobrecarga dos postos com a ferramenta Polígono de Voronoi



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 5 – Sobrecarga de Postos em relação aos riscos



Fonte: elaborado pelos autores

As áreas em vermelho indicam uma maior quantidade de riscos a serem atendidas pelos postos em questão. A medida que as cores ficam mais claras, essa quantidade de riscos diminui, caracterizando uma menor sobrecarga para aqueles postos, se comparado aos demais.

Observa-se que o trecho intermediário do circuito (tanto na Av. Sete de Setembro como na Av. Carlos Gomes) apresenta maiores sobrecargas dos postos. Para uma extensão de um quilômetro na Avenida Sete de Setembro (percurso de ida) e de 900 metros na Avenida Carlos Gomes (percurso de volta), apenas dois postos fazem a cobertura desse trecho. Importante destacar que ambos os postos localizam-se na Avenida Sete de Setembro. Nessa região, há a presença de grande quantidade de árvores próximas à fiação e passíveis de serem escaladas pelo folião (80 de 112 árvores), e de edificações com fatores de riscos associados: presença de restaurantes, de marquises, além do mau estado de conservação da edificação. Do total de edificações dos dois trechos, 27 receberam peso 3; 48 edificações, peso 2; 58 edificações, peso 1. Foram identificados nesse trecho 21 restaurantes, 64 edificações com marquise e 53 construções em mau estado de conservação. A Tabela 3 mostra a quantidade de pontos espacializados, no trecho em questão, que receberam peso de acordo com a Tabela 2.

Tabela 3 – Quantidade de Pontos Espacializados

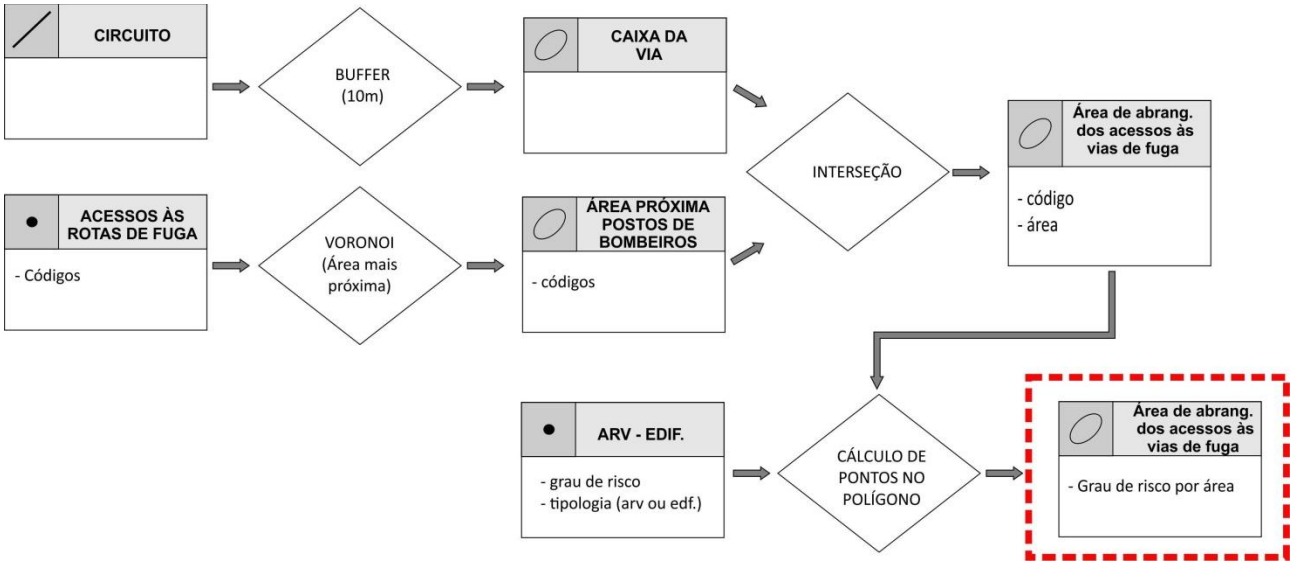
		Quantidade de Pontos Espacializados	
Trecho do Circuito	**Peso**	**Árvores**	**Edificações**
Av. Sete de Setembro (trecho de ida)	0	20	
	1	0	32
	2	80	29
	3		19
Av. Carlos Gomes (trecho de volta)	0	0	
	1	0	26
	2	6	19
	3		8

Fonte: elaborado pelos autores

5.3 Análise 03: Sobrecarga dos acessos às vias de fuga em relação à quantidade de Riscos

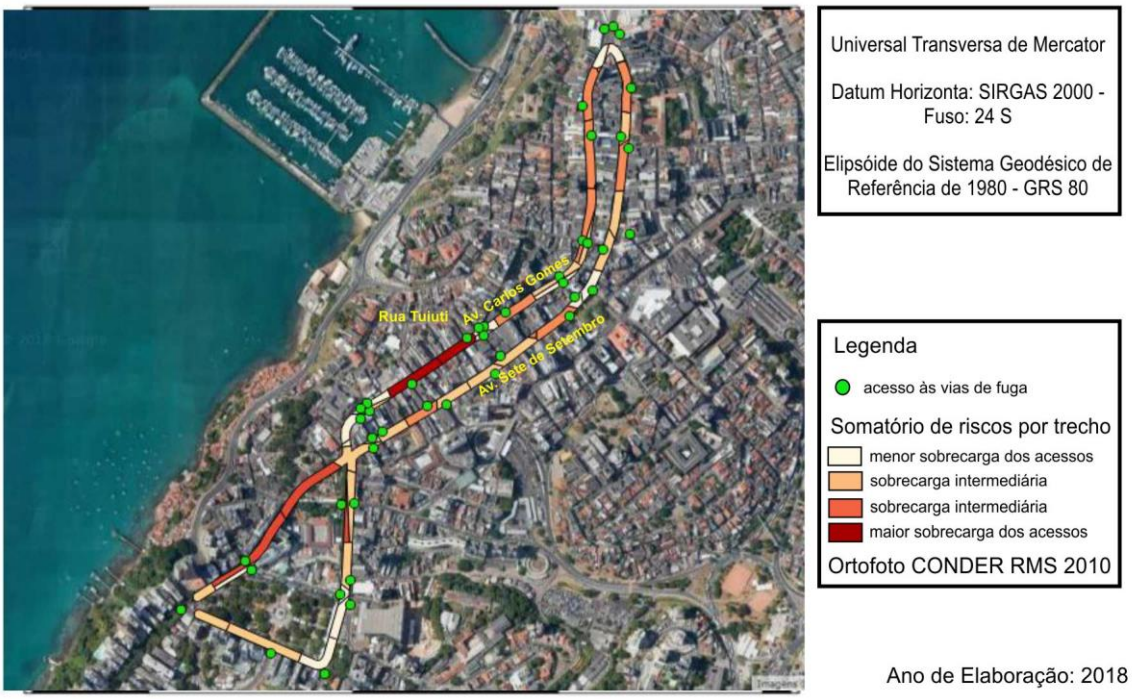
A terceira análise segue o mesmo princípio da segunda, buscando avaliar dessa vez a sobrecarga dos acessos às rotas de fuga, quando do acontecimento de um acidente e que haja a necessidade de evacuação da área. A Figura 6 apresenta o passo a passo para a obtenção do mapa que permite a análise supracitada.

Figura 6 – Análise da sobrecarga dos acessos com a ferramenta Polígono de Voronoi



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 7 – Sobrecarga dos Acessos às vias de fuga em relação aos riscos



Fonte: elaborado pelos autores

Dessa forma, observa-se que o trecho da Av. Carlos Gomes, cuja principal rota de evacuação é a rua Tuiuti destaca-se dos demais devido a grande quantidade de riscos concentrada nesse trecho. Assim como nas demais análises, esse é o trecho onde estão concentrados mais fatores de risco e com maior peso, o que permite inferir uma maior probabilidade de uso desse acesso, dada a grande quantidade de eventos adversos possíveis de ocorrer.

6 CONCLUSÇÕES

A partir de três análises espaciais experimentais, é possível constatar como as ferramentas de SIG permitem uma análise do espaço diferenciada, apoiando a operacionalização das ações do CBM-BA. No entanto, entende-se que as análises realizadas são limitadas e demandam, por exemplo, o aprofundamento de conceitos e caracterizações referentes aos riscos associados ao Carnaval junto a especialistas, para que decisões como reposicionamento de postos seja realizada. Nas três análises, os trechos menos atendidos localizam-se no setor intermediário do percurso, o que sugere que os órgãos responsáveis detenham maior atenção a esta área do circuito, com base em uma avaliação mais completa. Tais análises sugerem a busca de dados mais consistentes, bem como outras questões relacionadas à segurança que careçam de análises espaciais para seu melhor entendimento e resolução.

Além disso, essas ferramentas podem ser aplicadas em outras áreas com o foco no planejamento, segurança e prevenção. Uma vez internalizada a utilização de tecnologias associadas a inteligência geográfica, bem como a aplicação de suas ferramentas, as instituições de segurança poderão replicar as ações operacionais implementadas no Carnaval de Salvador em outros megaeventos de rua, respeitando as características e especificidades de cada um.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas**. Brasília: Ministério das Cidades/Cities Alliance, 2006.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio M., FUCKS, Suzana D., CARVALHO, Marília Sá. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004.

Carvalho, M. J. F. (2016). **A Cidade Efêmera do Carnaval**. Passos, E. (org.). Salvador: Edufba.

CARVALHO, M. J. F.; MAGALHÃES, M. T. Q.; GALINDO, E. P. (2014). **Método e categorias para análise do território dos megaeventos de rua: a contribuição do plano de estruturação físico-ambiental do carnaval de salvador**. Anais: Pluris 2014.

CLAVAL, P. (2011). **A festa e a cidade**. In: Revista Cidades, nº 13, v. 8. Presidente Prudente: GEU.

LONGLEY, Paul A.; GOODCHILD, Michael F., MAGUIRE, David J., RHIND, David W. **Análise de Dados Espaciais**, in Sistemas e Ciência da Informação Geográfica, 3.ed. - Porto Alegre, 2013.

OLIVEIRA, G.A. **Desastres Hidrológicos e Informações Geográficas Voluntárias: Concepção de Sistema Colaborativo para o Mapeamento de Áreas de Riscos.** Dissertação apresentada ao Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana, MEAU, da Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2017.

SANTOS, A. L. A.; KALID, R.A.; FILHO, S.A. (2016). **ANÁLISE DE RISCOS EM EGAEVENTOS: O CASO DO CARNAVAL DE SALVADOR 2016.** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016, Foz do Iguaçu, Brasil.

APLICAÇÃO DO MÉTODO SCAN PARA A DETECÇÃO DE CONGLOMERADOS ESPACIAIS DOS ÓBITOS POR NEOPLASIA PULMONAR NO ESTADO DA PARAÍBA

SANDRA COSTA CAVALCANTE LEITE DE ABREU[1]
RONEI MARCOS DE MORAES[2]
CAMILA RIBEIRO DA SILVA[3]
LUCIANO BELAS E SILVA FILHO[4]

[1, 3] Secretaria de Estado da Saúde da Paraíba – SES
Gerência Executiva de Vigilância em Saúde, João Pessoa, PB.
sandrageotecnologa@gmail.com,
camilaribeiroufpb@hotmail.com

[2] Universidade Federal da Paraíba - UFPB
Centro de Ciências Exatas e da Natureza - CCEN
Departamento de Estatística, João Pessoa, PB.
ronei@de.ufpb.br

[4] Núcleo de Apoio à Saúde da Família,
Prefeitura Municipal de Jaboatão dos Guararapes, PE.
luciano_bsfilho@hotmail.com

RESUMO -. O presente estudo objetivou identificar conglomerados espaciais referentes à ocorrência de óbito por câncer de pulmão no estado da Paraíba, utilizando dados do Sistema de Informação sobre Mortalidade no período de 2016 e 2017. A análise através do método Scan espacial possibilitou a visualização de conglomerados significativos, que auxiliam no conhecimento do problema em estudo. Do total de 839 óbitos, 48,3% ocorreram no ano de 2016 e 47,3% em 2017. A maior parte dos óbitos ocorreu na população do sexo masculino (49,6%), e dentre as faixas etárias mais cometidas estão: 60-69 (25,6%), 70-79 (28,8%). Na análise do risco de incidência espacial e da distribuição espacial, verificou-se que os municípios com alto risco de incidência e que formaram conglomerados espaciais significativos, encontram-se predominantemente na mesorregião do sertão da Paraíba, além de pontos no agreste e mata paraibana. Estas informações podem ser fundamentais para o planejamento e melhor alocação de recursos humanos e materiais, visando prevenção e/ou redução dos óbitos por neoplasia pulmonar no estado. Contudo, tal análise auxilia no direcionamento de políticas públicas na área de saúde e apresenta-se como mais uma ferramenta para auxiliar no monitoramento e avaliação da situação de saúde dos territórios.
Palavras-chaves: Neoplasia Pulmonar. Conglomerado espacial. Distribuição espacial.

ABSTRACT -. The present study aimed to identify spatial conglomerates related to the occurrence of lung cancer death in the State of Paraíba, using data from the Mortality Information System in the period of 2016 and 2017. The analysis using the Space Scan method allowed the visualization of significant conglomerates, that helps in the knowledge of the problem under study. From the 839 deaths, 48.3% occurred in 2016 and 47.3% in 2017. Most of the victims are male (49.6%), and among the most frequent age groups are: 60 -69 (25.6%), 70-79 (28.8%). In the analysis of the risk of spatial incidence and spatial distribution, it was found that the municipalities with high risk of incidence and that formed significant spatial conglomerates, are predominantly in the mesoregion of the Paraíba hinterland, in addition to points in the agreste and mata paraibana. This information may be fundamental for the planning and better allocation of human and material resources, aiming at prevention and/or combat of deaths due to pulmonary neoplasia in the state. Finally, this analysis assists in directing public policies in the area of health and presents itself as another tool to assist in the monitoring and evaluation of the health situation of the territories.
Key-words: Pulmonary Neoplasia. Space conglomerate. Spatial distribution.

1 INTRODUÇÃO

O câncer ou neoplasia é um crescimento celular anormal, incontrolado, que invade os tecidos e órgãos podendo se espalhar para outras partes do corpo, processo conhecido como metástase. Entre os de maior incidência encontra-se o câncer de pulmão, sendo o mais comum de todos os tumores malignos, com aumento de 2% por ano na incidência mundial (BRASIL, 2012). É o segundo em incidência, atrás apenas do câncer de próstata, no sexo masculino, e o terceiro entre as pessoas do sexo feminino, que neste grupo é precedido pelo de mama e intestino (INCA, 2018).

Em 2015, o Global Burden of Disease Study apontou o câncer de pulmão como a principal causa de mortalidade por câncer, chegando a um número de 1,7 a 1,8 milhões de mortes por ano. Geralmente, esse tipo de câncer é detectado em estágios avançados, uma vez que não são observados sintomas em seus estágios iniciais. É o tipo de câncer mais agressivo, cuja incidência de morte tem aumentado progressivamente, a despeito da melhora e da maior agressividade terapêutica nos últimos anos (INCA, 2018).

Um fator determinante no sucesso do tratamento em pacientes com câncer de pulmão é o conhecimento do estágio da doença e da possibilidade de cirurgia com intenção curativa (MOREIRA, et al., 2012). Aqueles que são diagnosticados nos estágios iniciais possuem melhores chances de uma sobrevida em longo prazo. A relação entre a extensão anatômica da doença no momento do diagnóstico e a sobrevida é a base para conceito de estadiamento em oncologia (GRIDELLI; SHEPHERD, 2005; MOREIRA et al, 2012). Infelizmente, apenas um terço dos casos de câncer de pulmão são diagnosticados antes que o tumor tenha evoluído para metástase (BUGANO et al., 2016; ROSKOSKI, 2017).

A última estimativa mundial apontou incidência de 1,82 milhão de casos novos de câncer de pulmão para o ano de 2012, sendo 1,24 milhão em homens e 583 mil em mulheres. Em 90% dos casos diagnosticados, o câncer de pulmão está associado ao consumo de derivados de tabaco. Entretanto, evidências na literatura mostram que pessoas que têm câncer de pulmão apresentam risco para o aparecimento de outros cânceres e que parentes próximos como irmãos, irmãs e filhos de pessoas que tiveram essa doença apresentam risco levemente aumentado para o desenvolvimento desse câncer. Por isso é difícil estabelecer o quanto desse risco decorre de fatores hereditários e o quanto é por conta do hábito de fumar (BRASIL, 2012).

Dados recentes apontam que a incidência de câncer de pulmão em países desenvolvidos, como os Estados Unidos e países da União Europeia, continuam a ser alta. No entanto, as diferenças que existiam no passado sobre as taxas de câncer de pulmão, quando comparadas a países em desenvolvimento, não ocorrem mais, já que 49% dos casos de neoplasia pulmonar no mundo ocorrem em países em desenvolvimento (CHENG et al., 2016).

No Brasil, faltam melhores dados estatísticos, principalmente nas regiões mais pobres. Porém, este tipo de neoplasia foi responsável por 22.424 mortes em 2011, e ocorrência, em 2015, de 15.514 óbitos por câncer de pulmão em homens e 10.978 em mulheres (BRASIL, 2017). Estimam-se 18.740 casos novos de câncer de pulmão entre homens e de 12.530 nas mulheres para cada ano do biênio 2018-2019. Esses valores correspondem a um risco estimado de 18,16 casos novos a cada 100 mil homens, sendo o segundo tumor mais frequente; e com um risco estimado de 11,81 para cada 100 mil mulheres. Com isso, o câncer de pulmão se tornou uma das principais causas de morte evitáveis no país (INCA, 2017b).

Na Paraíba o número de óbitos por neoplasia pulmonar só cresce a cada ano. Em 2012 foram registrados 280 óbitos e em 2017 esse número cresceu de forma considerável para 428 casos de óbitos por esse tipo de neoplasia (BRASIL, 2017). Em 2015 foram realizados estudos no qual verificou que o câncer é a principal causa de morte no Brasil em 516 (10%) dos municípios e a Paraíba apresenta um quantitativo de 15 municípios onde esse evento acontece (Observatório de Oncologia, 2018).

A detecção de padrões espaciais no alastramento de determinadas endemias e de aglomerados espaciais é relevante para o combate mais efetivo às causas da doença. Averiguar se a distribuição espacial de um evento adverso à saúde é aleatória ou não, juntamente com uma análise descritiva baseada em mapas cadastrais, visa uma combinação de técnicas que viabilizará medidas eficazes de monitoramento dos casos, sugerindo áreas preferenciais de combate a doenças, resultando em melhoria das condições de saúde da população (SANCHES, 2000).

Uma das principais preocupações dos órgãos gestores é encontrar soluções que possam reduzir os números de casos dessas doenças, procurando entender esses eventos de forma a tentar preveni-los ou reduzir os impactos gerados por eles, encontrando assim soluções para a redução desse problema. Uma forma de se atingir esse objetivo é através da utilização de técnicas de geoprocessamento como um Sistema de Informações Geográficas (SIG), associado a ferramentas de estatística espacial, no intuito de compreender como ocorrem e quais as inter-relações entre os diversos tipos de acidentes (HOLMES; MORAES; VIANNA, 2012; SANTOS; RAIA JÚNIOR, 2006). A análise espacial é uma ferramenta da estatística espacial utilizada quando o objetivo está na localização espacial de determinado evento (MEDRONHO et al., 2009).

O presente artigo destina-se apresentar uma análise da distribuição espacial dos casos de óbitos por Neoplasia Pulmonar no estado da Paraíba, considerando o período de 2016 e 2017.

2 MATERIAIS E MÉTODO

Utilizou-se o método Scan Espacial com o objetivo de detectar conglomerados espaciais para a ocorrência de óbitos por neoplasia pulmonar no estado da Paraíba. A amostra foi composta pelos 223 municípios paraibanos, considerando o período de 2016 e 2017. Os dados foram obtidos no site do DATASUS do Ministério da Saúde (http://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude/tabnet/epidemiologicas-e-morbidade).

A Estatística Scan espacial auxilia na identificação de conglomerados espaciais a partir de uma varredura realizada em toda região de estudo (KULLDORFF, 1997). Suponha uma área particionada em k sub-regiões menores (bairros, municípios, setores censitários), é associada a um centroide ε_i $(i = 1, 2, \dots, k)$. O método é iniciado calculando a distância de cada ε_i em relação a todos os outros. Em seguida, posiciona-se sobre cada centroide um círculo cujo raio é aumentado continuamente, de modo a englobar outro centroide. Para cada ponto inserido no círculo z, é observado o número de ocorrências do fenômeno em estudo (O_i) e o respectivo valor esperado (e_i). O objetivo principal é encontrar regiões z onde o número de casos seja significativamente maior que o esperado (NEIL; MOORE; SABHNANI, 2005). O método considera a hipótese nula (H_0) de homogeneidade, isto é, admite não haver conglomerados espaciais, implicando em risco constante em toda área considerada no estudo.

O modelo probabilístico adotado foi o de Poisson, levando em conta que o número de eventos em cada área é considerada como distribuído de acordo com a população sob risco conhecida. Tal modelo probabilístico requer a contagem de casos e da população para cada sub-região de localização dos eventos, bem como o conhecimento das coordenadas geográficas para cada uma destas localizações (GÓMEZ-RUBIO, FERRÁNDIZ-FERRAGUD, LÓPEZ, 2005).

São computados os raios cujos valores da probabilidade de haver casos dentro do círculo z (p(z)) e da probabilidade de haver casos fora do círculo z (q(z)) maximizam a função de verossimilhança condicionada ao total de casos observados. Sob a hipótese nula (H_0) de que não há nenhum conglomerado na região, tem-se que p(z) = q(z); uma vez que a hipótese alternativa (H_1) supõe a existência de pelo menos um círculo z, tal que p(z) > q(z). Para o círculo z, considera-se a seguinte estatística (GOMESRÚBIO, FERRÁNDIZ-FERRAGUD, LÓPEZ, 2005; BALIEIRO, 2008; LUCENA; MORAES, 2009):

$$\lambda = \max_{z \in Z} \frac{L(z, \hat{p}(z), \hat{q}(z))}{L_0} \quad (1)$$

em que z é o conjunto de todos os possíveis candidatos a conglomerados, $\hat{p}(z)$ e $\hat{q}(z)$ são respectivamente as estimativas de $p(z)$ e $q(z)$, e L_0 sendo definido por:

$$L_0 = \frac{C^C (M-C)^{M-C}}{M^M}, \quad (2)$$

em que C representa o total de casos observados em toda a região observada e M, a população total sob a região observada. Enquanto, $L(z, \hat{p}(z), \hat{q}(z))$ é definido por:

$$L\left(z, \hat{p}(z), \hat{q}(z)\right) = \frac{\exp[-p(z)n_z - q(z)(M-n_z)]}{C!} p(z)^{c_z} q(z)^{C-c_z} \prod C_i \quad (3)$$

onde c_z e c_i com $z, i = 1,2, \dots, m$, são, respectivamente, o número de casos no círculo z e no círculo i e n_z é o número de indivíduos em risco dentro do círculo z.

De acordo com as informações, o círculo é iniciado em um único centroide e, a cada novo centroide envolvido pelo círculo, é calculado o valor de λ, dado pela equação (1). Dentre os valores obtidos de λ, cada vez que o raio do círculo é aumentado, registra-se aquele que possui o maior valor. Em seguida, são realizadas simulações de Monte Carlo para cada centroide (MOURA, 2006).

Ao utilizar a metodologia, é necessário fazer uma restrição. A restrição está relacionada ao percentual da população sob risco, determinando que o raio de busca aumente até que contenha no máximo β% da população. Entretanto, não há na literatura uma padronização para este percentual, apenas a recomendação de que seja menor que 50% da população, devendo-se analisar vários percentuais e compará-los com os mapas de risco. Os mapas Scan espacial que melhor representem os mapas de risco serão os mais adequados para o estudo (SOUZA JÚNIOR, GUEDES, MESQUITA, 2010; LUCENA, MORAES, 2009). No presente artigo, considerou-se essa restrição aos níveis de 3%, 5% e 10% da população. Os mapas de Risco de Incidência Espacial (RIE) e do método Scan espacial foram gerados utilizando o software livre estatístico R, em sua versão 3.4.3, com os módulos shapefiles, maptools e DCluster, cujas funções são voltadas para a detecção de conglomerados espaciais (DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

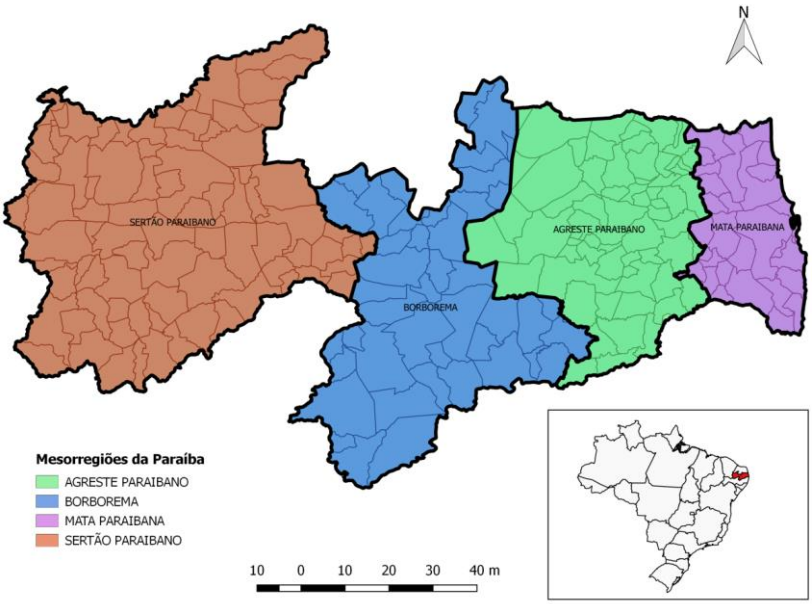
Ao longo dos anos observados foram registrados o total de 839 óbitos, sendo 48,3% no ano de 2016 e 47,3% em 2017. As vítimas do sexo masculino corresponderam a 49,6%, enquanto a população feminina representou 48,6%. Dentre as faixas etárias observadas, as com maior frequência do evento foram: 60-69 (25,6%), 70-79 (28,8%) e 80 ou mais (22,8%), salientando que não houve registros de óbitos nas faixas etárias menores de 15 anos. Com relação à raça/cor do indivíduo, foi observada que a população de cor/raça parda foi a mais acometida pelo evento (64,4%), em seguida as pessoas de cor/raça branca (31,8%).

Esses dados corroboram com outros estudos realizados no Brasil, a exemplo do estudo de Malta et al. (2016) que teve como objetivo descrever a tendência da mortalidade por câncer de pulmão corrigidas no Brasil e regiões, utilizando dados de óbitos por câncer de pulmão da população entre 30-69 anos, notificados ao Sistema de Informação sobre Mortalidade, entre os anos de 1996 e 2011. Ao final do processo de correção, o número de óbitos aumentou para ambos os sexos, tendo taxas mais elevadas para o sexo masculino. Porém, ao comparar a tendência de mortalidade nos anos pesquisados, observou-se uma redução para o sexo masculino e aumento da tendência para o sexo feminino. Uma das explicações relatadas pelos autores para essa variação na tendência da mortalidade estaria relacionada aos diferentes hábitos de vida ligados ao uso do tabaco adquiridos ao longo do tempo, principalmente pelas mulheres.

Do mesmo modo, Silva et al. (2008) em seu estudo intitulado "Diferenças de gênero na tendência de mortalidade por câncer de pulmão nas macrorregiões brasileiras" realizados com dados do Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM) do Ministério da Saúde, entre os anos de 1979 e 2003, encontraram um aumento da mortalidade por câncer de pulmão para ambos os sexos, 29% entre o sexo masculino e 86% entre o feminino. Assim, verifica-se também nesse estudo o aumento da tendência para a mortalidade entre as mulheres.

Incialmente realizou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk (1965) para verificar a hipótese nula de normalidade para os dados. O p-valor obtido foi < 0,05, dessa forma, rejeitamos a hipótese nula de normalidade para os dados de neoplasia pulmonar, viabilizando, dessa forma, o uso do método Scan Espacial.

Figura 1 - Mapa das mesorregiões do Estado da Paraíba.



Fonte: Elaboração Própria (2018)

O mapa de Risco de Incidência Espacial (RIE) para o ano de 2016 (FIGURA 2) demonstra que os pontos de maior incidência foram apontados em municípios localizados no Oeste do estado (mesorregião do sertão), a exemplo dos municípios de Cajazeiras, São José de Piranhas e Catolé do Rocha. Além da mesorregião do sertão, observa-se ainda que os municípios de Monteiro e São João do Tigre, localizados ao Sul do estado, também apresentaram risco de incidência elevado (2 ou mais). Na mesorregião do agreste, os municípios de Campina Grande, Queimadas e Fagundes apresentaram elevado risco de incidência (localizados ao Centro-Sul do estado). Com relação ao mapa do RIE para o ano de 2017 (FIGURA 3), é possível visualizar que houve redução do risco de incidência em alguns municípios das

mesorregiões da mata paraibana e agreste, entretanto, observa-se a ocorrência do evento em outros municípios, em relação ao ano anterior. Além disso, nota-se o aumento acentuado do risco de incidência na mesorregião do sertão paraibano.

Com relação ao método Scan espacial, os conglomerados identificados serão ilustrados através dos mapas (FIGURAS 4 e 5), nos quais os pontos em vermelho representam os centroides significativos (p-valor < $\alpha = 0,05$). Para a construção dos mapas foram consideradas a restrição de 3%, 5% e 10% da população, no entanto, os mapas que melhor se enquadraram aos mapas de risco de incidência foram os de 3% da população. Segundo Lucena e Moraes (2009), não existe uma padronização perfeita para o percentual da população a ser utilizado nos mapas de varredura Scan, sendo preciso, dessa forma, a realização de várias comparações a fim de encontrar o percentual populacional que mais se adeque ao estudo. Para o ano de 2016 (FIGURA 4), os conglomerados identificados pelo método Scan predominaram na mesorregião do Sertão, que foram os conglomerados espaciais significativos com risco levado. Além disso, também tiveram alguns municípios ao Sul do estado com conglomerados significativos.

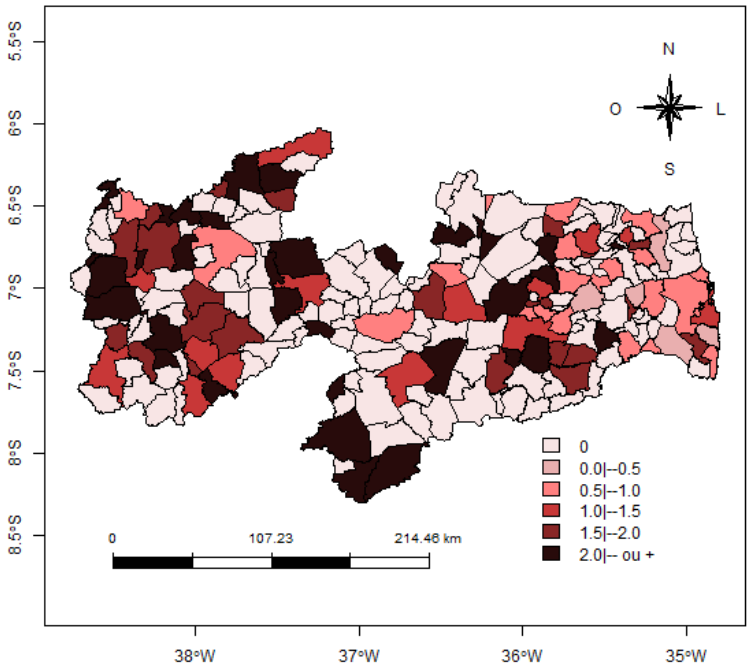
Quanto aos resultados para o ano de 2017 (FIGURA 5), é possível observar que os conglomerados significativos foram apontados, de modo geral, nos municípios pertencentes à mesorregião do sertão. Além desses, também foram identificados conglomerados no agreste paraibano (Campina Grande) e mata paraibana (João Pessoa e Conde). De modo geral, nota-se que os mapas obtidos através do método Scan espacial apontaram conglomerados significativos que coincidiram com os resultados ilustrados pelos mapas de risco de incidência.

Conforme os resultados, através do método Scan verificou-se que a maior parte dos conglomerados significativos estão localizados na mesorregião do sertão. Um estudo divulgado pelo Observatório de Oncologia do Brasil (2018) realizou um levantamento, através de dados secundários, no qual verificou que o câncer é a principal causa de morte no Brasil em 516 (10%) dos municípios. De acordo com análise dos dados, na Paraíba, para o ano de 2015, 27,3% (115) dos casos de óbitos por câncer de pulmão ocorreram em municípios localizados na região do sertão paraibano.

Ao observar os estudos realizados no Brasil, como os realizados por Malta et al. (2016) e Silva et al. (2008), e os estudos realizados em outros países, como o de Levi et al. (2004) e Fu (2005), os resultados encontrados no presente estudo, quanto à alta mortalidade por câncer de pulmão e à sua distribuição por sexo, corrobora com os demais, o que aponta para a necessidade da realização de um trabalho de base a ser realizado com a população feminina, sem esquecer, de reforçar o trabalho já realizado com os homens.

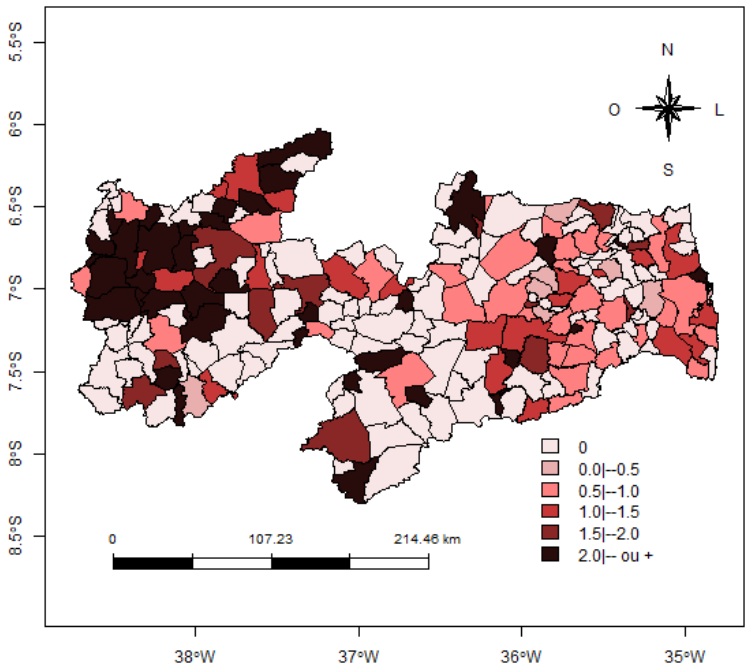
Parece haver consenso entre os estudos que o tabaco é o principal agente causador do câncer de pulmão. Dessa maneira, preocupado com o impacto gerado pelas doenças crônicas não transmissíveis o Ministério da Saúde implementou políticas públicas para o enfrentamento dessas doenças. O Brasil se comprometeu a reduzir as taxas de mortalidade através do Plano de Ações Estratégicas para o Enfrentamento das Doenças Crônicas Não Transmissíveis (2011 a 2022), entre as quais se destaca o enfrentamento ao tabagismo, utilizando-se de ações como a proibição da propaganda de cigarros e advertindo sobre o risco de problemas na embalagem da mercadoria. Tais ações se unem às atividades educativas, preventivas e de promoção da saúde, para que o objetivo proposto pelo Ministério da Saúde seja alcançado (MALTA; MORAIS NETO; SILVA JUNIOR, 2011).

Figura 2 - Mapa de Risco de Incidência Espacial de óbitos por neoplasia pulmonar, Paraíba, Brasil, 2016.



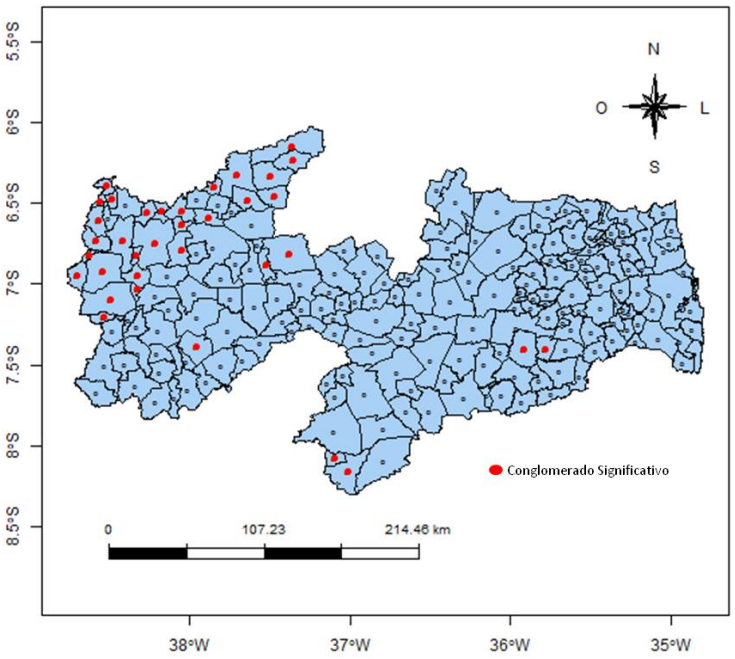
Fonte: Elaboração Própria (2018)

Figura 3 - Mapa de Risco de Incidência Espacial de óbitos por neoplasia pulmonar, Paraíba, Brasil, 2017.



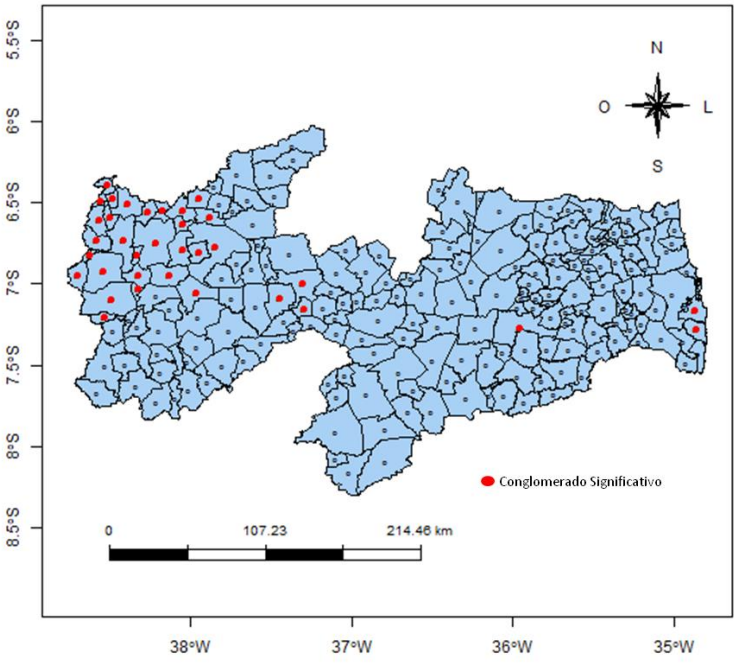
Fonte: Elaboração Própria (2018)

Figura 4 - Mapa Scan espacial dos óbitos por neoplasia pulmonar, Paraíba, Brasil, 2016. Nível de significância: 5%, não superando 3% da população).



Fonte: Elaboração Própria (2018)

Figura 5 - Mapa Scan espacial dos óbitos por neoplasia pulmonar, Paraíba, Brasil, 2017. Nível de significância: 5%, não superando 3% da população).



Fonte: Elaboração Própria (2018)

5 CONCLUSÃO

O presente estudo teve por objetivo identificar conglomerados espaciais referentes à ocorrência de óbito por câncer de pulmão no estado da Paraíba. A análise através do método Scan espacial possibilitou a visualização de conglomerados significativos, que auxiliam no conhecimento do problema em estudo. As informações geradas pela análise espacial têm o potencial de identificar quais áreas são consideradas como prioritária para intervenções através de planos de ações estratégicas para a redução da mortalidade por câncer de pulmão, seja ao nível da prevenção de agravos

e promoção da saúde quanto ao nível do diagnóstico da doença o mais cedo possível, contribuindo assim, para a adoção de medidas mais acertadas em relação ao problema posto.

Em resumo, verificou-se que municípios com alto risco de incidência e que formaram conglomerados espaciais significativos, encontram-se predominantemente na mesorregião do sertão da Paraíba, além de pontos no agreste e mata paraibana. Nos dois anos de análise foi possível verificar que os maiores riscos de incidência ocorreram em municípios do sertão, o que ficou evidente também através dos mapas obtidos pelo método Scan, destacando-os como pontos significativos em relação a outras áreas do território paraibano. Dessa maneira, tal análise subsidia o direcionamento de políticas públicas na área de saúde e apresenta-se como mais uma ferramenta para auxiliar no monitoramento e avaliação da situação de saúde dos territórios.

REFERÊNCIAS

BALIEIRO, A. S. S. **Detecção de conglomerados dos alertas de desmatamentos no Estado do Amazonas usando estatística de varredura espaço-temporal. Dissertação (Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria)**. Programa de Pós-Graduação em Estatística Aplicada e Biometria, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

BRASIL. Instituto Nacional do Câncer. **Câncer- o que é o Câncer?** Rio de Janeiro, RJ, 2012. Disponível em: http://www.inca.gov.br/conteudo_view.asp?id=322 . Acesso em: 27 abril. 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Departamento de Informática do SUS. **Sistema de informações sobre mortalidade.** Brasília, DF, 2017. Disponível em: http://www.datasus.gov.br. . Acesso em: 26 de abril 2018.

DEVELOPMENT CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: http://www.R-project.org/. . Acesso em: 25 de janeiro de 2012.

FERLAY, J. et al.GLOBOCAN 2012 v1.0, **cancer incidence and mortality worldwide**. Lyon, France: IARC, 2013. (IARC CancerBase, 11). Disponível em: http://globocan.iarc.fr. . Acesso em: 27 de abril. 2018.

FERNANDEZ A, JATENE FB, ZAMBONI M. **Diagnóstico e estadiamento do câncer de pulmão.** J Bras Pneumol. 2002;28(4):219-228. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/jpneu/v28n4/12966.pdf>. Acesso em 01 de maio 2018.

FU, J. B.; KAU, T. Y.; SEVERSON, R. K.; KALEMKERIAN, G. P. **Lung cancer in women: analysis of the national surveillance, epidemiology, and end results database.** Chest. 2005;127(3):768-77.

GBD 2015. **Mortality and Causes of Death Collaborators. Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015**. Lancet. 2016;388(10053):1459-1544.

GÓMEZ-RUBIO, V.; FERRÁNDIZ-FERRAGUD, J.; LÓPEZ, A. **Detecting clusters of disease with R. Journal of Geographical Systems**, v. 7, n. 2, p. 189-206, 2005.

HOLMES, D. C. S. C; MORAES, R. M.; VIANNA, R. P. T. **Análise espacial e temporal de óbitos por acidentes de trânsito na cidade de João Pessoa.** In: Anais do XX Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística (SINAPE), 2012. [CD-ROM].

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **Tipos de câncer.** Rio de Janeiro, 2017b. Disponível em: http://www2.inca.gov.br/wps/wcm/connect/tiposdecancer/site/home. Acesso em: 26 abril. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. Coordenação de Prevenção e Vigilância. **Estimativa 2018: incidência de câncer no Brasil / Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. Coordenação de Prevenção e Vigilância.** – Rio de Janeiro: INCA, 2017. Disponível em: http://www1.inca.gov.br/estimativa/2018/estimativa-2018.pdf. . Acesso em 01 maio 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeção da população do Brasil e Unidades da Federação por sexo e idade para o período 2000-2030.** Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2016/estimativa_dou.shtm. . Acesso em: 26 abril 2018.

KULLDORFF, M. **A spatial scan statistics. Communications in Statistics - Theory and Methods**, v. 26. p. 1481-1496, 1997.

LEVI, F.; LUCCHINI, F. NEGRI, E.; ZATONSKI, W.; BOYLE, P. LA VECCHIA, C. **Trends in cancer mortality in the European Union and accession countries.** Ann Oncol. 2004;15(9):1425-31.

LUCENA, S. E. F.; MORAES, R. M. **Análise do desempenho dos métodos Scan e Besag e Newell para identificação de conglomerados espaciais do Dengue no município de João Pessoa entre os meses de janeiro de 2004 e dezembro de 2005**. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v.15, n.4, p.544-561, 2009.

MALTA, D. C.; ABREU, D. M. X.; MOURA, L. LANA, G. C.; AZEVEDO, G.; FRANÇA, E. **Tendência das taxas de mortalidade de câncer de pulmão corrigidas no Brasil e regiões**. Revista de Saúde Pública. 2016; 50:33.

MALTA, D. C.; MORAIS NETO, O. L.; SILVA JUNIOR, J. B. **Apresentação do plano de ações estratégicas para o enfrentamento das doenças crônicas não transmissíveis no Brasil, 2011 a 2022**. Epidemiol Serv Saude. 2011;20(4):425-38.

MEDRONHO, R. A. et al. **Epidemiologia**. São Paulo: Atheneu, 2009.

MOREIRA, J. S.; GEYER, G. R.; HOCHHEGGER, B.; CAMARGO, J. J. **Câncer de pulmão**. In: SILVA, Luiz Carlos Corrêa da. Pneumologia: Princípios e Práticas. Porto Alegre: Artmed, 2012.

MOURA, F.R. **Detecção de clusters espaciais via algoritmo scan multi-objetivo. 2006**. Dissertação (Mestrado em Estatística) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

NEIL, D. B., MOORE, A. W., SABHNANI, M. **Detecting elongated disease clusters, Morbidity and mortality weekly report.**, v. 54, 2005, p.197.

OBSERVATÓRIO DE ONCOLOGIA [Internet]. **Câncer como a primeira causa de morte nos municípios brasileiros.** São Paulo, 2018. Disponível em: <https://observatoriodeoncologia.com.br/cancer-como-a-primeira-causa-de-morte-nos-municipios-brasileiros-em-2015/ >[acessado 15 de agosto de 2018].

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A **language and enviroment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.** Disponível em: http://www.Rproject.org/. . Acesso: 5 abril 2007.

ROSKOSKI, R. **Anaplastic lymphoma kinase (ALK) inhibitors in the treatment of ALK-driven lung cancers. Pharmacological Research**, v.117, p. 343-356, 2016.

SANCHES, O. **Princípios básicos de procedimentos estatísticos aplicados na análise de dados de vigilância em saúde pública: uma revisão**. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 16, n. 2, p. 317-333, abr-jun 2000.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. (1965). **An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika.** V. 52, n. 3/4, p. 591–611.

SILVA, G. A.; NORONHA, C. P.; SANTOS, M. O.; OLIVEIRA, J. F. P. **Diferenças de gênero na tendência de mortalidade por câncer de pulmão nas macrorregiões brasileiras**. Rev Bras Epidemiol. 2008;11(3):411-9.

SOUZA JÚNIOR, G. L.; GUEDES, W. C.; MESQUITA, D. S. **A malária no Amazonas na primeira década do século XXI. Uma análise puramente espacial.** In: Anais do XIX Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística (SINAPE), 2010. [CD-ROM].

AQUISIÇÃO MANUAL DA CATEGORIA HIDROGRAFIA COM BASE EM PRODUTOS DO PE3D

VANESSA NUNES DE LIMA[1]
MARCELLA FERNANDES DE OLIVEIRA MELO[1]
LIGIA ALBUQUERQUE DE ALCÂNTARA[1]
LEANDRO LUIZ SILVA DE FRANÇA[2]
JOEL BORGES DOS PASSOS[2]

[1]Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
vanessanunes275@gmail.com, marcella_0402@hotmail.com, ligiaalcantara.ufpe@gmail.com

[2]Diretoria de Serviços Geográfico do Exército – DSG
3º Centro de Geoinformação – 3º CGEO
Avenida Joaquim Nabuco, nº 1787 – Guadalupe – CEP: 53.240-650 – Olinda – PE
joel.passos@eb.mil.br, franca.leandro@eb.mil.br

RESUMO - O mapeamento realizado por varredura a laser do terreno, utilizando a tecnologia LIDAR e recobrimento aerofotogramétrico, que permitiram obter produtos como Modelo Digital de Elevação (MDE), Modelo Digital do terreno (MDT) e ortoimagem do Programa Pernambuco Tridimensional são utilizados como insumos para aquisição da categoria *Hidrografia* da ET-EDGV. A aquisição das feições da hidrografia pode ser feita por vetorização automática, semiautomática e manual. Nesse artigo é apresentado o método de vetorização manual, mostrando as regras de aquisição de acordo com as dimensões geométricas estabelecidas de acordo com a escala, bem como os parâmetros utilizados para obter vetores com qualidade prevista pelas especificações. Portanto, com os resultados obtidos foi possível mostrar a aplicação do uso dos dados do PE3D através de métodos de aquisição manual, considerado o mais eficiente, visto que não é necessário qualquer tipo de edição posterior à vetorização quando feita dentro dos padrões estabelecidos nas normas em vigor.

ABSTRACT - The laser mapping of the terrain, using LIDAR technology and aerofotogrammetric recovery, which allowed to obtain products such as Digital Elevation Model (DEM), Digital Terrain Model (DTM) and Orthoimaging of the Pernambuco Three-Dimensional Program are used as inputs for acquisition of the ET-EDGV Hydrography category. The acquisition of hydrograph features can be made by automatic, semi-automatic and manual vectorization. In this article the manual vectorization method is presented, showing the acquisition rules according to the geometric dimensions established according to the scale, as well as the parameters used to obtain vectors with quality provided by the specifications. Therefore, with the results obtained, it was possible to show the application of the uses of PE3D data through manual acquisition methods, considered the most efficient, since no editing after vectorization is necessary when done within the standards established in the norms in force.

1 INTRODUÇÃO

O Projeto de mapeamento de todo território pernambucano, o Pernambuco Tridimensional (PE3D), nasceu pela necessidade de mapear algumas áreas do estado após a enchente que atingiu os municípios da Mata Sul do estado, nos anos de 2010 e 2011. O mapeamento foi realizado por varredura a laser do terreno, utilizando a tecnologia LIDAR[1] e recobrimento aerofotogramétrico, que permitiram obter resultados rápidos e informações de qualidade, e com isso gerar sistemas de monitoramento e prevenção contra enchentes, além de dar suporte para projetos de engenharia como a construção de barragens e ampliação da calha dos rios (CIRILO, 2014). Posteriormente o PE3D ampliou a área de

[1] O sistema LIDAR (*Light Detection and Ranging*) é uma tecnologia que permite a obtenção de informações tridimensionais acerca da superfície terrestre com alta precisão (POPESCU, 2002).

levantamento para todo o estado de Pernambuco, gerando uma base de dados espaciais para apoiar ações de gestão territorial.

Todo o Estado foi mapeado e possui dados de Modelo Digital de Elevação (MDE), Modelo Digital do Terreno (MDT) e Ortoimagem. Esses dados são insumos para elaboração e atualização de outros produtos cartográficos, como o banco de dados geoespaciais e carta topográfica.

Para elaboração da carta topográfica os dados do PE3D são utilizados como insumo base para aquisição de informações tanto altimétrica, usando o MDE e MDT, quanto planimétrica com a utilização da ortoimagem.

Um dos processos de produção cartográfica para aquisição dessas informações é a Vetorização, que consiste na etapa de aquisição vetorial das feições do terreno sobre a ortoimagem ou MDT realizando o processo de aquisição conforme previsto na Especificações Técnicas para Aquisição de Dados Geoespacias Vetoriais (ET-ADGV) e estruturados em banco de dados conforme a modelagem prevista na Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespacias Vetoriais (ET-EDGV). Essa fase possibilita realizar três tipos de vetorização: manual, semiautomática e automática.

De acordo com DSG (2017), na primeira etapa da fase de vetorização é adquirido elementos da hidrografia juntamente com a altimetria, pois os vetores destas categorias servem como referência para a aquisição das feições da planimetria.

Nesse contexto este artigo apresenta uma das aplicações usando insumos fornecidos pelo PE3D no processo de elaboração ou atualização de cartas topográficas. Dentro desse processo será explicado o método de aquisição manual da categoria hidrografia.

Apesar da produção cartográfica ganhar várias ferramentas que contribuem grandemente para o aperfeiçoamento de técnicas para produzir produtos geoespaciais o método de aquisição manual foi utilizado por ser parte de uns dos métodos estudados pelo Projeto de Extensão da UFPE com tema Extração e Processamento de Dados.

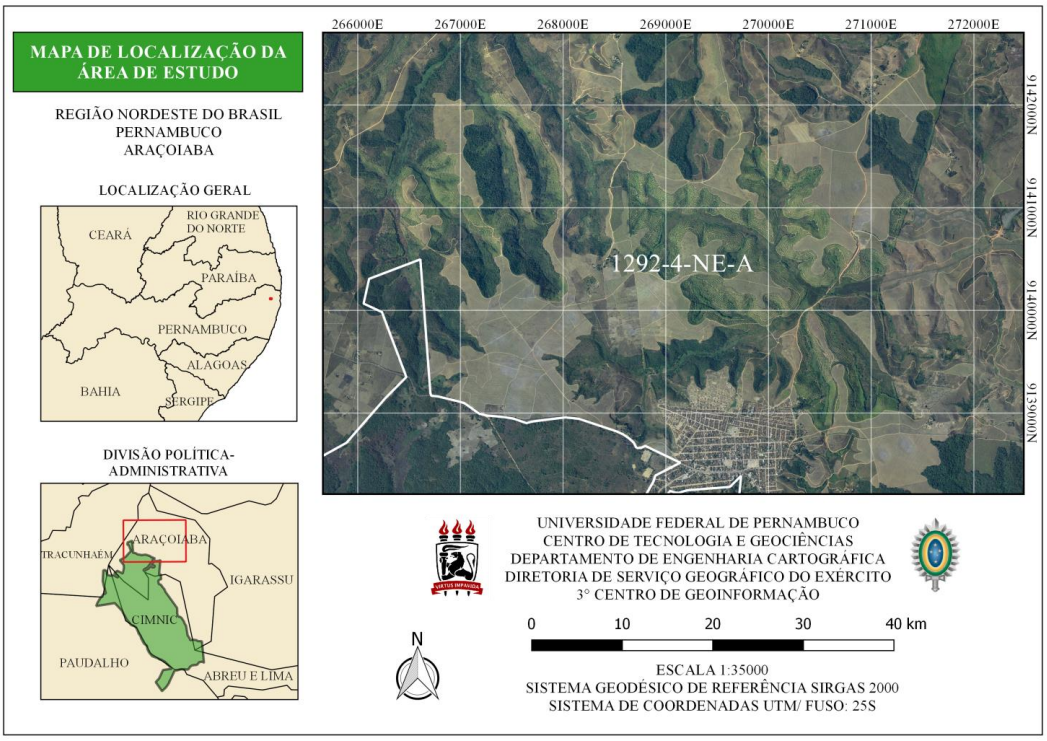
Portanto esse artigo tem como objetivo principal apresentar os passos necessários para a etapa de aquisição manual da categoria hidrografia em tela a partir dos insumos disponibilizados pelo Projeto Pernambuco Tridimensional e contribuir com a disseminação de metodologias que auxiliem a atualização ou elaboração produtos cartográficos.

2 METODOLOGIA

2.1 Delimitação da área de estudo

A área de estudo compreende a folha de Mapa Índice (MI): 1292-4-NE-A, escala de 1:10.000, abrangendo uma parte o Campo de Instrução Marechal Newton Cavalcante (CIMNC), localizada no município de Araçoiaba (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: autores.

Essa área foi objeto do Projeto de Mapeamento de Áreas de Interesse da Força Terrestre definido pela DSG através do Plano Interno de Trabalho no ano de 2016. Portanto, esse trabalho irá contribuir para atualização da hidrografia e curva de nível na base cartográfica existente desta área, conforme Relatório elaborado pelo 3° CGEO com Proposta de Atualização da Base Cartográfica do CIMNC.

2.2 Softwares e especificações

Para a execução dos trabalhos de aquisição foram usados os softwares QGIS versão 2.18 e *PostgreSQL* com sua extensão espacial *PostGIS*.

As especificações e materiais técnicos foram: a Especificações Técnicas para Aquisição de Dados Geoespacias Vetoriais (ET-ADGV 2.1.3), a Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespacias Vetoriais (ET-EDGV 2.1.3), Especificação Técnica para Produto de Conjunto de Dados Geoespaciais (ET-PCDG), a Metodologia de Reambulação 2ª versão, a Metodologia de Vetorização de Produtos Matriciais do Conjunto de Dados Geoespaciais 1ª versão e Metodologia de Aquisição de Dados Geoespaciais em Imagens Ortorretificadas por Digitalização em Tela.

2.3 Insumos cartográficos

Os insumos utilizados para a aquisição manual da hidrografia foram: MDT, Ortoimagens, curvas de nível, e a carta topográfica existente da região.

2.3.1 Modelo Digital do Terreno (MDT)

O MDT é um produto cartográfico obtido a partir de um modelo continuo expresso por meio de uma função matemática suave, ou seja, um modelo digital, que faz a representação do solo exposto, a partir de dados estruturados e amostrados da superfície física da Terra (DSG, 2016). Nele é possível visualizar o fundo de vale e fazer a vetorização da rede de drenagem.

Para o presente trabalho foi feito o mosaico (Figura 2) dos modelos digitais do terreno: MDT-SB-25-Y-C-V-4-NE-A-I, MDT-SB-25-Y-C-V-4-NE-A-II, MDT-SB-25-Y-C-V-4-NE-A-III, MDT-SB-25-Y-C-V-4-NE-A-IV, que correspondem à área de estudo na escala de 1:10.000 de índice de nomenclatura 1292-4-NE-A.

Figura 2- Mosaico dos modelos digitais do terreno da área de estudo (MI 1292-4-NE-A).

Fonte: autores.

2.3.2 Ortoimagens

Segundo a DSG (2016), a Ortoimagem é um produto cartográfico formado a partir de uma imagem ou da composição, combinação, união ou fusão de várias imagens ortorretificadas, com as qualidades pictóricas das imagens originais e a geometria ortogonal derivada de uma projeção cartográfica. Essas ortoimagens são utilizadas como fonte de informação auxiliar a fim de facilitar a identificação de linhas de drenagem.

2.3.3 Cartas topográficas

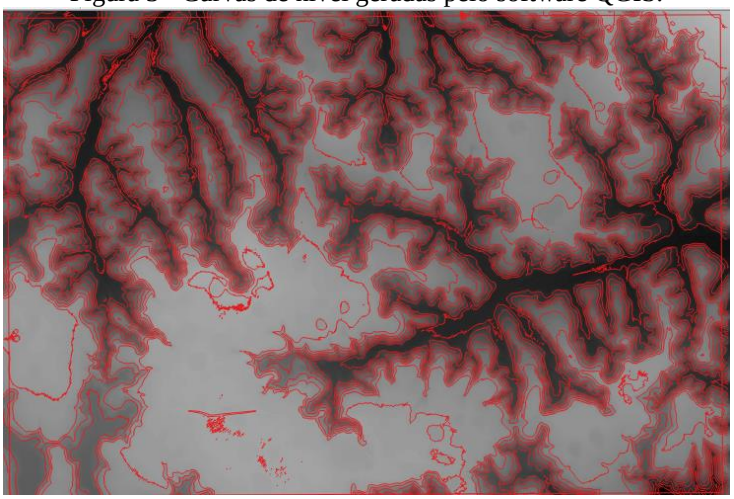
A Carta Topográfica é um produto cartográfico que faz a representação dos acidentes naturais e artificiais da superfície terrestre apresentando suas posições planimétricas e altimétricas, em escala e de forma mensurável e de âmbito municipal (DSG, 2016).

Para o presente trabalho, foi utilizada a carta de índice de nomenclatura: SB-25-Y-C-V-4-NE-A (MI 1292-4-NE). Essa carta foi utilizada como fonte de insumo para os topônimos existente na região, bem como para preencher o atributo "regime" que posteriormente podem ser confirmados em campo.

2.3.4 Curvas de nível

As curvas de nível utilizadas como insumo foram obtidas de forma automática no software QGIS. Assim, foram geradas as curvas de nível da área de estudo com espaçamento de 10 m a partir do mosaico do MDT obtido (Figura 3). Portanto, as curvas de nível auxiliam na visualização das características altimétricas do terreno, garantindo que a rede de drenagem seja adquirida em conformidade com relevo da região.

Figura 3 - Curvas de nível geradas pelo software QGIS.



Fonte: autores.

2.4 Processo de Aquisição Manual

2.4.1 Hidrografia

Categoria que representa o conjunto das águas interiores e oceânicas da superfície terrestre, bem como elementos, naturais ou artificiais, emersos ou submersos, contidos nesse ambiente (DSG, 2017).

Os objetos da categoria hidrografia existente na área de trabalho são adquiridos num banco de dados geoespaciais seguindo a estruturação de dados prevista pela ET-EDGV. Neste trabalho foram adquiridos elementos das classes *trecho drenagem, trecho massa d'agua, massa d'agua* e *barragem*.

De acordo com a ET-EDGV, *Trecho Massa D`Água*, são segmentos de cursos d'água representados por polígonos, que possuem fluxo d'água, enquanto *Massa D`Água*, são corpos d'água representados por polígonos, tais como oceano, baías, enseadas, meandros abandonados, lagos, lagoas, e os açudes que não possuam fluxo d'água (BRASIL, 2010). Já *trecho drenagem*, corresponde a um corpo d'água, cuja geometria do tipo linha representa o fluxo d'água, permanente ou temporário, contido ou coincidente com um trecho de massa d'água capturado como linha, em função da escala de aquisição, e *barragem* estrutura construída transversalmente a um curso d'água ou a um talvegue, com o objetivo de deter o fluxo da água parcialmente para acumular água ou elevar o seu nível (BRASIL, 2010).

A vetorização dessas classes é realizada, com base nos parâmetros relacionados às dimensões geométricas das feições e no *zoom* para percepção visual da escala de trabalho na tela de aquisição.

2.4.2 Aquisição: Quanto a Escala de trabalho

Antes do processo de vetorização é necessária a definição da escala de trabalho, ou seja, em qual escala deverá estar travada a visualização dos insumos no programa SIG utilizado, para realizar a vetorização conforme a escala final do produto. Neste trabalho as feições de hidrografia são adquiridas com densidade de objetos compatíveis com a escala

1:10.000, dessa forma as feições adquiridas nessa escala podem passar por processo de generalização para elaboração de produtos em escalas menores.

Segundo a DSG (2017), a escala de trabalho é aquela necessária para uma melhor definição dos atributos a serem digitalizados, e que melhor define o traçado das feições para aquisição dos dados geoespaciais. O parâmetro utilizado para esse trabalho está especificado na Tabela 1.

Tabela 1 – Escala de trabalho para percepção visual para a escala de 1:10.000.

ESCALA	**ESCALA DE TRABALHO**
1:10.000	1:800

Fonte: DSG (2017), adaptado.

2.4.3 Aquisição: Quanto à Dimensão geométrica das feições

Para a aquisição de qualquer tipo de geometria de dados geoespaciais é necessário seguir os padrões estabelecidos na ET-ADGV. Esta especificação técnica define o modo de aquisição das geometrias, padronizando e orientando essa etapa do mapeamento topográfico, com o objetivo de garantir a homogeneização da produção dos dados geoespaciais independente do insumo utilizado (BRASIL, 2011).

Portanto, foram seguidas as regras de aquisição de cada classe determinada na ET-ADGV, nas Metodologias de Aquisição de Dados Geoespaciais e de Reambulação da DSG para hidrografia (Tabela 2). Esses parâmetros visa adquirir somente as feições que serão visíveis na escala do trabalho, e assim evitar que sejam adquiridos objetos muito pequenos que irão ser obrigatoriamente eliminados no processo de generalização cartográfica (DSG, 2017).

Tabela 2 - Dimensões geométricas das feições

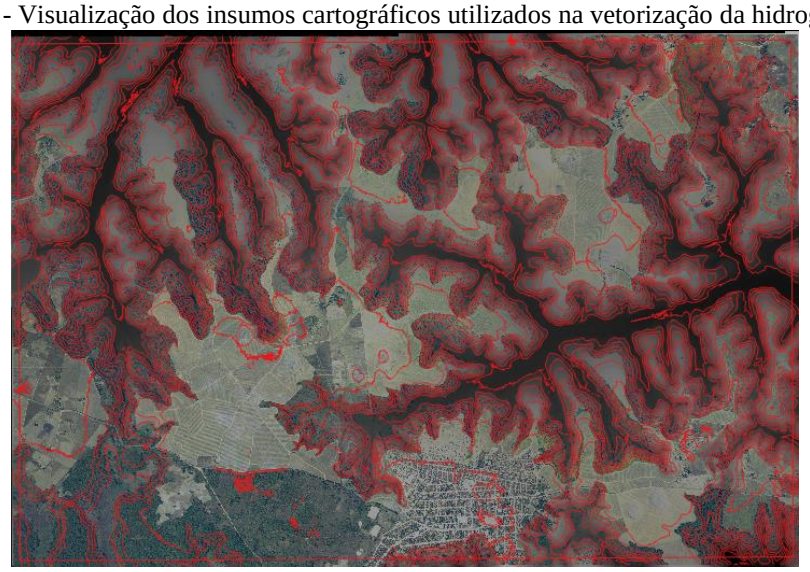
CLASSES DA ET-ADGV	**PRIMITIVAS GEOMÉTRICAS P=PONTO, L=LINHA, POL=POLÍGONO AQUISIÇÕES E OBSERVAÇÕES**	**ESCALA 1:10.000**
Massa_Dagua	**Pol** →Área ≥ 4 mm² **Pol** →Área < 4 mm², para massa d'água com toponímia. Obs.: todos com largura mínima de 0,8mm	8 m 1.000m²
Trecho_Massa_Dagua	**Pol** →Largura > 0,8 mm, para Rio ou Canal **Pol** →Área < 2 x 2 mm, para Represa/Açude ou Laguna	8 m 1.000m²
Trecho _Drenagem	**L** →Adquirir todos com Comprimento ≥ 2 cm **L** → Comprimentos < 2 cm que possuam nome próprio ou obra de arte	200m
Barragem	**Pol** → Largura > 1mm **L** → Largura ou Comprimento > 0,8mm	10m 8m

Fonte: DSG (2013), adaptado.

2.4.4 Vetorização

Para aquisição dos elementos de hidrografia é preciso analisar o valor do pixel de menor altitude presente na imagem de MDT e tem de se ter em consideração as dimensões geométricas (Tabela 2) os seus atributos e as regras estabelecidas nas metodologias da DSG com base na lei dos modelados. A Figura 4 mostra os insumos cartográficos utilizados para esse processo, para melhor visualização foi feita a sobreposição das camadas de forma a obter o auxílio das curvas de nível e da ortoimagem juntamente com os pixels mais escuros (menor altitude) do MDT.

Figura4 - Visualização dos insumos cartográficos utilizados na vetorização da hidrografia.



Fonte: autores.

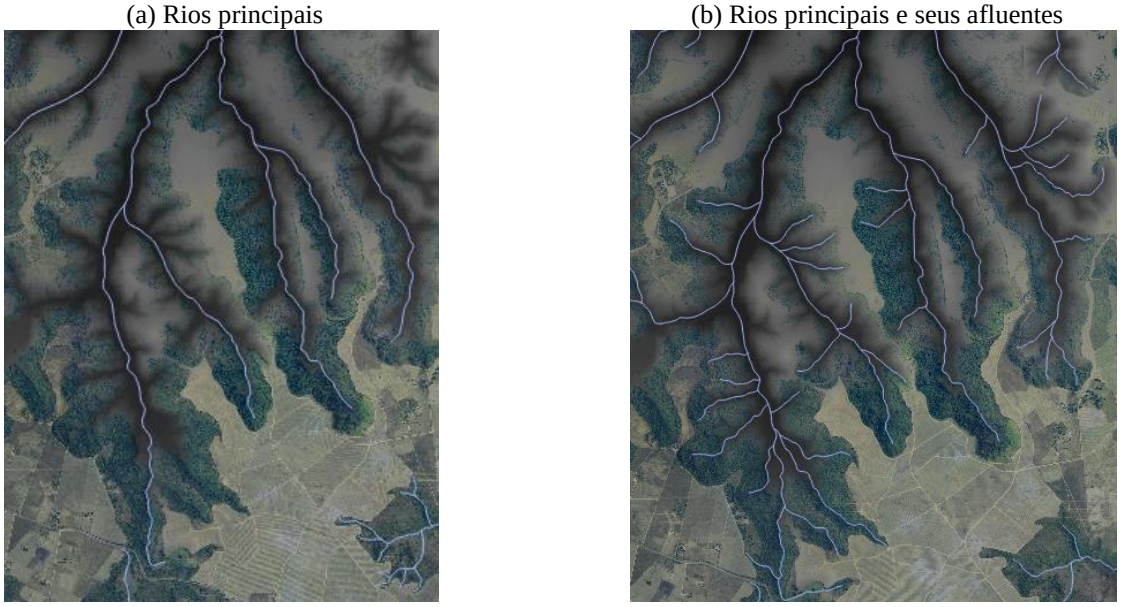
As regras estabelecidas nas metodologias orienta que a vetorização dos trechos de drenagem deverá ocorrer sempre no sentido do fluxo d'água, portanto, de montante para jusante, pois desta forma a topologia do objeto representa o sentido correto do fluxo d'água. Caso seja vetorizado de jusante para a montante, recomenda-se que ao final da aquisição use ferramentas para fazer a inversão do sentido do vetor.

Outra orientação é começar a vetorização pelos rios de margem dupla (*trechos massa d'água*), porém para essa área de estudo não teve feições dessa classe. Em seguida vetoriza-se os rios principais e depois os afluentes.

Para vetorizar os rios principais (Figura 5a) é preciso primeiramente visualizar o fundo de vale pelos pixels que se apresentam mais escuro, e pelas curvas de nível identificar o caminhamento do rio, para ratificar foi utilizada a carta topográfica como auxílio. Para isso também foi primordial conhecer as leis do modelado terrestre. Após a aquisição dos rios principais aplica o mesmo procedimento nos afluentes, que são vetorizados a partir dos rios principais já traçados (Figura 5b).

Figura 5 – Vetorização dos rios principais e seus afluentes.

(a) Rios principais (b) Rios principais e seus afluentes



Fonte: autores.

Nessa etapa a consideração das dimensões geométricas define em qual primitiva geométrica a feição pode ser representada. Por exemplo, para a escala desse trabalho o comprimento mínimo para um curso d'água ser representado como *trecho drenagem* é de 200 metros e a sua largura tem de ser inferior a 8 metros.

Esses *trechos de drenagem*, quando se alteram os atributos num espaço superior a 200m, devem ser segmentados. Por exemplo, linha de água seca, temporária ou permanente; ou alteração no seu nome. Também são segmentados *trecho de drenagem* quando atravessar barragem, corredeira ou queda d'água.

No caso de um trecho de drenagem ser seccionado pelo limite (margem) de um trecho de massa d'água, seus atributos poderão sofrer alterações, mas o nome permanece o mesmo.

As regras utilizadas nessa fase são estabelecidas pela ET-ADGV, que é utilizada para regular e padronizar a aquisição da geometria dos dados geoespaciais vetoriais e atributos correlacionados. A Figura 6 mostra um exemplo de uma das regras para aquisição da classe *trecho de drenagem.*

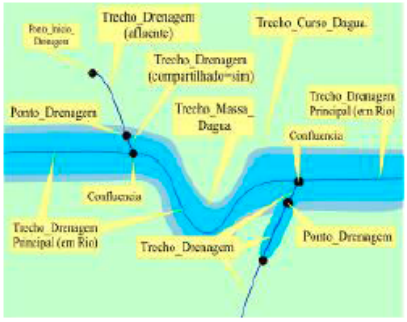
Figura 6 – Extrato das regras de construção de trechos de drenagem na ET-ADGV.

Classe	Código	Primitiva_geométrica
Trecho_Drenagem	**1.07**	———

Regra de construção:

Um objeto da classe **Trecho_Drenagem**, relativo a um afluente, quando encontrar um objeto da classe **Trecho_Massa_Dagua**, deverá ser finalizado no objeto da classe **Limite_Massa_Dagua**, onde será gerado um ponto (objeto da classe **Ponto_Drenagem**, **relacionado =** *"Entre trechos de drenagem"*). A partir deste ponto, será iniciada a geração de um novo objeto da classe **Trecho_ Drenagem**, que seguirá até o objeto da classe **Trecho_Drenagem** mais próximo daquele, finalizando, assim, com o objeto da classe **Confluencia**, seguindo o ângulo de entrada daquele trecho.

1) Um objeto da classe **Trecho_Drenagem** será gerado coincidindo com a calha principal do objeto da classe **Trecho_Curso_Dagua**, porém, como normalmente ela não é identificável, utilizar-se-á o eixo central em relação às margens para definí-lo, respeitando-se as Leis do Modelado;
2) A ocorrência, em um objeto da classe **Trecho_Massa_Dagua**, de uma curva acentuada em suas margens indica a maior velocidade da corrente junto à parte externa desta curva, portanto é natural que esta curva atraia o eixo que define o objeto da classe **Trecho_Drenagem**;
3) Deve-se observar que o trecho de drenagem de conexão entre o afluente e o principal recebe os valores de atributos do afluente, sendo o valor do atributo **compartilhado =** *"Sim"*, estando o mesmo agregado ao trecho de curso d'água do afluente.



Atributos:
geometriaAproximada = *"Sim"* (em princípio);
coincideComDentroDe = *"Lago"* ou *"Represa/Açude"* ou *"Laguna"* ou *"Rio"* ou *"Canal"*;
dentroDePoligono = *"Sim"*;
compartilhado= *"Sim"(vide item 3) acima)* ou *"Não" (vide item 2) acima)*;
eixo principal = *"Sim" ou "Não"*;
navegabilidade = *"Desconhecido" ou "Navegável"ou "Não navegável"*;
regime = *"Permanente"* ou *"Permanente com grande variação"* ou *"Temporário"* ou *"Temporário com leito permanente"* ou *"Seco"*.

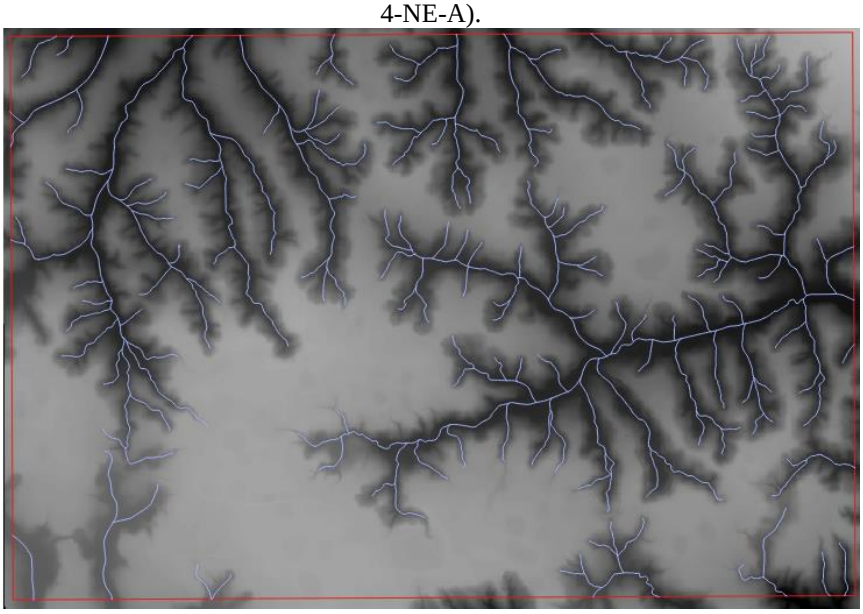
Fonte: Brasil, 2011.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A vetorização manual da rede de drenagem para a articulação SB-25-Y-4-NE-A foi feita no período de duas semanas, com três dias de trabalho em cada uma delas e com quatro horas de duração, totalizando um período de 24h de trabalho. Comparando esse tempo com o da aplicação de metodologias de aquisição automática, o mesmo torna-se oneroso, já que a extração de feições da categoria hidrografia pelo software SAGA GIS, por exemplo, é executada em poucos minutos. Porém, a extração automática a partir do MDT apresenta inconvenientes de maior gravidade com aquisições de linhas desnecessárias, inexistentes ou mesmo omissão de aquisições. Dessa forma, os resultados não são totalmente aproveitados e geram retrabalho de revisão e correção manual. É preciso eliminar os vetores que estão errados e traçá-los de forma correta, manualmente.

O resultado da vetorização manual é apresentado na Figura 7, na qual mostra toda a rede de drenagem da folha MI 1292-4-NE-A, com os rios principais e seus afluentes adquiridos conforme a Tabela 2, ou seja, somente os trechos de drenagem maiores ou iguais a 200m, onde-se é possível observar que não será necessária qualquer tipo de edição das feições vetorizadas, pois nesse caso já foi feita a aquisição na escala de zoom compatível com a escala do produto final.

Figura 7 – Resultado da rede de drenagem obtido pela metodologia de aquisição manual de hidrografia (Folha MI 1292-4-NE-A).



Fonte: autores.

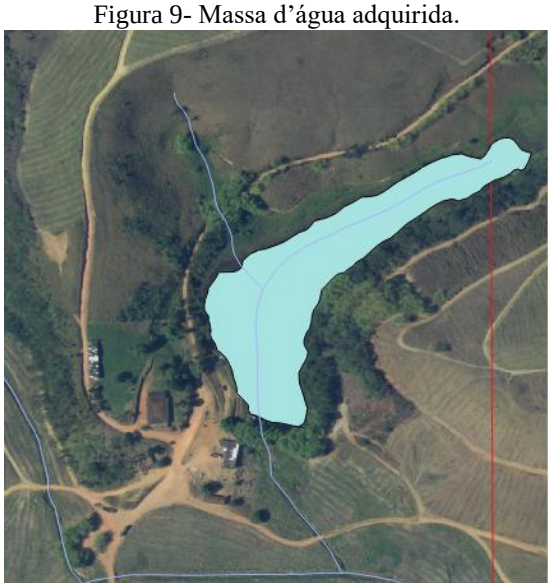
Na Figura 8 é possível verificar que os trechos de drenagem adquiridos com base nos pixels de menor valor altimétrico, classificados como os mais escuros através do MDT, seguindo a configuração das curvas de nível do terreno e verificando se estão de acordo com a ortoimagem da área mapeada, logo é possível confirmar a eficácia da vetorização manual no que se refere ao componente da qualidade "completude".

Figura 8 – Resultado de toda a rede hidrográfica (trecho de drenagem e massa d'água) de acordo com a ortoimagem.

Fonte: autores.

Neste trabalho foi feita a aquisição de única feição do tipo *trecho massa d'água* existente na área de estudo através da vetorização dos seus limites diretamente na ortoimagem, e o MDT só foi utilizado para confirmar que se tratava de uma área de valor altimétrico mais baixo. O resultado pode ser visto na Figura 9, assim como também os trechos de drenagem que foram traçados dos rios que chegam até ela e se prolonga após a interseção.

Figura 9- Massa d'água adquirida.



Fonte: autores.

Embora necessite passar ainda pela fase de validação, para verificação e eliminação de qualquer tipo de erro topológico, é possível afirmar que se trata de um processo eficiente, pois foi realizado dentro dos padrões estabelecidos nas especificações técnicas e garantindo a consistência geométrica com base na ortoimagem, MDT e a curva de nível.

4 CONCLUSÕES

Apesar de necessitar de um tempo considerável de vetorização, o método apresentado nesse artigo mostrou-se extremamente eficaz. A aquisição manual da hidrografia é um processo utilizado na atualização das cartas topográficas do mapeamento sistemático realizada pelo 3º Centro de Geoinformação do Exército, e é considerado o mais eficiente, visto que não é necessário qualquer tipo de edição posterior à vetorização quando feita dentro dos padrões estabelecidos nas normas vigentes, pois estas já garante o controle de qualidade do dado geoespacial adquirido. É importante ressaltar também que o tempo de aquisição varia com a habilidade do operador, podendo com a experiência ser realizada em menor tempo ao apresentado.

Os insumos utilizados no processo de obtenção de produtos cartográficos gerados a partir dos dados do Programa Pernambuco Tridimensional são disponibilizados por meio digital e de forma gratuita através de um repositório web (http://www.pe3d.pe.gov.br).

Os objetos de hidrografia adquiridos nesse processo são uns dos muitos objetos existentes no catálogo que deverá ser respeitado tendo em consideração as normas e regras previamente estabelecidas e adotadas para o efeito.

Esses objetos podem ser utilizados para constituir uma Base Cartográfica que forneça informações que representam o espaço geográfico e auxilia os órgãos governamentais na tomada de decisões em ações relacionadas às políticas públicas, incluindo os setores sociais, de educação, saúde, meio ambiente, transportes, infraestrutura, ciência e tecnologia, dentre outras.

Dessa forma esse trabalho também contribui para Atualização da Base Cartográfica do CIMNC que Segundo Borborema (2017) "a consolidação dessa base cartográfica possibilitará à Força Terrestre o pleno conhecimento do território em que está situado o campo de instrução, garantindo seus limites e resguardando a área contra possíveis invasões devido à expansão urbana dos municípios circunvizinhos, preservando deste modo a fauna e flora local", uma vez que as bases existentes encontram-se defasadas.

REFERÊNCIAS

BORBOREMA, A. C. B. de A. 2017. **Proposta de Atualização da Base Cartográfica do Campo de Instrução Marechal Newton Cavalcante (CIMNC)**. 3º Centro de Geoinformação do Exército, Olinda, PE.

CIRILO, J. A.; ALVES, F. H. B.; SILVA, B. M.; CAMPOS, P. H. A. L. **Pernambuco Tridimensional: Base de dados espaciais para o planejamento e gestão territorial.** 2014.

Diretoria de Serviço Geográfico - DSG. **Metodologia de Reambulação**, 2ª Ed., Brasília, 2013.

_____. **Metodologia de Vetorização de Produtos Matriciais do Conjunto de Dados Geoespaciais**, 1ª Ed., Brasília, 2012.

_____. **Metodologia de Aquisição de Dados Geoespaciais em Imagens Ortorretificadas por Digitalização em Tela**, 4ª Ed., Brasília, 2017.

_____. **Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais: ET-ADGV**. 2. ed. Brasília: DSG, 2010. Disponível em: <http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_ADGV_Vs_2_1_3.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2017.

_____. **Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais: ET-EDGV**. Brasília: DSG, 2010. Disponível em: <http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_EDGV_Vs_2_1_3.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2017.

_____. **Especificação Técnica para Produto de Conjunto de Dados Geoespaciais: ET-PCDG**. Brasília: DSG, 2016. Disponível em: <http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_PCDG_2016_2aEdicao_Aprovada_ Publicada_ BE_7_16.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2017.

POPESCU, S. C. **Estimating Plot-Level Forest Biophysical Parameters Using Small-Footprint Airbone Lidar Measurements. Blacksburg**, Virginia, 115f. Tese (Doutorado em Floresta) – Department of Foresty, Virginia Tech, 2002.

AS NORMAS DE REPRESENTAÇÃO DE DADOS GEOESPACIAIS NO CONTEXTO DA EVOLUÇÃO DA GEOINFORMAÇÃO

FERNANDO LOPES FREITAS [1]
RONALD ALEXANDRE MARTINS [2]
LINDA SORAYA ISSMAEL [3]
ANTONIO GAUDENCIO GUIMARÃES FILHO [4]

[1, 2, 3] Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG) – Brasil
[4] 2º Centro de Geoinformação (2º CGEO) - Brasil

Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG)
2º Centro de Geoinformação (2º CGEO)
fernandolf1972@gmail.com, ronald.martins@eb.mil.br, soraya.issmael@gmail.com,
guimaraesfilho.antonio@eb.mil.br

RESUMO – O presente trabalho objetiva apresentar a importância da elaboração de uma norma de representação de dados geoespaciais (RDG), em substituição ao Manual Técnico T 34-700, justificando esta evolução, em razão do contexto atual da geoinformação, a partir da implantação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) e consequente necessidade de padronização e compartilhamento de informações, bem como a busca por mais enriquecimento dos atributos de um objeto representativo dos acidentes naturais e artificiais do terreno e seus respectivos domínios, para fins de consulta e análise espacial e melhor visualização em tela ou em forma de carta topográfica impressa. Busca-se desenvolver uma metodologia que contemple um quadro comparativo entre as categorias de informação contidas nas Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET – EDGV) e no T 34 -700 e o impacto na representação dos dados, justificando a relevância da RDG, em elaboração, a fim de atender ou adequar as simbologias às classes e objetos contidos na ET – EDGV, especialmente para a produção cartográfica em grandes escalas.

ABSTRACT - The present work aims to present the importance of the elaboration of a legal regulation of representation of Geospatial Database (RGD), in place of Technical Manual T 34-700, on account of the modern context of geoinformation, from the implementation of the National Spatial Data Infrastructure (NSDI) and and the need for standardizing and information sharing, as well as the search for more of the peculiarities of the attributes of an object representative of the natural and artificial accidents of the land and their respective domains, for the purpose of consultation and spatial analysis and better display or in the form of a printed topographical chart. We intend to develop a methodology that includes a comparison table between the categories of informations contained in the Technical Specifications for Vector Geospatial Data Structures (TS-VGDS) and at the T 34 -700 and the impact on the data representation, justifying the relevance of the RGD, which is being implementated, in order to meet or adapt the symbologies to the classes and objects contained in the TS-VGDS, especially for large-scale cartographic production.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Fundamento Histórico e Teórico

A Norma Técnica para a Representação de Dados Geoespaciais (ET-RDG) é um dos padrões da InfraestruturaNacional de Dados Espaciais (INDE) e Norma da Cartografia Nacional, que está sendo finalizada pela

Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG), em sua versão 1.0, compatível com a última versão da Especificação Técnica para a Estruturação de Dados Geoespaciais Vetorias (ET-EDGV 3.0).

A ET-EDGV 3.0, que define a estrutura de banco de dados nacional para os dados de referência, foi homologada pela Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) por meio da Resolução nº 1, de 17 de julho de 2018.

A ET-RDG 1.0 substituirá o Manual Técnico T-34 700 – Convenções Cartográficas, que foi construído e homologado pelo Exército Brasileiro em 2002.

Contextualizando ao que se refere à publicação da ET-RDG em substituição ao Manual T 34 700 e a evolução e mudança de paradigma, consta no Capítulo VIII do referido Decreto que cabe à Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) do Exército Brasileiro a normatização dos trabalhos de natureza cartográfica realizados no território brasileiro, concernentes às Cartas Gerais nas escalas de 1:250.000 e maiores[1].

O Manual Técnico T34-700[2], publicado pelo Exército Brasileiro, expressa a normatização prevista no Decreto-Lei nº 243/1967, cuja finalidade é voltada para a apresentação de dados geoespaciais, conceituação e doutrina da representação de acidentes topográficos, naturais ou artificiais, por meio de símbolos definidos, visando a execução e utilização de documentos cartográficos nas escalas de 1:250.000 e maiores.

Entretanto, com o advento da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), instituida mediante o Decreto Decreto nº 6.666, de 27/11/2008 (DOU de 28/11/2008, p. 57) e cuja implantação ficou a cargo da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR, Brasil, 2010, p.19), verificou-se a necessidade de normatização que atendesse às demandas necessárias de análise e consulta de dados, em um contexto voltado para a estruturação da geoinformação[3] em um ambiente de banco de dados que atendesse as premissas de IDE.

De acordo com o referido Decreto, podemos definir a INDE como:

> conjunto integrado de tecnologias; políticas; mecanismos e procedimentos de coordenaçãoe monitoramento; padrões e acordos, necessário para facilitar e ordenar a geração, o armazenamento, o acesso, o compartilhamento, a disseminação e o uso dos dados geoespaciais de origem federal, estadual, distrital e municipal (BRASIL, 2008).

Ressalta-se que segundo o Plano de Ação para implantação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais os dados geoespaciais de referência são os *"dados ou conjuntos de dados que proporcionam informações genéricas de uso não particularizado, elaborados como bases imprescindíveis para o referenciamento geográfico de informações sobre a superfície do território nacional",* constituindo os insumos básicos para o georreferenciamento e contextualização geográfica de todas as temáticas territoriais específicas.

A necessidade de padronização e compartilhamento de informações geoespaciais, intrínsecas à INDE, proporcionou a evolução das normas regulamentadoras da cartografia e consequente migração de aquisição de dados geográficos de um ambiente CAD (Desenho Asssistido por Computador), para fins de apresentação e impressão de cartas topográficas, para customização de plataformas ou *softwares* voltadas para a aquisição de dados em ambiente computacional *desktop e web*, para atender demandas de análise e consulta espacial

Assim, em face do atual estágio tecnológico, uma releitura tornou-se necessária das classificações das categorias, classes e objetos representativas do espaço territorial brasileiro e previstas no T34-700, sendo publicada, em 2008, pela CONCAR, a primeira versão das Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV).

Em razão deste contexto, encontra-se em elaboração a Norma da Especificação Técnica para Representação de Dados Geoespaciais (ET -RDG), considerada a evolução do Manual Técnico T34-700, e componente necessário para a representação cartográfica de informações geográficas. Esta norma se relaciona com as demais especificações técnicas

[1] À Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) cabe, de acordo com o Decreto nº 243/1967, a normatização das séries de escalas gerais, nas escalas menores de 1.250.000, bem como a regulamentação da rede geodésica fundamental.

[2] Sendo composto por duas partes, as edições atuais do referido Manual Técnico abarcam: as Normas para o Emprego de Símbolos - 2ª Edição - 2002; e Catálogo de Símbolos - 2ª Edição - 2002.

[3] Para definir geoinformação é necessário primeiramente entender o conceito de dado geográfico ou geoespacial ou georreferenciado, os quais são dados espaciais em que a dimensão espacial refere-se ao seu posicionamento na Terra e no seu espaço próximo, num determinado instante ou período de tempo (INDE, 2010, p.18). A Geoinformação, portanto, pode ser definida como o conhecimento associado a uma referência geográfica – ou georreferenciado – resultado do processamento de dados espaciais, que destinam-se a apoiar o processo decisório, segundo o Manual de Geoinformação (2014).

da INDE no que se refere à definição dos padrões para a apresentação e a representação das classes de objetos nos produtos de conjuntos de dados geoespaciais vetoriais.

A ET-RDG apoia-se no T 34-700, onde estão definidos os símbolos clássicos do mapeamento topográfico em pequenas escalas, e nas novas simbologias para mapeamento topográfico em grandes escalas, bem como na ET-EDGV, na qual se encontram previstas as classes a representar na modelagem conceitual brasileira.

1.2 Objetivo do Trabalho

O presente trabalho objetiva apresentar a estrutura da ET – RDG e sua importância no contexto atual de ambiente computacional voltado para consulta e análise espacial, justificando a evolução das normas de representação dos dados geoespaciais acima citada, em razão especialmente da necessidade de abrangência de apresentação dos símbolos para grandes escalas (maiores que 1:25.000), não previstos no catálogo de símbolos do T34 – 700.

2 Metodologia do Trabalho

Apresentar uma breve síntese da importância da ET – EDGV, os quadros comparativos nos catálogos de símbolos do T34-700 e a adequação necessária na RDG, em consonância com as classes previstas para pequenas e grandes escalas na ET – EDGV, bem como as Fichas de Instruções e Diagramas de Apresentação necessários para implementação da representação dos dados em ambiente computacional.

2.1 Aspectos Históricos e Conceituais da ET – EDGV

A ET-EDGV, versão 2.1.3, foi apresentada em 2008 com o objetivo de "padronizar estruturas de dados que viabilizem o compartilhamento de dados, a interoperabilidade e a racionalização de recursos entre os produtores e usuários de dados e informação cartográfica" (CONCAR, 2010).

Esta especificação foi inicialmente concebida para:

> "...atender ao mapeamento sistemático nacional nas escalas de 1:25.000 ou menores. Com o avanço das geotecnologias e das demandas da sociedade, surgiu no âmbito da DSG/ Exército Brasileiro a necessidade de realizar uma atualização desta versão, a **ET-EDGV Defesa da Força Terrestre – F Ter, que incluía o mapeamento topográfico em grandes escalas,** tem como finalidade atender as demandas das atividades de planejamento da defesa e da segurança (grandes eventos) no espaço geográfico brasileiro por parte do Exército". (GALVÃO *et al.*, 2017).

Desta forma, a ET-EDGV Defesa F Ter passa a contemplar também classes previstas para grandes escalas, tornando-se referência para a atualização da ET-EDGV 3.0, versão mais recente no âmbito da CONCAR. As tabelas abaixo fornecem as categorias de informação previstas na atual versão da ET-EDGV, em comparação com as categorias previstas no Manual T34-700:

Tabela 1 – Categorias de Informação Abrangidas pela ET-EDGV 3.0

Mapeamento Topográfico em Pequenas Escalas
Energia e Comunicações
Estrutua Econômica
Hidrografia
Limites Político-Administrativos e Localidades
Pontos de Referência
Relevo
Saneamento Básico
Sistema de Transporte
Sistema de Transporte /Aeroportuário

Sistema de Transporte / Dutos
Sistema de Transporte / Hidroviário
Sistema de Transporte / Rodoviário
Vegetação
Mapeamento Topográfico em Grandes Escalas
Área Verde
Classes Base do Mapeamento Topográfico em Grandes Escalas
Cultura e Lazer
Edificações
Estrutura de Mobilidade Urbana

Fonte: ET -EDGV (2018)

Tabela 2 – Categorias de Informação Abrangidas pelo Manual T 34 – 700

PLANIMETRIA
Sistema de Transporte
Infraestrutua
Edificações
Limites
Pontos de Referência
Localidades
HIDROGRAFIA
ALTIMETRIA
VEGETAÇÃO

Fonte : Catálogo de Símbolos do Manual T34 – 700 (2002)

2.2 Quadro comparativo entre a ET – RDG e o T34-700 a partir das Classes inseridas pela ET – EDGV 3.0

As Figuras 1 e 2 abaixo, referentes à classe de objetos Edificação Religiosa (Edif_Religiosa), exemplificam o incremento de atributos e seus respectivos domínios, suficientes para repercutir tanto para análise e consulta espacial (quantidade de instituições religiosas de origens ou raízes cristãs e não cristãs numa determinada região) como para fins de apresentação da simbologia nas cartas topográficas

Figura 1 - Classe Edificação Religiosa contida na ET-EDGV 3.0

2.4.23 Edif_Religiosa

Classe	Descrição		Código	Geometria
Edif_Religiosa	Edificação religiosa é aquela destinada a culto e/ou reuniões de caráter religioso.		2.4.23	★ □
Atributo	**Tipo (tamanho)**	**Descrição**	**Domínio**	**Requisito**
tipoEdifRelig	Tipo_Edif_Relig	Indica a denominação específica da edificação religiosa.	Seção 3.91	1
ensino	Auxiliar	Indica se a edificação religiosa também comporta a funcionalidade de educação, além da finalidade religiosa propriamente dita.	Seção 3.4	1
religiao	Alfanumérico (100)	A religião praticada na edificação religiosa.	A ser preenchido	0..1
crista	Booleano	Indica se a edificação ou construção religiosa pertence à religião cristã.	-	1

Fonte: ET -EDGV (2018)

Figura 2 - Lista de Domínios do Atributo Tipo_Edif_Relig, de Edificação Religiosa

3.91 Tipo_Edif_Relig <<codeList>>

Nome/Valor	Descrição
Tipo_Edif_Relig	Indica o tipo de denominação específica da edificação religiosa.
Desconhecido	Valor desconhecido.
Administração	Edificação ou construção que tem função administrativa.
Capela mortuária	-
Centro	-
Convento	-
Igreja	-
Mesquita	-
Mosteiro	-
Sinagoga	-
Templo	-
Terreiro	-
Outros	Outro valor não listado.

Fonte: ET -EDGV (2018)

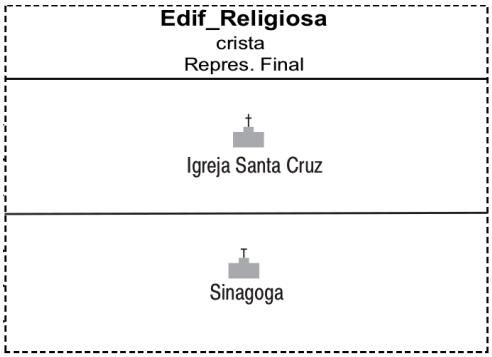
A existência de domínios nos atributos de diversas classes na ET – EDGV impacta diretamente na apresentação de símbolos. No caso da classe Edificação Religiosa, percebe-se a possibilidade de apresentação de dois tipos de simbologia para a referida classe na ET – RDG. Neste caso, é possível diferenciar as edificações religiosas de origem ou fundamento cristão das demais instituições religiosas não cristãs, conforme figuras 3 e 4 a seguir:

Figuras 3 – Apresentação de Igreja prevista no T34 - 700

Nº	EDIFICAÇÕES	AQUISIÇÃO DE DADOS	
		Símbolo	Especificações
308	Igreja ou templo não representável em escala com qualquer número de torres (que não exceda de 0,60 mm x 0,60 mm)	Igreja do Senhor Bom Jesus	SSNR - 1,50 mm
309	Igreja ou templo representável em escala com qualquer número de torres (que exceda de 0,60 mm x 0,60 mm)	Igreja do Senhor Bom Jesus	SSNR - 1,50 mm TRAÇAR NA ESCALA

Fonte: Catálogo de Símbolos do T 34 – 700 (2002)

Figura 4 - Classe Edif_Religiosa prevista na ET - RDG

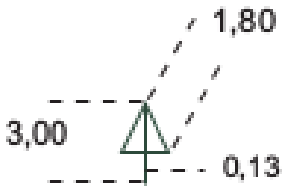


Fonte: ET – RDG – Versão Preliminar (2018)

Ressalta-se que a ET – RDG contempla simbologia para grandes escalas, conforme figura abaixo, referente à classe de objetos Árvore Isolada (Arvore_Isolada), da categoria Áreas Verdes, do Mapeamento Topográfico em Grandes Escalas, inexistente no Catálogo de Símbolos do T34-700.

A referida classe se adequa perfeitamente às novas ferramentas e necessidades requeridas com a implantação da INDE e homologação da ET – EDGV 3.0 pela CONCAR, onde se insere os Diagramas de Apresentação e as Fichas Técnicas, contendo os parâmetros necessários juntamente com o Catálogo de Símbolos, para representação em diferentes plataformas voltadas para o geoprocessamento.

Figura 5 – Parâmetros da classe "Árvore Isolada" prevista no Catálogo de Símbolos da ET – RDG



Fonte: ET – RDG – Versão Preliminar (2018)

3 CONTEXTUALIZAÇÃO DO CONTEÚDO DA ET-RDG: TEÓRICA SOBRE DIAGRAMAS DE APRESENTAÇÃO, FICHAS DE INSTRUÇÕES, CATÁLOGOS DE FONTES E PADRÕES E AS FOLHAS MODELOS

3.1 Diagramas de Apresentação

Antes de abordar o conteúdo do Diagrama de Apresentação, faz-se necessário compreender os níveis de abstração dos dados, com base em Borges (1997):

- Mundo real – Abrange os fenômenos geográficos a serem representados como, rios, cidades e vegetação;
- Nível de Representação - As entidades formais definidas no nível conceitual (classes de campos e objetos) são associadas às classes de representação espacial. As diferentes representações geométricas podem variar conforme a escala, a projeção cartográfica escolhida ou a visão do usuário;
- **Nivel de Implementação - Define padrões, formas de armazenamento e estruturas de dados para implementar cada tipo de representação.**

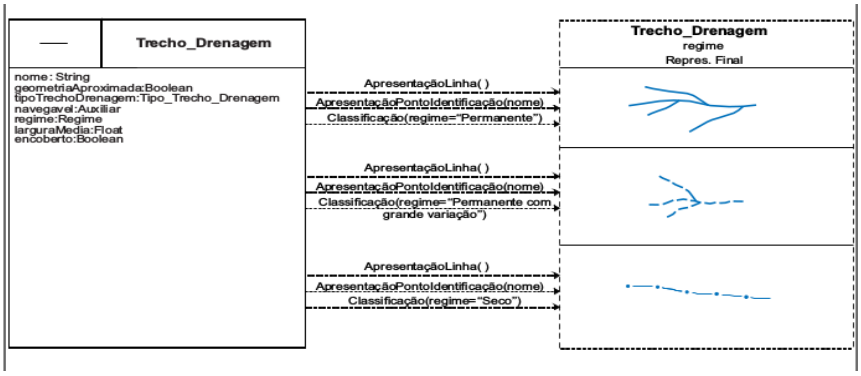
Figuras 6 – Níveis de Abstração de Dados Geográficos

Fonte: X Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas (Filho et al. 2018)

Ainda, segundo Borges (1997), o diagrama de apresentação para o modelo OMT-G pertence ao nível de apresentação, usado no sentido de determinar o aspecto visual ou gráfico de geoobjetos e geocampos, no papel ou na tela do computador.

Pode-se observar na Figura 7. que cada apresentação é extraída a partir da modelagem conceitual à esquerda (classe de objetos Trecho_Drenagem, da ET-EDGV), onde os domínios referentes ao atributo "regime" são determinantes para a apresentação da simbologia à direita:

Figura 7 – Parte do Diagrama de Apresentação da classe de objetos Trecho_Drenagem.

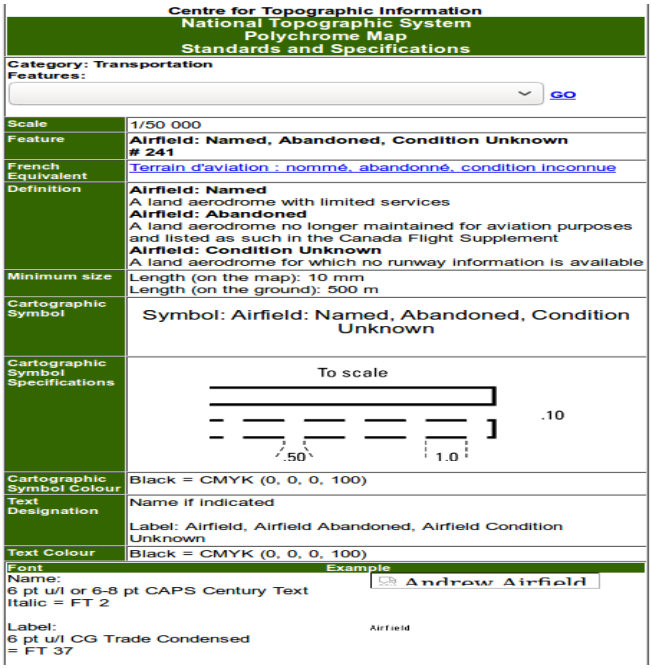


Fonte: ET – RDG – Versão Preliminar (2018)

3.2 Fichas de Instruções

As Fichas de Instruções para representação das classes de objetos das categorias enquadradas no mapeamento topográfico de pequenas e grandes escalas do sistema cartográfico nacional estão sendo apresentadas como um dos anexos à ET – RDG. Baseada nas especificações técnicas da cartografia produzida no Canadá, conforme figura 8. abaixo, pode-se considerar a ficha de instruções a " certidão de nascimento" do símbolo de apresentação dos objetos das classes instanciáveis, onde se são definidos os parâmetros como cor, diâmetro e espessura, além de objetivar a complementação da especificação do tamanho e geométrica dos símbolos.

Figura 8 – Modelo de Ficha de Instruções do Canadá



Centre for Topographic Information
National Topographic System
Polychrome Map
Standards and Specifications

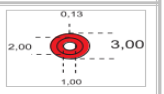
Category: Transportation
Features: GO

Scale	1/50 000
Feature	**Airfield: Named, Abandoned, Condition Unknown** **# 241**
French Equivalent	Terrain d'aviation : nommé, abandonné, condition inconnue
Definition	**Airfield: Named** A land aerodrome with limited services **Airfield: Abandoned** A land aerodrome no longer maintained for aviation purposes and listed as such in the Canada Flight Supplement **Airfield: Condition Unknown** A land aerodrome for which no runway information is available
Minimum size	Length (on the map): 10 mm Length (on the ground): 500 m
Cartographic Symbol	Symbol: Airfield: Named, Abandoned, Condition Unknown
Cartographic Symbol Specifications	To scale .10 .50 1.0
Cartographic Symbol Colour	Black = CMYK (0, 0, 0, 100)
Text Designation	Name if indicated Label: Airfield, Airfield Abandoned, Airfield Condition Unknown
Text Colour	Black = CMYK (0, 0, 0, 100)
Font	Example
Name: 6 pt u/l or 6-8 pt CAPS Century Text Italic = FT 2	Andrew Airfield
Label: 6 pt u/l CG Trade Condensed = FT 37	Airfield

Fonte: *Centre for Topographic Information Ottawa- Canadá* - 2016

A figura 9 apresenta um exemplo do extrato de uma Ficha de Instrução da ET-RDG.

Figura 9 – Exemplo de Ficha de Instruções da ET-RDG

Entroncamento do tipo Círculo ou Rótula pavimentado (representação final)			
Tamanho original		Especificação do tamanho	
Especificação geométrica	Cor_Preenchimento_Circular_Externo = CMYK (0,100,100,0) Diâmetro_Externo = 2,00 mm Diâmetro_Interno = 1,00 mm Cor_Preenchimento_Circular_Interno = CMYK (0,0,0,0)		
Entroncamento do tipo Círculo ou Rótula Auto Estrada (representação final)			
Tamanho original		Especificação do tamanho	
Especificação geométrica	Cor_Bordas_Círculos = CMYK (0,0,0,100) Diâmetro_Circular_Externo = 3,00 mm Diâmetro_Circular_Médio = 2,0 mm Diâmetro_Circular_Interno = 1,00 mm Cor_Fundo_Circular_Externo_Medio = CMYK (0,100,100,0) Cor_Fundo_Circular_Interno = CMYK (0,0,0,0) Espessura_Bordas_Circulares = 0,13 mm		

Fonte: ET–RDG – Versão Preliminar – 2018

3.3 Catálogo de Fontes e Padrões

A ET – RDG, em elaboração, importa também do T34-700, os Catálogos de Fontes e Padrões, para definição de ontes e estilos da toponímia e padrões de cores para classes típicas da Vegetação, respectivamente, bem como da classe Terreno Sujeito a Inundação (Terreno_Sujeito_Inundacao), pertencente à categoria Hidrografia.

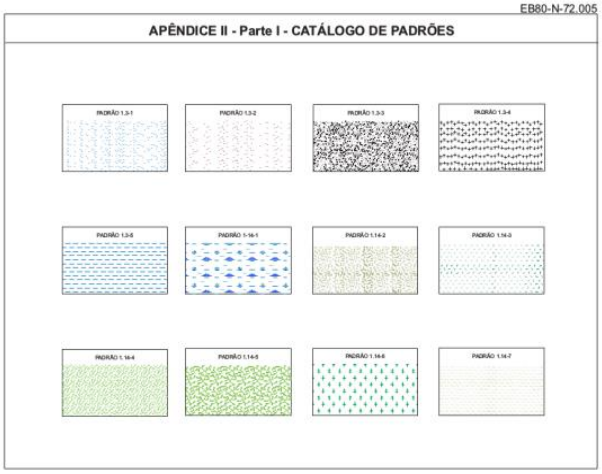
Figura 10 – Catálogo de Fontes – ET-RDG (2018)

APÊNDICE II - Parte II - ESPECIFICAÇÕES DE FONTES

NOMES DE LOCALIDADES	Exemplo	Especificações
Cidade que exceda de 100.000 habitantes	CIDADE	TIMES - 3,50 mm
Cidade que exceda de 50.000 habitantes	CIDADE	TIMES - 3,00 mm
Cidade que exceda de 10.000 habitantes	CIDADE	TIMES - 2,50 mm
Cidade ou vila que não exceda de 10.000 habitantes	Cidade Vila	TIMES - 3,00 mm
Vila em geral	Vila	TIMES - 2,50 mm
Aglomerados Rurais (Povoados em geral)	Povoado	TIMES - 2,00 mm
Aglomerados Rurais (Lugarejos), sedes de propriedade rural, pasto, ou passagem, Núcleo de residência dos trabalhadores de uma fábrica ou canteiro de obras	Lugarejo Fazenda Núcleo	TIMES - 1,50 mm
Bairro ou identificação de área suburbana	Usar dois a três corpos menores que o escolhido para o nome da localidade	TIMES - 1,50 mm a 3,00 mm
ÁREAS POLÍTICO-ADMINISTRATIVAS	Exemplo	Especificações
Nome de país ao longo da linha de limites	PAÍS	TIMES - 2,50 mm
Nome de unidade federativa ao longo da linha de limites	ESTADO	TIMES - 2,50 mm
Nome de município e distrito(s)	MUNICÍPIO MUNICÍPIO MUNICÍPIO MUNICÍPIO MUNICÍPIO	TIMES - 1,50 mm a 3,50 mm SEGUNDO O TAMANHO DA ÁREA ESTENDER SE O ESPAÇO PERMITIR
Nomes locais	REGIÃO	ARIAL - 1,50 mm ESTENDER SE O ESPAÇO PERMITIR

Fonte: ET-RDG – Versão Preliminar – 2018

Figura 11 – Catálogo de Padrões – ET-RDG (2018)



Fonte: ET-RDG – Versão Preliminar – 2018

3.4 Folhas Modelos

A ET-RDG apresenta as alterações nas Folhas Modelos, destacando a inserção de grandes escalas e alterações da localização das legendas, sinais convencionais, diagramas de orientação e outros elementos no roda-mão, conforme se pode-se observar na figura abaixo, prevista na escala 1:2.000:

Figura 12 – Recorte do roda-mão da Folha Modelo Prevista na ET - RDG

Fonte: ET-RDG – Versão Preliminar – 2018

Na RDG estão previstas as Folhas Modelos para os seguintes produtos:

- Folha Modelo carta topográfica 1:250.000
- Folha Modelo carta topográfica 1:100.000
- Folha Modelo carta topográfica 1:50.000
- Folha Modelo carta topográfica 1:25.000
- Folha Modelo carta ortoimagem 1:100.000
- Folha Modelo carta ortoimagem 1:50.000
- Folha Modelo carta ortoimagem 1:25.000
- Folha Modelo carta topográfica cadastral 1:1.000
- Folha Modelo carta topográfica cadastral 1:2.000
- Folha Modelo carta topográfica cadastral 1:10.000
- Folha Modelo carta ortoimagem cadastral 1:1.000
- Folha Modelo carta ortoimagem cadastral 1:2.000
- Folha Modelo carta ortoimagem cadastral 1:10.000

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

Na análise da importância da simbologia a ser relacionada às informações previstas na modelagem conceitual da ET - EDGV, considerando que o T34-700 não contempla as grandes escalas, a ET-RDG atinge sua importância ou proeminência para adequar as normas técnicas ao atual contexto das demandas de geinformação, relacionadas à visualização em tela ou impressão, facilitando a interpretação de objetos e fenômenos geográficos de forma mais detalhada.

5 CONCLUSÕES

A implantação da INDE propiciou inevitavelmente a evolução das normas regulamentadoras da cartografia, abarcando inicialmente a estruturação (ET-EDGV homologada pela CONCAR), aquisição e controle de qualidade (publicadas pelo Exército Brasileiro) de dados geoespaciais, visando atender à demanda por padronização e compartilhamento de informações com mais enriquecimento de atributos e respectivos domínios, para fins de análise e consulta espacial.

Desta forma, conclui-se a respeito da necessidade de elaboração de norma para representação de dados geoespaciais, em substituição ao T 34-700, a fim de atender, por meio de simbologia e de forma mais especificada, a exemplo das edifiações religiosas citadas no presente trabalho, as informações relevantes dos objetos, contemplando, principalmente, a representação em grandes escalas.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Constituição (1988). Referências à Cartografia. Disponível em: <http://www.concar.gov.br/documentos.aspx?tipo=1. > Acesso em: 20 ago. 2018.

BRASIL. Decreto-Lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967. Fixa as Diretrizes e Bases da Cartografia Brasileira e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/Del0243.htm.>. Acesso em: 20 ago. 2018.

BRASIL. Decreto nº 6.666, de 27 de novembro de 2008. Institui, no âmbito do Poder Executivo federal, a Infra-Estrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6666.htm.>. Acesso em: 20 ago. 2018.

BORGES, Karla. Modelagem de Dados Geográficos . Uma Extensão do Modelo OMT para Aplicações Geográficas. Belo Horizonte, 1997.

COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA. Plano de Ação para Implantação da INDE. Rio de Janeiro, 2010.

COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA. Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV 3.0). Rio de Janeiro, 2017.

CENTRE FOR TOPOGRAPHIC INFORMATION OTTAWA. Fichas de Especificações das Classes. Disponível em: <http://web.archive.org/web/20011122214751/http://maps.nrcan.gc.ca/cartospecs/Index.htm>. Acesso em: 22 ago. 2018.

DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO. Norma da Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais de Defesa da Força Terrestre (ET EDGV Defesa F Ter). 2. ed. Brasília, DF, 2016.

EXÉRCITO BRASILEIRO. Manual Técnico T34-700. 2. ed. Brasília, DF, 2002.

EXÉRCITO BRASILEIRO. Manual de Geoinformação. 1. ed. Brasília, DF, 2014.

GALVÃO, P. W; FREITAS, L. F; LIMA, C. C. N. O Impacto do Versionamento da Estrutura de Dados Espaciais Vetoriais na Etapa de Reambulação, no Âmbito da Diretoria de Serviço Geográfico. XVII Congresso Brasileiro de Cartografia. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/cbc/2017/trabalhos/3/index.html>. Acesso em: 20 ago. 2018.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.

AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL DA BASE CARTOGRÁFICA DO HERE WE GO EM VIÇOSA - MG

FERNANDA DALVI NUNES
ANA CAROLINA DUQUE REZENDE
AFONSO DE PAULA DOS SANTOS

Universidade Federal de Viçosa - UFV
Centro de Ciências Exatas - CCE
Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, MG
fernanda.dalvi@hotmail.com, anacarolinadr.20@gmail.com, afonso.santos@ufv.br

RESUMO - Os sistemas de navegação veicular, em sua grande maioria, possuem bases cartográficas implementadas por seus usuários através do processo de mapeamento colaborativo. Enquanto algumas empresas realizam procedimentos para aprovação dos dados quanto a veracidade, outras não adotam tal política. Neste contexto, o presente trabalho tem por intuito realizar a avaliação da acurácia posicional da base cartográfica da plataforma HERE WeGo no município de Viçosa-MG. Assim, aplicou-se o método de feições lineares Buffer Duplo, para obtenção das discrepâncias posicionais da base cartográfica. Após, aplicou o padrão nacional de acurácia posicional, estabelecido pelo Decreto n° 89.817 aliada a ET-CQDG da INDE. O resultado apresenta uma acurácia posicional compatível com a escala 1:10.000, classe D, para as vias urbanas. Já para as vias rurais testadas, a acurácia posicional não foi compatível com a escala 1:10.000.

ABSTRACT– For the most part, the navigation car systems, have cartographic bases implemented by their users through the process of collaborative mapping. While some companies perform procedures for approving data on validity, others do not adopt such a policy. In this context, the present work intends to carry out the evaluation of the positional accuracy of the cartographic bases of HERE WeGo's platform in the city of Viçosa – MG. Therefore, the linear features Double Buffer method was applied to obtain the positional discrepancies of the cartographic bases. Finally, the national standard of positional accuracy, established by Decree-Law No. 89.817 combined with the INDE's ET-CQDG was applied. The results presents a positional accuracy compatible with the scale 1:10.000, class D, for the urban roads. For the rural roads tested, the accuracy was not compatible with the 1:10.000 scale.

1 INTRODUÇÃO

Uma das formas do homem compreender e interagir com o espaço se dá a partir da representação do mesmo (SILVA e SILVA, 2003). Desde o período Pré-Histórico (5000 a.C.) o homem já representava lugares, paisagens e mapas lançando mão da pintura rupestre. Ao longo dos anos a ideia de representação persistiu e a metodologia empregada na construção destas representações acompanhou a tecnologia utilizada nos respectivos períodos históricos.

Portanto, a partir dessa evolução tecnológica, o mapa deixou de ser visto como algo estático e passou a fazer parte do mundo dinâmico de *hardwares* e *softwares*. O fato dos mapas e diversas bases cartográficas estarem ao alcance de muitos, via aplicativos e *websites* livres e amigáveis, traz a impressão errônea de que a elaboração dos produtos cartográficos é algo simples ou trivial. Contudo, caso a garantia da qualidade seja uma das finalidades da elaboração de uma representação cartográfica, este trabalho torna-se mais complexo (GALO e CAMARGO, 1994; SANTOS, 2010; SANTOS, 2015).

Segundo Nogueira (2003), o controle da qualidade é uma fase extremamente importante na geração de produtos cartográficos, e muitas vezes não se conhece efetivamente como esse controle é realizado, podendo ser responsabilidade do elaborador do mapa ou de seus próprios usuários. Nestes produtos também estão inclusas as bases de dados de sistemas de navegação, que vem crescendo de forma acentuada. Muitos destes utilizam de projetos colaborativos para a inclusão de informações em suas bases e em algumas ocasiões não evidenciam sua qualidade posicional.

Um exemplo de processo de mapeamento colaborativo é da HERE Technologies. A empresa está inserida no mercado a mais de 30 anos e foi a primeira do mundo a trabalhar com cartografia digital em grande proporção. Sua principal área de atuação consiste no fornecimento de dados de mapeamento e serviços relacionados a indivíduos e empresas, contando com uma base de dados própria. O processo colaborativo da empresa é realizado através de um

software editor chamado Map Creator. E antes de serem disponibilizados oficialmente, os dados passam por um processo interno de aprovação quanto à veracidade e qualidade das informações. A disponibilização do mapeamento se dá pelo aplicativo de mapas e navegação HERE WeGo, desenvolvido pela HERE Technologies.

Uma das formas de avaliar a qualidade de um produto cartográfico consiste em averiguar a acurácia posicional deste. De acordo com Telles e Rodrigues (1990) e Leal (2007), no Brasil o processo deve seguir as Normas Técnicas da Cartografia Nacional estabelecidas pelo Decreto n° 89.817. Para consolidar a avaliação, pode-se usar a Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG). Assim, através de pontos ou linhas de checagem, e tendo um produto como referência, se obtém valores de discrepâncias que são posteriormente analisados.

Diante disso, este estudo tem como objetivo avaliar a acurácia posicional das vias presentes na base cartográfica do sistema de navegação HERE WeGo, no município de Viçosa - MG, utilizando o método de feições lineares a partir da técnica do Buffer Duplo, empregando como padrão as tolerâncias definidas pelo Decreto n° 89.817/ET-CQDG.

A avaliação da qualidade deste produto justifica-se visto a crescente procura por ferramentas que fornecem informações geoespaciais, principalmente de forma gratuita, sendo o HERE WeGo uma das plataformas existentes no mercado. Utilizou-se feições lineares pois geralmente estas têm uma boa distribuição espacial e apresentam uma grande quantidade de informações geométricas, além de representarem cerca de 80% das feições presentes em uma base de dados cartográfica (MOZAS e ARIZA, 2011).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Controle de qualidade posicional de produtos cartográficos

Num âmbito generalista, um processo de controle de qualidade consiste na avaliação de um determinado produto baseado num conjunto de padrões estabelecidos. De acordo com Nogueira Jr. (2003) e ISO 19.157 (2013), tal avaliação considera alguns elementos, como: acurácia posicional, acurácia temática, temporalidade, completude, consistência lógica e usabilidade.

Para Santos (2010), a acurácia posicional indica, estatisticamente, o grau de proximidade do posicionamento tanto horizontal quanto vertical de um dado cartográfico, com sua posição mais provável no terreno.

2.2 Padrão de acurácia posicional brasileiro

O Decreto nº 89.817 define duas tolerâncias para validar a acurácia posicional, o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e o EP (Erro-Padrão). Em seu capítulo II, dispõe sobre o PEC. Esse indicador, ou tolerância, aponta valores que os produtos cartográficos obtidos de forma analógica devem obedecer a fim de os validar quanto à acurácia posicional. O Decreto define valores pré-estabelecidos para a tolerância EP (Erro-Padrão) para cada classe definida.

Em 2011, foi homologada pela Comissão Nacional de Cartografia – CONCAR a norma Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais – ET-ADGV. Sua criação se deve ao fato de que o Decreto não estava atendendo as necessidades da era digital. Assim, esta especificação estabeleceu um novo indicador estatístico chamado de PEC-PCD, que define uma nova classe com parâmetros mais rigorosos.

Já em 2016, foi lançada a Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG), na qual define procedimentos para avaliar a qualidade de um produto cartográfico, com base em todos os elementos do controle de qualidade cartográfica. A análise da acurácia posicional é realizada seguindo os princípios do Decreto nº 89.817 e, dependendo do tipo de produto cartográfico avaliado, utiliza-se o indicador PEC-PCD proposto na ET-ADGV. Assim para que se possa classificar a acurácia posicional de um produto cartográfico no Brasil, deve-se atender a dois critérios:

• 90% das discrepâncias posicionais tem que apresentar valores menores ou iguais ao PEC-PCD, para a classe e escala testada;

• O RMS (*root mean square*) da amostra de discrepâncias testadas deve ser menor ou igual ao Erro-Padrão (EP), para a classe e escala testada.

Na Tabela 1 estão exemplificadas as classes de acordo com o Decreto n° 89817/ET-ADGV.

Tabela 1: Valores do PEC e do EP segundo Decreto-Lei n° 89.817/84 e ET-ADGV.

Classe Decreto (PEC)	Classe ET-ADGV (PEC-PCD)	Planimetria		Altimetria	
		PEC	EP	PEC	EP
-	A	0,28 mm x esc*	0,17 mm x esc	0,27 x ev*	1/6 x ev
A	B	0,5 mm x esc	0,3 mm x esc	1/2 x ev	1/3 x ev
B	C	0,8 mm x esc	0,5 mm x esc	3/5 x ev	2/5 x ev
C	D	1,0 mm x esc	0,6 mm x esc	3/4 x ev	1/2 x ev

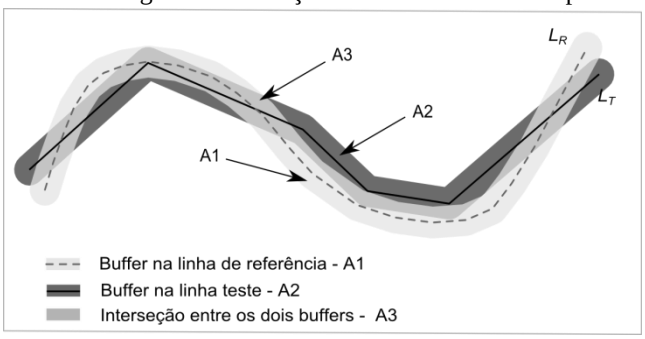
*esc: denominador da escala planimétrica; ev: equidistância vertical entre as curvas de nível.

2.3 Métodos de controle de qualidade posicional em feições lineares

De acordo com Santos et al. (2015), existem três grupos em que se pode dividir os métodos de controle de qualidade posicional em elementos lineares, sendo eles: (i) o Grupo de faixa de incerteza que utiliza uma abordagem determinística; (ii) Grupo da faixa de incerteza que utiliza abordagem estocástica; (iii) Grupo de métodos determinísticos que fazem análises geométricas.

O Buffer Duplo (*Buffer Overlay Statistics*), proposto por Tveite e Langaas (1999), faz parte do grupo de faixa de incerteza. Este método tem por finalidade aplicar o *buffer* tanto no segmento de linha de referência quanto na linha a ser analisada. Com isto, avalia-se a acurácia da feição a partir da discrepância média entre os dois segmentos, obtidas a partir das interseções entre os *buffers* gerados.

Figura 1: Ilustração do Método Buffer Duplo.



Fonte: Santos et al., 2015.

Para a utilização deste método, afim de encontrar as discrepâncias a serem analisadas, devem ser seguidos os seguintes passos (Santos et al., 2015): (i) escolha do conjunto de amostras de linhas de teste e de referência; (ii) gerar um *buffer* de mesma largura $\boldsymbol{a}$ (no padrão brasileiro utiliza-se o valor do PEC-PCD) para todos os segmentos de linha de teste e de referência; (iii) determinar as discrepâncias médias para cada feição linear avaliada em função da área gerada a partir do *buffer* aplicado em cada linha de teste ($\boldsymbol{A_2}$) e da área do *buffer* da linha de referência que não contém o *buffer* da linha de teste ($\boldsymbol{A_1}$ - $\boldsymbol{A_3}$), de acordo com a equação 1; (iv) classificação do produto a partir da análise das discrepâncias em relação aos padrões do Decreto n° 89.817 para a escala testada.

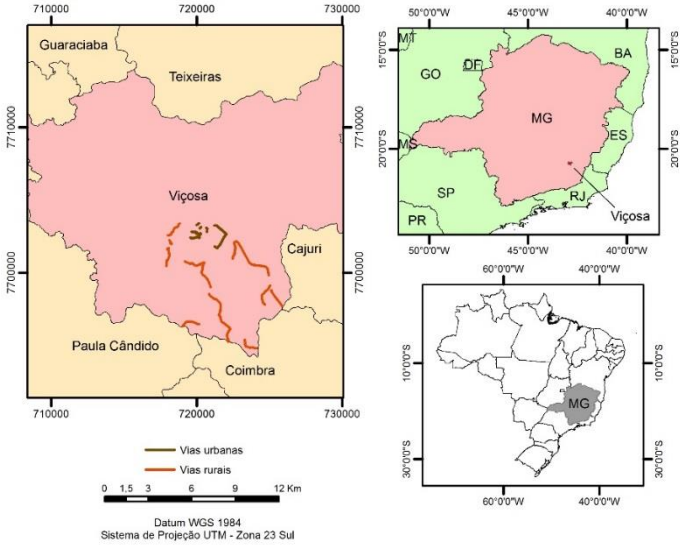
$$dm = \pi * a * \frac{\sum(A_1 - A_3)}{A_2} \quad (1)$$

3 METODOLOGIA DO TRABALHO

3.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo (Figura 2) é subdividida em duas regiões, a saber: a primeira localiza-se na área urbana do município de Viçosa, Minas Gerais; a segunda caracteriza-se em uma região rural ao sul do município. O município de Viçosa-MG se encontra delimitado pelas latitudes 20°43'S e 20°50'S, e longitudes 42°49'W e 42°56'W.

Figura 2: Localização das regiões de estudos no município de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.



3.2 Materiais utilizados

Para a execução deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

• Dados de teste:
- Vias presentes no aplicativo HERE WeGo, de parte do município de Viçosa-MG, disponibilizada pela empresa HERE Technologies no formato *shapefile* com sistema de referência *World Geodetic System* de 1984 (WGS84);

• Dados de referência:
- Vias rurais coletada por receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) obtidos do trabalho de Santos et al. (2015);
- Vias urbanas do município de Viçosa-MG obtidas a partir de receptores GNSS de dupla frequência das marcas Leica GPS 900CS, JAVAD-TRIUNPH 1 e GPS RX T10. Dados no formato *shapefile* e sistema de referência WGS84;

• *Softwares*:
- ArcGIS 10.5, para manipulação das feições lineares;
- R, para analises estatísticas;
- Topcon Tools, para processamento de dados GNSS.

3.3 Metodologia

As feições lineares, que são os dados de checagem da base de dados da HERE Technologies, foram fornecidas pela própria empresa com base em um contrato de cooperação entre a HERE e a EJEAG (Associação Junior de Eng. de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Viçosa).

Os dados de referência correspondentes às áreas urbana e rural foram coletados através do método relativo cinemático, com taxa de rastreio de 1 segundo. Durante a coleta dos dados atentou-se para que os receptores coletassem informações referentes ao eixo da via. Após o processamento, os trechos de vias coletados apresentaram uma precisão de 15 a 50cm.

A partir dos arquivos das linhas de checagem da HERE Technologies e das linhas coletadas em campo, foi aplicado o método do Buffer Duplo obtendo um conjunto de discrepâncias posicionais médias entre as feições lineares avaliadas. Em seguida, com a amostra de discrepâncias, foi realizada a detecção de *outliers* pelo diagrama de Boxplot.

De acordo com SANTOS et al. (2016), conforme citado por Melo e Castro (2013) e Amorim (2004), os *outliers* são observações com valor atípico que, normalmente, são causadas por erros grosseiros. Sendo assim, é necessário analisar se a identificação das feições foi bem realizada tanto nos dados de referência quanto nos dados de teste. Se bem identificadas, tal grandeza deve permanecer entre o conjunto de dados representando a qualidade posicional do dado em avaliação (SANTOS et al., 2016). Caso contrário, se não houve uma boa identificação, tenta-se realizar uma correção ou elimina-se o dado em questão.

Após análise dos *outliers*, foi aplicado o padrão de acurácia nos dados de discrepância, para assim classificar o produto de acordo com o especificado na Tabela 1.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A qualidade posicional da base cartográfica presente no sistema de navegação da plataforma HERE Technologies, o objeto de estudo, foi avaliada utilizando-se de parâmetros do Decreto n° 89.817/ET-CQDG, para uma escala de 1:10.000.

Para as regiões urbana e rural, foi aplicado o método do Buffer Duplo para as Classes A, B, C e D. Os gráficos 1 e a tabela 2 apresentam as discrepâncias posicionais e suas estatísticas descritivas para a área urbana, resultante da aplicação do método Buffer Duplo para a Classe D na escala 1:10.000. Vale ressaltar que as outras classes (A, B e C) não atenderam às condições de classificação do Decreto 89.817.

Gráfico 1: Gráfico de discrepâncias da área urbana para Classe D na Escala 1:10.000.

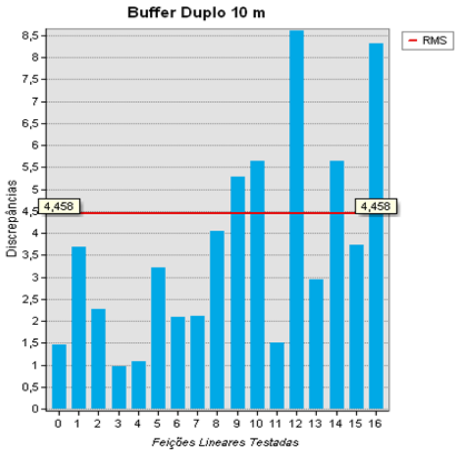


Tabela 2: Resultados estatísticos das feições lineares urbanas.

CLASSE D (DECRETO-LEI 89.817/ET-ADGV) ESCALA 1:10.000		PEC: 10 m EP: 6m	
RMS (m): 4,458	Discrepância Média (m): 3,681	Discrepância Máxima (m): 8,609	Discrepância Mínima (m): 0,957

Os gráficos 2 e a tabela 3 apresentam as discrepâncias posicionais e suas estatísticas descritivas para a área rural, utilizando como parâmetro de largura do *buffer* a tolerância do PEC-PCD relativo a classe D na escala 1:10.000.

Gráfico 2: Gráfico de discrepâncias da área rural para Classe D na Escala 1:10.000.

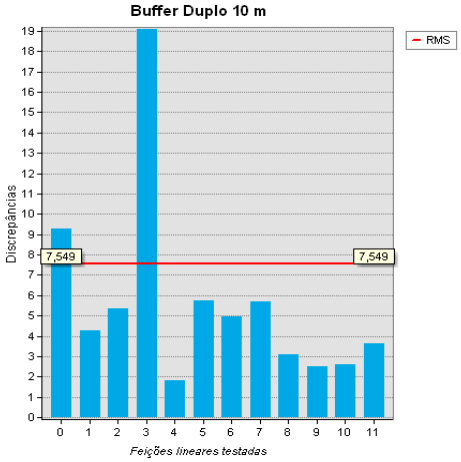


Tabela 3: Resultados estatísticos das feições lineares rurais.

CLASSE D (DECRETO 89.817/ET-ADGV) ESCALA 1:10.000		PEC: 10 m EP: 6m	
RMS (m): 7,549	Discrepância Média (m): 5,670	Discrepância Máxima (m): 19,099	Discrepância Mínima (m): 1,819

Com aplicação do Diagrama de Boxplot, percebe-se que não houve a presença de *outliers* nos dados de avaliação da área urbana (Gráfico 3). Entretanto, a área rural (Gráfico 4) apresentou 1 *outlier* que foi objeto de maiores investigações.

Gráfico 3: Gráfico de *outliers* da área urbana.

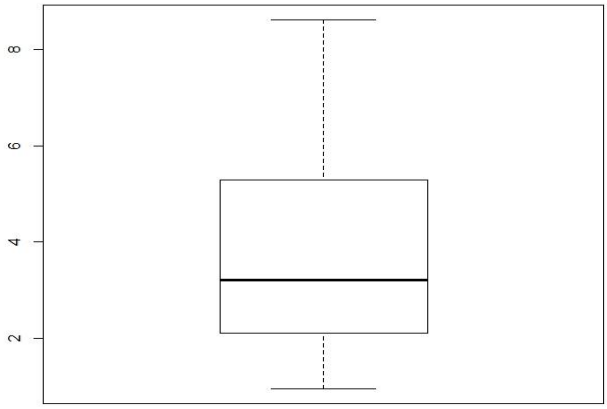
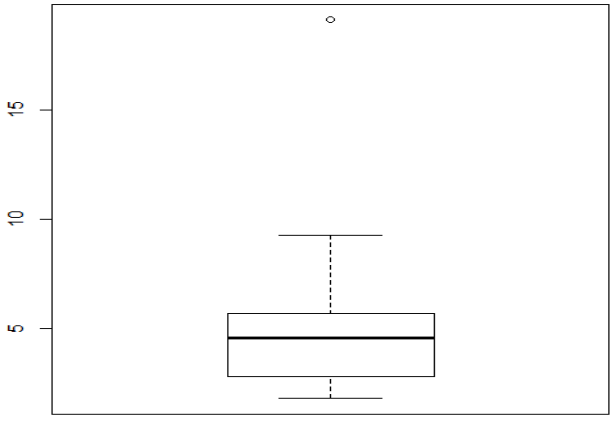


Gráfico 4: Gráfico de *outliers* da área rural.



Para os dados da área rural houve 1 (um) caso de *outlier*, sendo este o valor de discrepância de 19,09925 metros.

Ao analisar as feições que envolvem tal discrepância, constatou-se que houve boa identificação no produto teste e no levantamento de campo, bem como o processamento GNSS que estava dentro dos parâmetros de qualidade aceitáveis. Assim, o possível *outlier* apresentado pelo Boxplot, após todas as investigações não se caracteriza como um erro grosseiro, sendo, portanto, uma discrepância posicional que representa a qualidade posicional do dado de teste.

As vias urbanas obtiveram classificação apenas na Classe D, já que 100% das discrepâncias posicionais foram menores ou iguais ao PEC-PCD (10m), e o RMS da amostra de discrepância apresentou resultado menor ou igual ao valor do EP (6m). Já as vias rurais não obtiveram classificação quanto ao Decreto n° 89817/ET-CQDG em nenhumas das classes.

5 CONCLUSÕES

Percebe-se que o mapeamento colaborativo vem sendo muito utilizado na área de mapeamento de informações espaciais. Portanto é de suma importância essa avaliação da qualidade cartográfica dos dados para determinar sua confiabilidade de uso e aplicação para cada finalidade.

Os dados da área urbana foram classificados como classe D, ou seja, foram condizentes com o Decreto Lei n°89.817/ET-CQDG. Porém esperava-se uma melhor classificação, visto que os dados passam por um processo interno de aprovação quanto à veracidade e qualidade das informações. Já os dados da área rural não se encaixaram em nenhuma classe.

Um ponto importante a ser destacado é o fato de os padrões nacionais não mencionarem alternativas para a avaliação de feições lineares. Levando em consideração todos os pontos abordados sobre as vantagens e necessidades do estudo deste tipo de feição dentro das bases cartográficas, infere-se a importância destes métodos.

Por fim, é importante salientar que os dados analisados se referem ao município de Viçosa, não podendo, as conclusões geradas, serem generalizadas para outras regiões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIZA, F.J. **Calidad en la Producción Cartográfica**, RA-MA, Madrid. 2002.

BRASIL, **Decreto n° 89.817 de junho de 1984** – Normas Técnicas da Cartografia Nacional, Diário Oficial da União, Brasília, Brasil, 1984.

DSG. **Especificação Técnica de Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG)**. 2016.

MOZAS, A. T.; ARIZA, F. J. 2011. **New method for positional quality control in cartography based on lines. A comparative study on methodologies**. In: International Journal of Geographical Information Science, 25:10, 1681-1695.

NOGUEIRA JÚNIOR, J.B. **Controle de Qualidade de Produtos Cartográficos: Uma Proposta Metodológica**, 2003. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

SANTOS, A.P. **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais com o uso da Estatística Espacial**, 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa.

SANTOS, A.P. **Controle de Qualidade Cartográfica: Metodologias para avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.

SANTOS, A.P.; RODRIGUES, D.D.; SANTOS, N.T.; JUNIOR J.G. 2016. **Avaliação da Acurácia Posicional em dados espaciais utilizando técnicas de estatística Espacial: Proposta de Método e Exemplo Utilizando a Norma Brasileira**. Boletim de Ciências Geodésicas, v.22, n.4, 2016.

SILVA, A.G.R.; SILVA, D.L.A. **Avaliação da Qualidade de Documentos Cartográficos: Aspectos Geométricos, Temáticos e Temporais**. Projeto de Fim de Curso, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, 2003.

TVEITE, H.; LANGAAS, S. **An accuracy Assessment Method for Geographical Line Data Sets Based on Buffering**. International Journal of Geographical Information Science. 1999.

AVALIAÇÃO DA DISPERSÃO E HETEROGENEIDADE DE DADOS COLABORATIVOS DO OPENSTREETMAP

ELIAS NASR NAIM ELIAS[1]
ELAINE GOMES VIEIRA DE JESUS[2]
VIVIAN DE OLIVEIRA FERNANDES[3]

Universidade Federal da Bahia - UFBA
Escola Politécnica
[2,3] Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia, Salvador, BA
[1,2] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – área de Informações Espaciais
elias_naim2008@hotmail.com , elainegomes623@gmail.com , vivian.fernandes@ufba.br

RESUMO - O desenvolvimento da tecnologia computacional nas mais diversas áreas da ciência têm trazido para a cartografia novas perspectivas quanto à produção e manuseio da informação espacial, visto a implantação da WEB 2.0. Assim surge o conceito das Informações Geográficas Voluntárias (VGI) que são sistemas onde os mapas que até então eram elaborados por usuários com formação técnica em cartografia, passam a ser constituídos por indivíduos que tenham acesso a um computador e que utilize internet. Este trabalho consiste na avaliação da heterogeneidade da edição geométrica de dados da plataforma de mapeamento colaborativo do OPENSTREETMAP (OSM) na área de estudo que contempla a UFBA, por meio da verificação da dispersão dos testes estatísticos de tendência e precisão previstos na literatura para a avaliação da acurácia posicional de produtos cartográficos e atribuição da escala de mapeamento conforme o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). Dessa forma, a precisão das escalas variou em torno de 1:20000 a 1:30000 e notou-se a existência da variabilidade temporal na edição destes dados.

ABSTRACT - The development of computational technology in diverse fields of science has brought to cartography new perspectives regarding the production and handling of spatial information, since the implementation of WEB 2.0. Thus, the concept of Volunteered geographic information (VGI) which are systems where maps that until then were elaborated by users with technical training in cartography, are made up of individuals who have access to a computer and use the internet. This paper presents an heterogeneity of the geometric data edition evaluation of the OPENSTREETMAP - collaborative mapping platform (OSM) at study area that contemplates the UFBA, by verifying the dispersion of statistical tests of tendency and precision foreseen in literature for the evaluation the positional accuracy of cartographic products and the assignment of the mapping scale according to the Cartographic Accuracy Standard (PEC). Thus, the precision of the scales ranged from 1: 20000 to 1: 30000 and the existence of temporal variability in the editing of these data was noted.

1 INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos computacionais fizeram com que os usuários de produtos cartográficos, além de fazer uso para visualização destes, quisessem fazer parte da produção das informações a serem contidas em tais produtos, bem como, a sua disseminação e democratização por meio da ferramenta da internet. Tal processo tornou-se possível a partir do estabelecimento do conceito de WEB 2.0, criado por O'Reilly (2007). De acordo com Cormode e Krishnamurthy (2008), define-se como WEB 2.0 um fenômeno cibernético onde os usuários tornam-se elementos fundamentais na geração e gerenciamentos de determinadas informações, além de serem consumidores destas.

Diante desta vertente, surge o conceito de Informações Geográficas Voluntárias ou *Volunteered Geographic Information* (VGI), que diante do conceito de WEB 2.0, de acordo com Bravo (2014) são sistemas com as características descritas nas quais, os mapas que até então eram elaborados por usuários com determinada formação técnica em cartografia, passam a ser constituídos por indivíduos que tenham acesso a um computador e que utilize internet. Dessa forma de acordo com Goodchild (2007) os sistemas VGI permitem que os usuários desta ferramenta coletem e publiquem informações geográficas e até mesmo validem as informações publicadas por outros usuários.

Atualmente, os dados VGI são armazenados e abastecidos em plataformas online que permitem aos usuários realizar tais operações. Apesar da constante atualização das informações por indivíduos que realizam as alterações no cenário geográfico, as fontes de dados VGI não são condizentes com as fontes de cartografia de referência, uma vez que, ainda são avaliados perante parâmetros de qualidade dos mapas apresentados. Com a premissa de que os dados

provenientes possuem atualidade temporal e este é um dos maiores problemas dos mapas de referência, este trabalho consiste em avaliar a acurácia posicional dos dados de uma plataforma VGI.

Apesar da aplicabilidade dos produtos fornecidos em plataformas VGI, existe a dificuldade em utilizar elementos destes dados em meio a projetos que utilizem a cartografia de referência, uma vez que, sabe-se da existência da incompatibilidade das bases de referência em relação a bases produzidas por "usuários comuns" onde não se tem o conhecimento total dos métodos utilizados para a obtenção dos dados que abastecem as plataformas VGI. Tal incompatibilidade está diretamente relacionada com a determinação da confiabilidade e dos parâmetros de qualidade dos produtos gerados por meio de dados voluntários, ou seja, pouco se sabe dos indicadores que permitem aplicar informações geográficas voluntárias em dados oficiais.

A plataforma analisada foi o OPENSTREETMAP (OSM) onde, por meio da verificação dos dados estatísticos obtidos através do OSM (2018) notou-se que esta possui atualmente 4.817.607 colaboradores cadastrados, e feições pontuais e lineares que ultrapassam 500 milhões de elementos representados. Neste sentido, o trabalho apresentando tem como objetivo avaliar a heterogeneidade dos dados colaborativos, por meio de testes estatísticos de dispersão *t student e* qui quadrado, propostos por Merchant (1984), no intuito de avaliar a acurácia posicional dos dados da plataforma OSM com amostras dos campi Federação/Ondina em comparação com uma planta de referência.

Este estudo mostra-se relevante devido às constatações feitas por Elias et al. (2018) em seu estudo realizado para a mesma área, evidenciando que as discrepâncias apresentaram diferentes magnitudes quanto aos resultados calculados, uma vez que foram encontradas discrepâncias em torno de 7,62m e de -0,01m ao utilizar uma amostra de feições pontuais para avaliar a sua acurácia posicional. Esta característica demonstrou que os dados avaliados para a plataforma do OSM possuem uma determinada heterogeneidade, já que as discrepâncias encontradas não apresentaram padrões de erro inerente as mesmas. Vale-se ressaltar que esta variabilidade em relação as discrepâncias de produtos cartográficos não é algo comum, sendo necessário verificar os fatores que desencadeiam tais características.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistemas de Informação Geográfica Voluntária

O desenvolvimento de tecnologia computacional nas mais diversas áreas da ciência trouxeram novas perspectivas para a cartografia em relação à produção e manipulação de informações espaciais, pois esses processos podem ocorrer através de qualquer indivíduo que tenha acesso a um computador e à internet (GANAPATI et al, 2011).

Segundo Goodchild (2007) existem sistemas que possibilitam aos usuários que não possuem habilidade na produção de dados espaciais e técnicas de manipulação, construir e elaborar produtos que representem o espaço geográfico de acordo com suas percepções, ou seja, o usuário passou a interagir com o processo de mapeamento por meio das plataformas colaborativas. A disseminação dos sistemas VGI alterou as percepções da cartografia, fazendo com que os fenômenos e objetos do mundo real sejam representados através das percepções dos indivíduos. Além disso, os dados VGI têm sido manuseados de forma continuada devido as transformações ocorridas e consequentemente geram produtos atualizados continuamente podendo ser utilizados em aplicações para cartografia e podendo vir a ser usados em produtos cartográficos oficiais.

Goodchild (2007) também afirma que as atividades envolvendo plataformas VGI surgiram da combinação da popularização dos mapas online, da própria Internet, do surgimento da Web 2.0 e do crescimento de plataformas *crowdsourcing* (plataformas colaborativas). Vinculado a essa combinação, os avanços tecnológicos nas ferramentas de comunicação que permitem a conexão móvel com dados da internet e a consequente localização/obtenção de informações de forma automatizada através de dispositivos GPS em *tablets* e smartphones favorecem o compartilhamento de dados em tempo real.

2.2 OPENSTREETMAP (OSM)

A plataforma online VGI OSM foi elaborada no ano de 2004 por Steve Coast. A sua criação teve com intuito a formulação de um sistema web de mapas livres que viabilizassem ao usuário a criação, visualização e distribuição de dados geográficos livremente. Conforme Ganapati et al (2011) a proposição do OSM é baseada a partir dos conceitos de "colaborativo e voluntário" referentes a geração de conteúdo cartográfico.

O objetivo do projeto OSM é criar um mapa mundial livre e editável (Ramm et al. 2011). Dentro do projeto, voluntários, amadores e profissionais atuam como sensores (Flanagin e Metzger, 2008) e coletam dados geográficos. Goodchild 2007 retrata que esse processo contrasta o procedimento tradicional utilizado para coleta de dados geográficos, no qual o usuário apenas faz uso dos dados, mas não é considerado um produtor/colaborador .

A motivação para contribuir na plataforma OSM varia da auto expressão à manifestação e representação da identidade online das pessoas a um simples fator divertido. Em geral, os dados para OSM podem ser derivados de múltiplas fontes, editados e importados por meio de diferentes editores disponíveis gratuitamente. Os editores mais populares são o *Java* OPENSTREETMAP Editor (JOSM) ou o editor *JavaScript* baseado na web iD.

Dados estatísticos do OSM, trouxeram à tona a maturidade com a qual a ferramenta é vista diante dos usuários colaboradores de forma geral, uma vez que conforme abordado na introdução (1), a grande quantidade de colaboradores e feições representadas revela a importância dada a referida plataforma.

A abordagem clássica é a coleta de dados espaciais com dispositivos portáteis e habilitados para GPS. Além disso, várias empresas como a *Aerowes*t, *Microsof*t Bing (Bing 2010) e *Yahoo* liberaram suas imagens aéreas para o projeto OSM. A comunidade pode usar essas imagens como uma camada de base para rastrear recursos geográficos, como por exemplo edifícios, florestas ou lagos. O conhecimento local dos colaboradores também é uma fonte valiosa de base geográfica.

2.3 Acurácia Posicional de produtos cartográficos

De acordo com Nero et al. (2017) o processo de controle de qualidade tem sido aplicado à precisão posicional de dados espaciais como verificado em Ariza-López et al (2001), Ariza-López (2002), Atkinson-Gordo, Ariza-López e García-Balboa (2007) e Cintra & Nero (2015), gerando mapeamentos com diferentes porcentagens de pontos com erros em uma determinada coordenada, acima (ou abaixo) de um limite estabelecido por um conjunto específico de padrões (CAS-Circular Accuracy Standard, LMAS-Linear Accuracy Standard, entre outros). As diretrizes de controle de qualidade para cartografia são empregadas por vários países. No Brasil, para avaliação de dados cartográficos obtidos de acordo com as características e padrões de qualidade pré-determinados foi criado o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) visando assim, classificar os aspectos de determinado produto cartográfico de acordo com os fatores e métodos utilizados em sua obtenção.

No Brasil em 1984 foi instituído o Decreto nº 89.817, que atesta que o erro máximo que pode ser encontrado referente à disposição dos pontos em um produto cartográfico gerado, no que diz respeito a exatidão das feições representadas, é de que 90% dos pontos utilizados para esta análise não deverão apresentar erros superiores aos estabelecidos pelo PEC, tanto os referentes a altimetria quanto a planimetria. O Erro Padrão é determinado de acordo com as análises realizadas no produto cartográfico e de acordo com os métodos estatísticos utilizados em sua elaboração, onde a probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro Padrão. O Erro Padrão Isolado, seja por um ponto ou feição do projeto cartográfico, não deve ultrapassar 60,8% do PEC estabelecido (BRASIL, 1984).

Sendo assim, o Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico onde a partir do gráfico probabilístico de distribuição normal pode ser representado com uma probabilidade de 90% de acordo com a dispersão estatística considerada.

Em junho de 2011 foi criada pela Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) a norma Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV). O objetivo desta especificação é atualizar os padrões vistos no Decreto Lei nº 89.817, uma vez que a mesma já não atendia as necessidades atuais aplicadas em meio digital. Então, passou-se a considerar que os avanços tecnológicos eliminaram os erros gerados pelos processos realizados anteriormente e inserindo os erros caracterizados pelos processos atuais, neste sentido o PEC de 1984 passou a ser denominado Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC PCD).

Embora tais especificações abordem parâmetros de classificação de produtos cartográficos de acordo com o PEC, não é especificada uma metodologia padrão que avalie a acurácia posicional destes. Entretanto de acordo com Merchant (1982), a análise estatística para a determinação da acurácia posicional planimétrica pode ser realizada através das análises de tendência e de precisão.

2.3.1 Análise de Tendência

De acordo com Nogueira Jr. (2003) em um determinado produto cartográfico, a análise de tendência dos seus elementos consiste em testes estatísticos entre as coordenadas de referência de determinadas feições obtidas por algum método de levantamento (Xi) em relação as coordenadas da carta a ser avaliada (Xi_c). O principal intuito dessa análise é verificar a existência de tendência de erros em alguma direção da carta. Primeiramente é necessário calcular as discrepâncias entre essas coordenadas de acordo com a equação 1.

$$\Delta Xi = Xi - Xi_c \quad (1)$$

É válido ressaltar que as discrepâncias entre as coordenadas e as análises estatísticas devem ser realizadas em relação aos dois elementos que formam o par (Latitude e Longitude) viabilizando assim a determinação da direção do erro na carta observada.

Conhecendo-se os dados referentes as discrepâncias entre as coordenadas, bem como o tamanho da amostra utilizada para as análises estatísticas calcula-se a média ($\overline{\Delta X}$) e o desvio padrão ($S_{\Delta x}$) dos mesmos a fim de que sejam obtidos parâmetros para determinar a tendência decorrente no produto cartográfico. Para que seja realizado o teste de tendência é avaliada a hipótese de que a média das discrepâncias possa ser considerada estatisticamente igual a zero, de acordo com as seguintes proposições:

$$\text{Ho: } \overline{\Delta X} = 0 \tag{2}$$

$$\text{Hi: } \overline{\Delta X} \neq 0 \tag{3}$$

A partir das hipóteses a serem identificadas, a próxima etapa consiste no cálculo da estatística amostral *t* com o intuito de verificar se o resultado está no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula. O valor de *t* amostral é obtido de acordo com a equação 4.

$$t_x = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta x}} \sqrt{n} \tag{4}$$

onde n é o número de amostras utilizadas.

Para a análise do valor de *t* encontrado é necessário associa-lo a ao valor tabelado de *t student*, verificando a viabilidade em aceitar a hipótese nula. Dessa maneira é utilizado o teste *t student* associado ao número de amostras (n) utilizadas e com um determinado nível de confiança. A equação 5 exibe a condição estabelecida do teste *t student* tabelado e em relação ao valor calculado na equação 4.

$$|t_x| < t_{(n-1;\frac{a}{2})} \tag{5}$$

onde o valor de *t student* tabelado possui (n - 1) graus de liberdade e um nível de significância α.

Dessa forma caso o módulo calculado para o *t* amostral seja menor que tabelado aceita-se a hipótese nula ($\overline{\Delta X} = 0$), ou seja a carta pode ser considerada livre de tendências significativas, contrariamente caso a desigualdade não seja satisfeita rejeita-se a hipótese nula ($\overline{\Delta X} \neq 0$) e a carta avaliada poderá apresentar erros significativos para determinado nível de confiança avaliado.

Segundo Galo e Camargo (1994) o fato de haver tendência indica possíveis erros em uma determinada direção, sendo decorrentes por uma série de fatores. Contudo conhecidas as discrepâncias e a direção das falhas o seu o efeito pode ser minimizado realizando o procedimento de subtração do seu valor em cada coordenada em análise da carta.

2.3.2 Análise de Precisão

De acordo com Nogueira Jr. (2003) a análise de precisão consiste na comparação do Desvio Padrão encontrado a partir das discrepâncias entre as coordenadas levantadas e as coordenadas avaliadas em relação ao Erro Padrão (EP) estabelecido pelo PEC de acordo com a classe em que se deseja avaliar a precisão da carta. Dessa forma a hipótese estatística levantada é de que o Desvio Padrão encontrado para as discrepâncias seja menor ou igual ao EP estabelecido pelo PEC. O teste de hipótese formulado para análise da precisão é dado da seguinte forma:

$$\text{Ho: } S^2_{\Delta x} \leq \sigma^2 x \tag{6}$$

$$\text{Hi: } S^2_{\Delta x} > \sigma^2 x \tag{7}$$

onde $\sigma^2 x$ corresponde ao desvio padrão ou erro padrão esperado de acordo com a classe da carta em que se deseja analisar.

Assumindo o valor da resultante gerada a partir do par de coordenadas como sendo o EP e considerando a análise das componentes horizontais separadamente, deve-se realizar a operação conforme a equação 8.

$$\sigma^2 x = EP/\sqrt{2} \tag{8}$$

Com estes parâmetros aplica-se o teste qui-quadrado amostral a fim de determinar a classificação da carta conforme o PEC PCD. O teste qui-quadrado amostral é dado de acordo com a equação 9.

$$X_x = (n-1)S^2_{\Delta x}/\sigma^2 x \tag{9}$$

O resultado da equação 9 permite com que seja testada hipótese nula onde utiliza-se o valor do qui-quadrado tabelado, a partir do número de amostras e grau de confiança estabelecido. A equação 10 exibe a comparação do valor calculado em relação ao valor tabelado.

$$|X^2_x| \leq X^2_{(n-1;a)} \quad (10)$$

onde o valor de Qui- Quadrado tabelado possui (n - 1) graus de liberdade e a um intervalo de confiança α.

Caso a condição da equação 10 seja atendida aceita-se a hipótese nula de que a carta atende a classe estabelecida de acordo com a precisão da mesma, caso contrário rejeita-se a hipótese nula. A análise é realizada até que a expressão seja atendida de acordo com a escala de mapeamento do PEC-PCD.

2.3.3 Aplicação do PEC PCD

Para a classificação do produto cartográfico é necessário determinar a qualidade estabelecida pela amostra utilizada, onde tal classificação está associada a escala obtida. De acordo com Merchant (1982), a determinação das amostras de referência deve ocorrer a partir técnicas cartográficas em que o erro não seja superior a 1/3 do erro padrão esperado para a classe da carta em análise.

A Tabela 1 exibe a classificação do PEC PCD planimétrico estabelecida na Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV, 2011).

Tabela 1 – PEC-PCD

PEC (1984)	PEC-PCD (2011)	PEC Planimétrico	Erro Padrão Planimétrico
	A	0,28 mm x Fator de Escala	0,17 mm X Fator de Escala
A	B	0,5 mm X Fator de Escala	0,3 mm X Fator de Escala
B	C	0,8 mm X Fator de Escala	0,5 mm X Fator de Escala
C	D	1,0 mm X Fator de Escala	0,6 mm X Fator de Escala

3 METODOLOGIA

A metodologia proposta para esta pesquisa diz respeito ao estudo relacionado com a heterogeneidade dos dados colaborativos do OSM identificados previamente a partir do trabalho de Elias et al. (2018), que constituiu na avaliação da acurácia posicional da área de estudo que contempla os campi da UFBA.

Dessa forma, as análises foram sucedidas por meio da avaliação da acurácia posicional da referida área de estudo utilizando-se seis amostras diferentes com 24 pontos de controle para uma delas, permitindo verificar a variabilidade da escala final obtida considerando a heterogeneidade dos dados colaborativos do OSM. Foram realizados os testes estatísticos de tendência e precisão propostos por Merchant (1984), no intuito de fornecer a escala de precisão correspondente ao Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) da Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV) no OSM para a referida área de estudo. Utilizou-se como base cartográfica de referência o produto obtido por Elias (2017) em seu trabalho, validado na classe A do PEC-PCD da escala de 1:3000.

Além destas verificações, foram realizadas análises diretamente na plataforma do OSM no intuito de verificar a disposição dos arquivos vetoriais nesta. Identificou-se assim, a variação temporal na edição geométrica dos dados, as características dos elementos e a compatibilidade destes com a imagem Bing utilizada para as edições. Os próximos itens descrevem as etapas realizadas neste trabalho.

3.1 Escolha das Feições Homólogas

A partir dos dados iniciais utilizados, as primeiras análises realizadas constituíram na observação das feições localizadas no produto cartográfico de referência que pudessem ser facilmente identificadas nos arquivos vetoriais do OSM. Esta verificação permitiu extrair as coordenadas destes elementos, viabilizando a realização das devidas comparações.

3.2 Determinação da Acurácia Posicional

De acordo com Merchant (1982), a análise estatística para a determinação da acurácia posicional planimétrica é composta por duas fases, sendo elas: análise de tendência e análise de precisão.

Sendo assim foi calculada a tendência dos dados de acordo com o teste estatístico de *t student* para o número de 24 amostras conforme explicitado no item 2.3.1.1. Em seguida foi analisada a precisão dos dados a partir das discrepâncias das coordenadas comparadas ao desvio padrão e aplicando o teste do qui-quadrado. Para os testes estatísticos foi utilizado

o nível de confiança de 90% estabelecido pelo PEC e 23 graus de liberdade (n-1), classificando o produto de acordo com o PEC PCD conforme itens 2.3.1.2 e 2.3.2 respectivamente. Conforme descrito inicialmente neste mesmo tópico, esta análise foi realizada com 6 diferentes espaços amostrais, permitindo quantificar o nível de heterogeneidade destes dados a partir da edição geométrica dos mesmos, uma vez que, os testes estatísticos de tendência e precisão, fornecem indicadores de dispersão em relação as amostras.

3.3 Avaliação da disposição geométrica dos dados na plataforma do OSM

Esta etapa compreendeu a verificação da disposição dos arquivos vetoriais na plataforma do OSM. Dessa forma, as análises foram sucedidas por meio de avaliações visuais referentes a compatibilidade destes em relação a imagem do Bing utilizada para que os usuários consigam realizar as edições. Foram realizadas também, verificações referentes ao período em que o dado foi editado.

Tais análises foram dadas no intuito de verificar a existência de variações na qualidade geométrica da imagem Bing de acordo com a sua atualização na plataforma do OSM. Foi realizada uma consulta na plataforma online do Bing *maps* e não foram encontradas referencias concretas quanto a última atualização das imagens que alimentam esta base de dados, conseguiu-se apenas visualizar que, nas áreas em que foram realizadas as análises, ao aproximar a imagem para as regiões verificadas que a última atualização em relação a esta base ocorreu no ano de 2018. Contudo, não se pode concluir que estas correspondam de fato ao referido ano.

Sendo assim, a existência de deslocamentos dos arquivos vetoriais do OSM em relação a imagem, poderá indicar aspectos relacionados com a variabilidade das discrepâncias obtidas por Elias et al. (2018), apresentando evidências relacionadas com a heterogeneidade nas edições geométricas destes dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este tópico tem como objetivo apresentar os resultados obtidos em relação a avaliação da acurácia posicional dos dados do OSM relacionados aos testes de tendência e precisão, bem como o estudo relacionado com a heterogeneidade dos mesmos.

4.1 Avaliação da acurácia posicional

A tabela 2 exibe os resultados obtidos para os testes estatísticos de tendência e precisão para cada amostra avaliada, bem como as classificações de cada uma delas de acordo com o PEC-PCD.

Tabela 2 – Resultados dos testes de tendência e precisão para os campi da UFBA no OSM.

ID	Teste de Tendência (1,714)		Qui-Quadrado (32,007)		
	Delta (E)	Delta (N)	Delta (E) (m)	Delta (N) (m)	Escala (Classe A - PEC/PCD)
Amostra 1	0,562	-4,587	16,489	31,517	1:20.000
Amostra 2	1,204	-3,142	20,286	16,343	1:30.000
Amostra 3	0,301	-3,041	12,43	14,505	1:30.000
Amostra 4	-0,047	-2,968	30,489	28,56	1:20.000
Amostra 5	0,099	-4,245	30,748	17,244	1:20.000
Amostra 6	0,922	1,181	12,16	23,329	1:30.000

Nas discrepâncias avaliadas em relação às seis amostras, foi possível notar que houve variações que apresentaram valores de 0,20m até 10,00m, o que evidencia a heterogeneidade dos dados. Os testes de tendência e precisão, por se tratarem de análises estatísticas de dispersão em relação aos valores de média e desvio padrão, permitem verificar o nível de variação destes elementos e a atribuição de uma dada escala conforme o PEC-PCD.

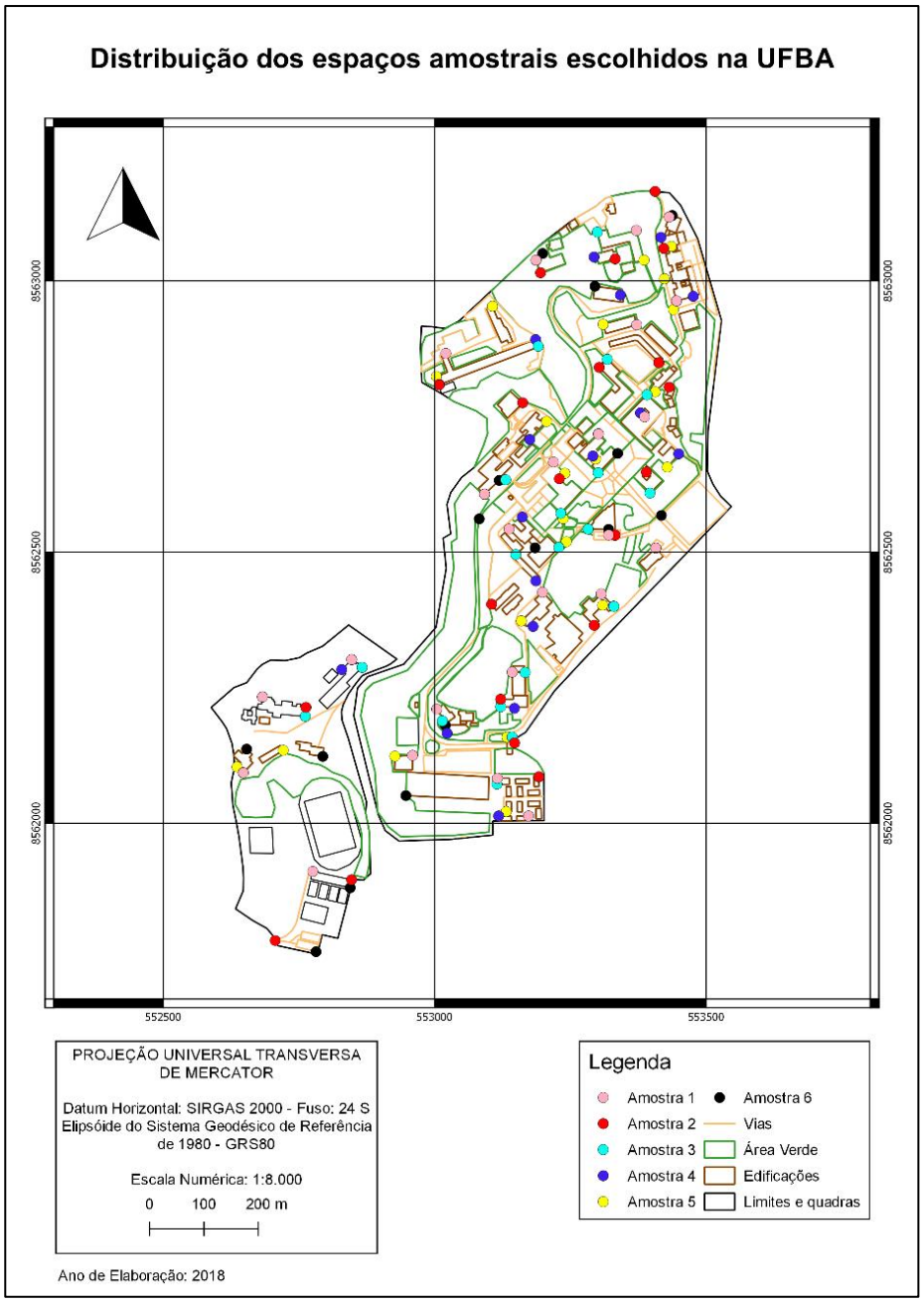
Dessa forma, foram extraídos os elementos que indicam a dispersão e heterogeneidade das edições geométricas das informações geográficas voluntárias para a área de estudo que contempla a UFBA. Neste sentido, notou-se que no OSM a escolha dos pontos de controle que formam uma determinada amostra interfere na escala final encontrada pelo teste de precisão.

Com os resultados apresentados na tabela 2 é viável realizar os testes estatísticos propostos por Merchant (1984) inúmeras vezes na mesma localidade utilizando diferentes espaços amostrais, no intuito de estimar a variabilidade dos dados, permitindo verificar o quão dispersas estão as informações das análises realizadas.

Estas constatações permitiram analisar os níveis de dispersão das seis amostras utilizadas, nas quais quanto mais dispersa a amostra escolhida, mais heterogêneos são os dados. Na análise de *t student* notou-se que para a coordenada N, houve tendências de erros para cinco amostras avaliadas, por sua vez, na coordenada E, não houve tendência em nenhuma

amostra verificada. Esta análise permitiu verificar que, com exceção da amostra 6, as discrepâncias apresentaram padrões similares em relação aos resultados obtidos. Por sua vez, no que diz respeito ao teste de precisão, notou-se que as escalas finais de mapeamento obtidas pelo teste qui-quadrado variaram de 1:20.000 a 1:30.000, ou seja, a variabilidade da edição geométrica dos dados do OSM permitiu evidenciar que esta interfere na escala final obtida, fato que não ocorreria nos dados obtidos por técnicas da cartografia de referência (levantamento topográfico, fotogrametria clássica, rasteio GNSS, etc). O mapa da figura 1 exibe a distribuição dos pontos de controle em cada amostra utilizada.

Figura 1 – Mapa da distribuição dos espaços amostrais escolhidos na UFBA



Fonte: Elaborada pelos autores (2018)

4.2 Avaliação da disposição dos dados na plataforma do OSM

As verificações realizadas na plataforma OSM na região de estudo da UFBA, permitiram evidenciar elementos que foram editados em períodos distintos e por diferentes perfis de usuários, com variações temporais de seis meses até dois anos. Dessa forma, tal aspecto indica que os dados são heterogêneos. Esta análise foi evidenciada por meio da

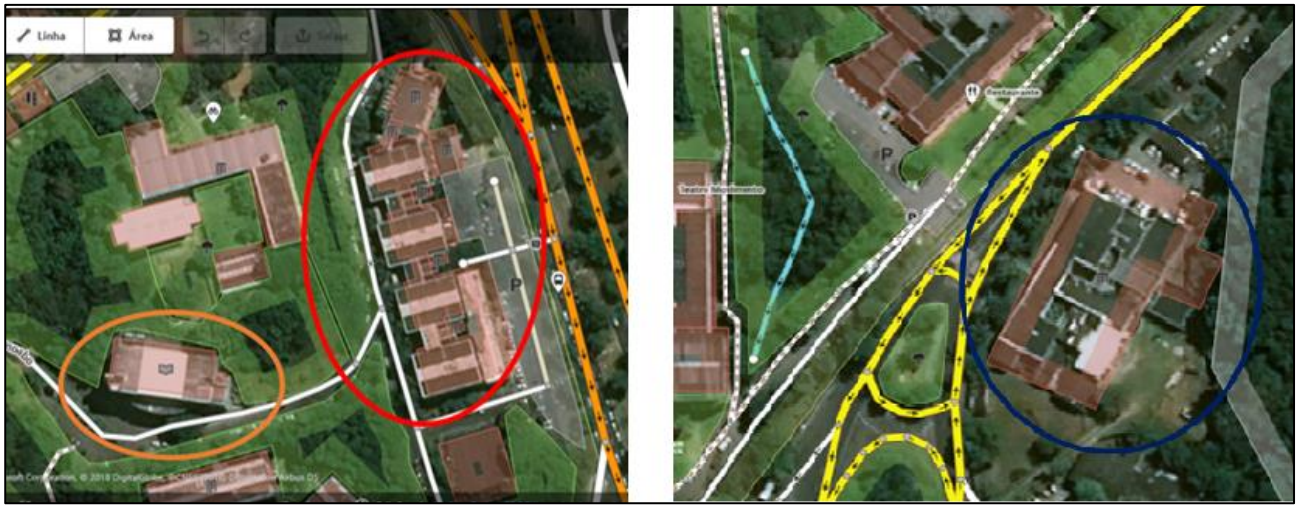
verificação do ano de digitalização de alguns elementos da área de estudo, notando-se que, existem grandes discrepâncias temporais nos arquivos vetoriais desta plataforma. Podendo ser citados tais exemplos:

- Quadra poliesportiva de Ondina – Ano da última edição: 2013;
- Estacionamento do Pavilhão de Aulas da Federação I – Ano da última edição: 2015;
- Via de acesso ao Portão Principal de Ondina – Ano da última edição: 2015;
- Instituto de Geociências: Ano da última edição: 2016;
- Praça das Artes de Ondina - Ano da última edição: 2018.

A partir dos exemplos citados, é possível notar a variabilidade temporal com a qual estão dispostas as feições analisadas na plataforma do OSM, uma vez que, os anos de edição dos itens verificados variaram de 2013 até 2018. Esse fato demonstra características inerentes ao mapeamento colaborativo no qual as informações são obtidas em diferentes datas. É válido ressaltar também, que o nível de atualização das feições pode estar relacionado com as edições geométricas sobre as mesmas ou em relação aos atributos que as classificam.

Análises visuais na plataforma do OSM, evidenciaram determinadas incompatibilidades da imagem de satélite utilizada com os arquivos vetoriais editados, conforme exibidas na figura 2.

Figuras 2 - *Layout* de edição da plataforma OSM no campus de Ondina da UFBA, onde o traçado das edificações não coincide com a base de imagens do Bing



Fonte: Elaborada pelos autores (2018)

A figura 2 exibe deslocamentos aparentes nos traçados de alguns elementos para localidades diferentes na plataforma do OSM. São indicadas três edificações na área de estudo que possuem discrepâncias quanto a posição das edificações homólogas localizadas na imagem do Bing. Verificou-se o ano de edição das referidas camadas analisadas e constatou-se que as edificações selecionadas foram editadas no ano de 2017.

Presume-se que os deslocamentos aparentes ocorrem devido a incompatibilidade geométrica das imagens que são atualizadas na plataforma OSM desencadeadas a partir da base de dados do Bing. Uma vez que a imagem de satélite utilizada pelo motor de pesquisa da *Microsoft*: Bing, que alimenta a plataforma do OSM é atualizada continuamente, não se sabe ao certo em qual imagem os dados foram editados de acordo com o período de tempo em que estas ocorreram, desconhecendo-se também a qualidade geométrica destas imagens. Assim sendo, é possível notar que as variações obtidas em relação a escala final das amostras utilizadas podem estar relacionadas com o período em que as edições geométricas ocorreram e consequentemente, com as características da imagem Bing utilizada como plano de fundo para que o usuário realizasse as edições.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O trabalho realizado permitiu obter uma análise da plataforma OSM referente nível de precisão posicional de feições pontuais em relação a bases cartográficas de referência para área de estudo que corresponde aos *campi* da UFBA, viabilizando estimar os níveis de acurácia e precisão de amostras para a referida área e estabelecer parâmetros para que informações desta plataforma possam ser utilizados a fim de auxiliar em dados de referência, uma vez que, sabe-se da dificuldade inerente a geração e manutenção de bases cartográficas de diversas localidades.

Diante dos resultados apresentados, a heterogeneidade dos dados evidenciou que para este tipo de plataforma, as técnicas comuns de amostragem previstas na literatura e nas especificações técnicas de mapeamento não fornecem um número de amostras suficientes para determinar o comportamento das discrepâncias obtidas, uma vez que, estas se adequam a dados homogêneos em que uma quantidade mínima de amostras é suficiente para determinar o comportamento de toda a população estatística. Dessa forma, para análises de feições em produtos oriundos de mapeamento colaborativo indica-se utilizar diferentes espaços amostrais para a realização dos testes estatísticos, uma vez que como apresentado existem variações temporais nos elementos da plataforma do OSM relacionadas a imagem do Bing utilizada que fogem do conhecimento dos usuários colaboradores, referentes a incompatibilidade geométrica da edição de feições na referida plataforma.

No que diz respeito a análise da dispersão dos dados colaborativos, os testes estatísticos de tendência e precisão, além de fornecerem parâmetros referentes a escala de mapeamento que se adeque as discrepâncias obtidas, permitem realizar análises quanto a variabilidade dos dados avaliados. De acordo com a hipótese proposta para o teste de tendência, esta análise consiste em avaliar se a média das discrepâncias pode ser considerada estatisticamente igual a zero. Visto que as amostras oriundas em plataforma de mapeamento colaborativo do OSM apresentaram uma variabilidade muito grande nas discrepâncias, a não existência de tendência de erros significativos pode estimar o nível de dispersão da amostra conforme exibido no caso da amostra 6. Apesar de não ter apresentado tendência de erros em nenhuma das direções avaliadas, a análise das discrepâncias permitiu verificar a heterogeneidade dos dados. Dessa forma, no que diz respeito aos dados colaborativos do OSM avaliados, o fato do teste estatístico de *t student* ter sido aceito indicou que os valores das discrepâncias estão dispersas em torno da média zero e nas demais amostras (teste *t student* não aceito) esta dispersão amostral ainda continuou existindo, porém com possíveis tendências de erros na coordenada Norte. Na análise do teste de qui-quadrado avalia-se uma determinada amostra, verificando se o desvio-padrão das discrepâncias pode ser considerado menor ou igual ao EP estabelecido pelo PEC-PCD. Assim, é obtida a escala de mapeamento que melhor se adeque aos valores encontrados. Tratando-se das amostras do OSM utilizadas, a análise foi dada por meio da verificação da magnitude da dispersão dos destes dados, onde quanto menor o valor da escala obtida, mais dispersas estarão as amostras, utilizando como referência este EP atribuído. É válido ressaltar que para a interpretação correta do comportamento amostral, é necessário que as análises de tendência e precisão sejam realizadas em conjunto, viabilizando a verificação das discrepâncias obtidas.

Diante do processo de amostragem relacionada a estes dados, devido a dispersão obtida, é avaliada também a viabilidade em realizar determinados tipos de análises estatísticas que apresentem melhor a disposição das informações, como o teste z para grandes amostras, o teste de normalidade para avaliar se é possível realizar a estatística *t student* e a estatística não paramétrica de *Wilcoxon* para avaliar a acurácia dos dados sem a dependência de que determinadas amostras provenham de uma distribuição normal. Sugerem-se também estudos abrangentes relacionados com os valores obtidos ao realizar as análises de tendência de amostras oriundas de dados VGI de acordo com a média e desvio-padrão obtidos nas discrepâncias, no intuito de verificar padrões relacionados a existência de dispersão nos elementos.

No que diz respeito a temporalidade da edição dos dados é importante também, que sejam realizados estudos relacionados ao quantitativo de feições do OSM que são modificadas em relação a sua geometria ou aos atributos inerentes a mesma, permitindo avaliar os níveis de contribuições na plataforma e gerar demais constatações voltadas a compatibilidade dos elementos em relação a imagem do Bing.

Sendo assim, estudos sobre a eficiência de plataformas VGI para alimentar bases de referência é de fundamental importância no intuito de gerar diferentes referentes a comunidade cartográfica e da contribuição da sociedade para a geração de produtos cartográficos.

REFERÊNCIAS

ATKINSON-GORDO, a. D. J., ARIZA-LÓPEZ, f. J. Y GARCÍABALBOA, J. L. 2007. **Estimadores robustos: uma solución en la utilización de valores atípicos para el control de la calidad posicional**. Geofocus (artículos), 7, 171-187, issn: 1578-5157.

ARIZA-LÓPEZ, F. J., ATKINSON-GORDO, A. D. J. AND NERO, M. A. **Análisis de algunas metodologías de evaluación de la componente posicional**. Topografía y cartografía: Revista del ilustre colegio oficial de ingenieros técnicos en topografía, v. 24, p. 32-45, 2007

ARIZA-LÓPEZ, F.J. **Calidad en la Producción Cartográfica**. 1. ed. Madrid, Espanha: Editora RaMa, 2002.
BARRON, C., NEIS, P., ZIPF, A. **A comprehensive framework for intrinsic OpenStreetMap quality analysis**. Transactions in GIS 18 (2014).BRASIL. Decreto Lei nº 89.817 de 1984. **Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasil, 1984.

BRAVO, J. **A confiabilidade semântica das Informações Geográficas Voluntárias como função da organização**

mental do conhecimento espacial. Dissertação de Mestrado, UFPR, Paraná, 2014.

CINTRA, J. P.; NERO, M. A. **New method for positional cartographic quality control in digital mapping**. Journal of Surveying Engineering, v. 141, p. 04015001-104015001-10, 2015.

CORMODE, G.; KRISHNAMURTHY, B. **Key differences between Web 1.0 and Web 2.0.** First Monday, vol.13, n.6, 2008.

ELIAS, E. N. N. **Atualização cartográfica através de imagens obtidas com o uso de Veículo Aéreo não Tripulado (VANT) quadrotor)**. 2017.154f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) – Escola Politécnica, Universidade Federal Bahia. Salvador, Bahia.

ELIAS, E. N. N.; FERNANDES, V. O.; ALIXANDRINI JUNIOR, M. J**. Positional Accuracy Assessment of the VGI Data from OpenStreetMap - Case Study: Federal University of Bahia Campus in Brazil**. In: 4th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management, 2018, Funchal. Proceedings of the 4th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management, 2018. p. 231-238.

FLANAGIN, A. METZGER, M. **The Credibility of Volunteered Geographic Information**. GeoJournal. 2008.

GANAPATI, Sukumar. **Uses of Public Participation Geographic Information Systems Applications in E-Government.** Public Administration Review, v. 71, n. 3, p. 425-434, 2011.

GALO, M., CAMARGO, P. O. **Utilização do GNSS no controle de qualidade de cartas**. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 1. – COBRAC, Anais... v. 2, Florianópolis, 1994.

GOODCHILD, M. F. **Citizens as sensors: the world of Volunteered Geography**. GeoJournal, vol.69, 2007.

INDE. Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ETADGV). Brasil, v. 2.1.3, p. 16 – 20, 2012.

ISO 19114: **Geographic Information - Quality Evaluation Procedures**. International Organization for Standarization, 2001.

ISO 19157: **Geographic Information - Data Quality**. International Organization for Standarization, 2011.

ISO 19113:2005. **Geographic information – Quality principles** (ISO 19113:2002).

MERCHANT, D. C. **Spatial Accuracy Standards for Large Scalle Line Maps**. In: Techinical Congress on Surveing and Mapping. Proceedings. v. 1, 1982.

NERO, M.; CINTRA, J. P.; FERREIRA, G. F.; PEREIRA, A. T. J.; FARIA, T. S.; (2017) **A computational tool to evaluate the sample size in map positional accuracy**, Bulletin of Geodetic Sciences, vol. 23 (3), 445-460. doi: 10.1590/S1982-21702017000300030

NOGUEIRA JR., J. B. **Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica. Presidente Prudente**. 2003, 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Cartográfica) - UNESP, Campus Presidente Prudente.

O'REILLY, T. What is Web 2.0: **Design patterns and business models for the next generation of software**. Communications & Strategies, vol.65, n.1, 2007.

OPENSTREETMAP. Site <**www.openstreetmap.org/stats/data_stats.html**>, acessado em agosto de 2018.

RAMM F, Names I, Files SS, Catalogue F, Features P, Features N, Related T, Infrastructure T, Generation P, Features L, et al (2011) **OpenStreetMap data in layered GIS** format pp 1–21.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

AVALIAÇÃO DA PRECISÃO E EXATIDÃO POSICIONAL DE DADOS FOTOGRAMÉTRICOS OBTIDOS COM A TECNOLOGIA VANT NO PROJETO CAMPUSMAP

LUCIENE STAMATO DELAZARI [(1)]
LEONARDO ERCOLIN FILHO [(1)]
ELIZABETE BUGALSKI DE ANDRADE PEIXOTO [(2)]

Universidade Federal de Paraná – UFPR
[(1)] Setor de Ciências da Terra – Departamento de Geomática (DGEOM)
[(2)] Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (PPGCG)
luciene@ufpr.br, leonardo.ercolin@ufpr.br, betypeixoto@gmail.com

RESUMO - Este artigo apresenta uma avaliação da precisão e exatidão posicional de dados fotogramétricos obtidos com a tecnologia VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) no projeto CampusMap (www.campusmap.ufpr.br) que está sendo desenvolvido pelo Departamento de Geomática (DGEOM) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Inicialmente são apresentadas as etapas de planejamento para a realização do levantamento aerofotogramétrico com a tecnologia VANT para a coleta de cerca de 1400 imagens no campus Centro Politécnico, além da coleta de pontos de controle e de verificação utilizando receptores GNSS (Global Navigation Satellite System). Tais atividades visam a elaboração de uma base cartográfica na escala 1:1000 para dar suporte às atividades de ensino, pesquisa, extensão, além de fornecer ferramentas de apoio à gestão universitária. Para avaliar a qualidade dos resultados obtidos no georreferenciamento do bloco de imagens, foram realizadas análises estatísticas das discrepâncias entre as coordenadas dos pontos de verificação e leituras tridimensionais realizadas em modelos estereoscópicos, quando comparadas aos valores estabelecidos pelo PEC-PCD (Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais). As análises mostram que o georreferenciamento dos dados fotogramétricos oriundos dessa tecnologia permite a geração de produtos cartográficos com precisão planialtimétrica compatível com escalas cadastrais.

ABSTRACT - This article presents the results of the assessment of precision and accuracy of the photogrammetric data obtained with UAV (Unmanned Aerial Vehicle) for the project CampusMap (www.campusmap.ufpr.br), that is being developed by the Geomatics Department (DGEOM) of the Federal University of Paraná (UFPR). We present the planning and data collection of 1400 images of Centro Politécnico using RPAS technology, as well as the survey of both control and check points using GNSS. These activities will support the base map production in the 1:1000 scale which will be used for teaching, research and extension activities, as well as to support the University management. In order to evaluate the quality of the results of georreferencing obtained in the image block it was performed an analysis of the discrepancies between the three-dimensional coordinates of the check points and the three-dimensional coordinates in stereoscopic models. Then, these values were compared to the values established by the PEC-PCD (Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais) and the results show that the georeferencing of the photogrammetric data obtained by RPAS allows the generation of cartographic data which met the planimetric precision for use in cadastral scales.

1 INTRODUÇÃO

A Universidade Federal do Paraná tem uma estrutura física composta de 26 campi, em diferentes cidades do Estado do Paraná. Sua estrutura é composta por 14 setores, além dos campi de Jandaia do Sul e Toledo. De acordo com o relatório "UFPR em Números" do ano de 2016, são mais de 11 milhões de metros quadrados de área de terreno, cerca de 500 mil metros de área construída e 316 edificações. São 6362 servidores, entre técnicos administrativos e docentes, cerca de 50.000 alunos de graduação e 10.000 de pós-graduação e grande parte da comunidade acadêmica desconhece o espaço no qual desenvolve suas atividades. Se forem consideradas as pessoas externas à essa comunidade que circulam pelas dependências da UFPR, esses números crescem ainda mais: são prestadores de serviços terceirizados, entregas e a comunidade em geral. O desconhecimento do espaço e de suas características têm impactos diretos em questões como gerenciamento de recursos (materiais e humanos), da infraestrutura dos campi, tanto no interior quanto no exterior dos

edifícios, segurança, dentre outras questões que podem ser suportadas pelo uso de uma base de dados geoespaciais atualizada como elemento básico para o conhecimento do espaço.

No ano de 2017, o Departamento de Geomática (DGEOM) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), deu início ao desenvolvimento de projetos de pesquisa e extensão voltados para o desenvolvimento de metodologias para a geração de uma base de dados geoespaciais que permitirá aos diversos usuários do campus Centro Politécnico, o conhecimento e a gestão dos espaços da universidade. Neste contexto, os Veículos Aéreos Não-Tripulados se apresentam como uma alternativa nova e muito flexível na obtenção de dados fotogramétricos para a geração dessa base de dados. Esta plataforma, em modelo com multirotores ou asa fixa, permite realizar a aquisição de dados utilizando câmeras digitais ou sensores de varredura LiDAR (*Light Detection And Ranging*) em modos de voo manual, semiautomático ou autônomo. Além disso, os novos programas de processamento de dados que combinam algoritmos de SFM (*Structure from Motion*) possibilitam realizar as etapas fotogramétricas de extração de pontos homólogos, ajuste simultâneo do bloco, geração dos modelos digitais de superfície e terreno, bem como geração de imagens ortorretificadas.

Baseado neste contexto, o campus Centro Politécnico da UFPR foi definido como área para o desenvolvimento do projeto piloto, onde a metodologia para coleta, processamento, análise e divulgação dos dados está sendo desenvolvida, testada e validada para que possa servir como referência para as demais localidades de interesse.

1.1 Contexto

O CampusMap é um projeto de pesquisa e extensão que teve seu início em 2014 na Universidade Federal do Paraná, a partir da necessidade de mapear o interior das construções do campus Centro Politécnico, de modo que a comunidade acadêmica pudesse ter conhecimento a respeito do espaço interno da estrutura do campus. Neste projeto, as atividades que são desenvolvidas envolvem alunos de graduação, na forma de estágios e bolsas de iniciação científica, bem como alunos de mestrado e doutorado no desenvolvimento de pesquisas. Dentre elas, destacam-se:

- ✓ Proposição e análise de representações cartográficas para a representação dos ambientes indoor;
- ✓ Identificação de pontos de referência nos ambientes indoor;
- ✓ Proposição e análise de mecanismo de posicionamento indoor utilizando redes *wifi*;
- ✓ Desenvolvimento de algoritmos para roteamento em ambientes indoor e entre ambientes indoor/outdoor; e
- ✓ Implementação de um site com as informações do campus Centro Politécnico.

O estágio atual de desenvolvimento do CampusMap prevê a incorporação de dados que servirão de suporte a diferentes atividades, como por exemplo: plano de arborização do campus, acessibilidade, iluminação e resíduos sólidos. Entretanto, para que essas atividades possam ser desenvolvidas de forma eficiente, identificou-se a necessidade de atualizar a base cartográfica que foi produzida no ano 2000. Isso se deve ao fato de que a mesma se encontra desatualizada, devido a diversas alterações ocorridas no campus. Deste modo, com o objetivo de flexibilizar a coleta de informações utilizando novas ferramentas, optou-se por utilizar a tecnologia VANT para realizar o levantamento aerofotogramétrico do campus e adotar métodos fotogramétricos convencionais para produzir a nova base cartográfica.

Para a realização da primeira do projeto de atualização cartográfica, a UFPR contou com a cooperação técnica sem fins lucrativos de empresas privadas como a Mundi Serviços de Geodésia, Cartografia e Segurança do Trabalho Ltda. (http://www.mundigeo.com/) e do SIMEPAR - Sistema Meteorológico do Paraná (http://www.simepar.br), no fornecimento de um equipamento VANT modelo DJI Phantom 4 bem como realização do aerolevantamento de toda a área do campus. Em seguida, foram realizadas campanhas de medição de pontos de controle e de verificação da qualidade posicional através de levantamentos geodésicos com receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Atualmente, encontram-se em execução as etapas de restituição estereofotogramétrica, geração de modelos digitais de superfície e terreno, bem como geração de ortoimagens e mosaicos através da cooperação sem fins lucrativos da empresa BSM Serviços Cartográficos Ltda (http://www.brasilsulmapas.com.br/).

1.2. Objetivos

Em geral, a análise da precisão e exatidão é realizada no produto cartográfico final do mapeamento, no formato matricial (ortoimagens e modelos digitais e superfície e terreno) ou vetoriais (restituição estereofotogramétrica). Como resultado da análise, esse produto é classificado em uma das classes do PEC-PCD, de acordo com a escala de interesse. Entretanto, os produtos intermediários, como o georreferenciamento da aerotriangulação, não são avaliados. Deste modo, considerando o recente uso da tecnologia VANT para execução de mapeamento, pretende-se analisar a qualidade do georreferenciamento dos dados fotogramétricos oriundos dessa tecnologia, bem como verificar a compatibilidade do seu uso para a geração de produtos cartográficos com precisão planialtimétrica compatível com escalas cadastrais para uso no projeto CampusMap. Desta forma, neste artigo serão apresentados os resultados obtidos através das análises estatísticas realizadas a partir das discrepâncias entre as coordenadas dos pontos de verificação e leituras

tridimensionais realizadas em modelos estereoscópicos, bem como os resultados comparativos aos valores estabelecidos pelo PEC-PCD (Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais) (DSG, 2011).

2. MATERIAIS E METODOS

2.1. Levantamento aerofotogramétrico utilizando a tecnologia VANT

O VANT é uma tecnologia composta de uma aeronave pilotada remotamente. Em geral, essa tecnologia também é conhecida pelas siglas internacionais: UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), UAS (*Unmanned Aerial System*) e mais recentemente RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) ou simplesmente "drone". Dentre os equipamentos que possuem a tecnologia VANT, destacam-se as aeronaves que são controladas a partir de uma estação de controle terrestre, ou ainda voam de forma autônoma com base em planos de voo pré-programados. Atualmente, essa tecnologia tem crescido de maneira substancial ao redor do mundo, principalmente como ferramenta para a realização de projetos de Fotogrametria. Além disso, os últimos avanços ocorridos no desenvolvimento de programas computacionais, materiais mais leves e resistentes, sistemas compactos de georreferenciamento (posição e orientação), avançados links para transferência de dados, bem como sofisticados sensores de coleta de informações, mostram que a tecnologia VANT pode ser usada como uma ferramenta alternativa para a realização de levantamentos aerofotogramétricos, pois permite maior flexibilidade na etapa de coleta de informações, bem como a elaboração de bases cartográficas através de processos fotogramétricos quando comparados com projetos fotogramétricos convencionais onde a coleta de informações é realizada com aeronaves convencionais.

Para a execução de projetos com a finalidade de mapeamento fotogramétrico, além da coleta de imagens, todo o processamento visando o georreferenciamento do bloco de imagens pode ser feito utilizando programa específicos como o PhotoScan da Agisoft (http://www.agisoft.com) que utilizam algoritmos de correlação baseada em SFM (*Structure from Motion*), bem como ajustamento simultâneo do bloco de imagens com recursos de calibração em serviço (*On-the-job Calibration*). Em seguida, informações tridimensionais da nuvem de pontos podem ser extraídas utilizando algoritmos de correlação que também são baseados em SFM com o objetivo de modelar tridimensionalmente a área de projeto. Paralelamente, podem ser extraídas informações planialtimétricas a partir de restituição estereofotogramétrica digital. Através dessas informações, são produzidas ortoimagens e mosaicos que compõem o conjunto de dados juntamente com a base cartográfica planialtimétrica vetorial.

Neste projeto, utilizou-se o equipamento tipo VANT modelo Phantom 4 da empresa chinesa DJI (http://www.dji.com), apresentado na Figura 1, que oferece grande flexibilidade, ou seja, desde o uso recreativo, bem como o uso profissional, na geração de vídeos que podem ser utilizados para fins de monitoramento e segurança, mas também a execução de projetos para fins fotogramétricos.

Figura 1 – Equipamento VANT modelo DJI Phantom 4.

Fonte: http://www.dji.com. Acesso em: 20/08/2018.

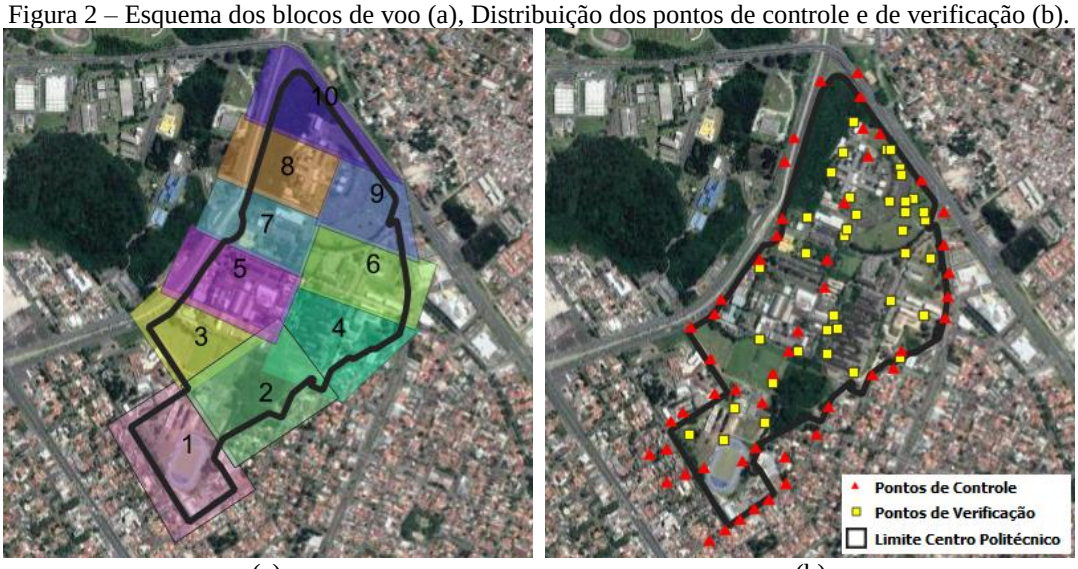
A etapa de planejamento do levantamento aerofotogramétrico com a tecnologia VANT consistiu em definir parâmetros técnicos em conformidade com as regras para execução de aerolevantamentos com RPAS definidas pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2017). Tais regras encontram-se disponíveis no link: http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release_drone.pdf. Dentre os principais parâmetros definidos, destacam-se a altura de voo de 60m planejada de acordo com a Classe 3 (equipamentos com peso abaixo ou igual a 25kg) e o modo de operação VLOS no qual o piloto mantém o contato visual direto com o drone (sem o auxílio de lentes e outros equipamentos). A Tabela 1 apresenta os parâmetros técnicos do equipamento utilizado, bem como os de execução do levantamento aerofotogramétrico.

Tabela 1 – Parâmetros técnicos do equipamento e de execução do levantamento aerofotogramétrico.

Item	Valor Previsto
Modelo do VANT:	DJI Phantom 4
Modelo da câmera:	FC 330
Distância focal nominal:	3.61 mm
Dimensões da imagem:	4000 x 3000 pixels
Resolução geométrica do pixel:	1.56 μm
Altura de voo:	60m
Resolução média do pixel no terreno:	≈2,5cm
Sobreposição longitudinal:	80%
Sobreposição lateral:	60%
# total de blocos de voo (decolagens):	10
# total de faixas:	70
# total de fotos:	1900

A etapa de planejamento para levantamento dos pontos de controle e verificação teve como objetivo estabelecer o referencial geodésico tridimensional necessário para o georreferenciamento do bloco de imagens, bem como a análise da precisão e exatidão. Levando-se em consideração que o equipamento DJI Phantom 4 registra apenas a posição (φ, λ, h) no instante de aquisição da imagem com precisão de navegação, a distribuição de um total de 50 pontos de controle no bloco fotogramétrico foi planejada de acordo com um projeto fotogramétrico convencional, ou seja, admitindo-se que a informação prévia de posição e orientação (X_0, Y_0, Z_0, ω, φ, κ) de cada uma das imagens é desconhecida. Além dos pontos de controle, foi também planejado um total de 35 pontos de verificação que foram distribuídos na área, sendo parte desses pontos pertencente à Rede Topográfica da UFPR (Wandresen, et al, 2018) e Referências de Nível pertencentes à RAAP (Rede Altimétrica de Alta Precisão) do SGB (Sistema Geodésico Brasileiro). A figura abaixo mostra um esquema dos blocos de voo juntamente com a distribuição dos pontos de controle e de verificação.

Figura 2 – Esquema dos blocos de voo (a), Distribuição dos pontos de controle e de verificação (b).



(a) (b)

2.2 Processamento dos dados

Para o processamento e ajustamento do bloco de imagens, utilizou-se o programa Agisoft Photoscan. A etapa de extração de pontos fotogramétricos foi realizada utilizando ferramentas de extração e correlação de pontos baseadas em algoritmos SFM. Em seguida, utilizando informações dos pontos de controle, empregou-se o modelo de ajustamento simultâneo com parâmetros adicionais, ou seja, os parâmetros de orientação exterior do bloco de imagens e as coordenadas tridimensionais dos pontos fotogramétricos no espaço objeto foram determinadas com parâmetros de orientação interior da câmera: distância focal (f), coordenadas do ponto principal (x0, y0), coeficientes de distorção radial simétrica (k1, k2, k3) e descentrada (p1, p2).

Após finalizar o ajustamento do bloco de imagens, para avaliar a qualidade posicional dos resultados obtidos, foram gerados modelos estereoscópicos para leitura tridimensional dos pontos de verificação, bem como para analisar estatisticamente as discrepâncias das componentes posicionais conforme o PEC-PCD da ET-EDGV (Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais). Essa especificação define que para que um produto cartográfico digital possa ser aceito como produto de Referência do SCN (Sistema Cartográfico Nacional) e consequentemente para a INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais), assim como previsto no PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) de produtos analógicos, noventa por cento (90% ou 1,6449*EP) das discrepâncias de pontos coletados no produto cartográfico, quando comparados com as suas coordenadas obtidas em campo por técnicas de levantamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*) com precisão geodésica, devem apresentar os valores iguais ou inferiores aos previstos ao PEC-PCD, devendo ainda apresentar os valores de EP (Erro Padrão) também iguais ou inferiores aos previstos. Embora o PEC-PCD defina valores de referência para diversas escalas de mapeamento, neste projeto, foram consideradas apenas os valores de referência da classe A para a escala 1:1000, ou seja, PEC = 0,28m e EP = 0,17m para a planimetria e PEC = 0,27m e EP= 0,17m para a altimetria.

Para avaliar a qualidade dos resultados obtidos conforme padrões estabelecidos no PEC-PCD para a classe A na escala 1:1000, foram aplicados testes estatísticos em duas fases conforme proposto por Dean Merchant (MERCHANT, 1982). A primeira fase consistiu no cálculo da estatística "*t de Student*" para detecção de erros sistemáticos em cada uma das componentes posicionais (X, Y, Z) e a segunda fase no cálculo da estatística "*Qui-Quadrado*" para análise da exatidão. As equações utilizadas em ambos os testes seguem apresentadas abaixo:

$$t = \frac{\overline{\Delta x}}{\sigma_x}\sqrt{n} \tag{1}$$

$$\chi^2 = \frac{\sigma^2_{\Delta x}}{\sigma^2_x}(n-1) \tag{2}$$

Onde: t = valor da estatística amostral na distribuição "*t de Student*";
χ^2 = valor da estatística amostral na distribuição "*Qui-quadrado*";
$\overline{\Delta_x}$= média aritmética das discrepâncias de cada uma das componentes posicionais (X, Y, Z);
σ_x= desvio-padrão tabelado conforme PEC (EP);
σ^2_x= variância tabelada conforme PEC (EP);
$\sigma^2_{\Delta x}$ = variância amostral; e
n = tamanho da amostra.

Para avaliar a precisão e exatidão máxima alcançada pelos resultados, as equações (1) e (2) foram reescritas nas equações (3) e (4), de modo a possibilitar o cálculo dos valores de desvio-padrão (σ_x) e variância amostral (σ^2_x) com base nos valores estatísticos estabelecidos nas tabelas "*t de Student*" ($t_{n-1,\alpha/2}$) e "*Qui-Quadrado*" ($\chi^2_{n-1,\alpha}$) onde "n" representa o tamanho da amostra de pontos de verificação e α corresponde ao nível de significância de 90% conforme estabelecido no PEC-PCD.

$$\sigma_x = \frac{\overline{\Delta x}}{t_{n-1,\alpha/2}}\sqrt{n} \tag{3}$$

$$\sigma^2_x = \frac{\sigma^2_{\Delta x}}{\chi^2_{n-1,\alpha}}(n-1) \tag{4}$$

Comparando-se os valores máximos de desvio-padrão e variância obtidos nas equações (3) e (4) com os valores do Erro Padrão conforme PEC-PCD para a classe "A" na escala 1:1000, a precisão e exatidão proporcional foi obtida através das equações abaixo:

$$Precisão(\%) = \frac{\sigma_x}{EP} \tag{5}$$

$$Acurácia(\%) = \frac{\sigma^2_x}{EP^2} \tag{6}$$

Através dos valores obtidos em (5) e (6), é possível determinar a precisão e a exatidão de forma proporcional em relação à escala 1:1000 estabelecida no PEC-PCD para a classe "A". Este cálculo visa avaliar a qualidade posicional dos resultados obtidos no georreferenciamento, diferentemente dos critérios do PEC-PCD que são aplicados ao produto cartográfico, ou seja, restituição estereofotogramétrica, ortoimagens e modelos digitais de terreno e superfície.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados obtidos nas etapas de execução do levantamento aerofotogramétrico, georreferenciamento do bloco de imagens e análise de precisão e exatidão conforme padrões estabelecidos no PEC-PCD para a classe "A" na escala 1:1000. A Figura 3 mostra o fotoíndice resultante do processamento do bloco de imagens no programa Agisoft Photoscan. O número total de imagens inicialmente planejado foi reduzido de 1900 para 1438 em função da grande sobreposição dos blocos de voo.

Figura 3 – Fotoíndice resultante do processamento do bloco de imagens.

A Tabela 2 mostra um resumo das informações técnicas do bloco de imagens resultante do processamento. São apresentadas informações do número total de fotos, total de pontos fotogramétricos, total de pontos de controle e verificação, bem como o erro planimétrico, altimétrico e planialtimétrico.

Tabela 2 – Informações técnicas do bloco de imagens e estatística dos pontos de controle e verificação.

Item	**Valor Resultante**
# total de fotos:	1438
# total de pontos fotogramétricos:	1.173.325
# total de intersecções:	4.970.884
# total de pontos de controle:	50
# total de pontos de verificação:	35
Pontos de Controle (50)	
Erro planimétrico total:	0,06m
Erro altimétrico total:	0,02m
Erro planialtimétrico total:	0,06m
Pontos de Verificação (35)	
Erro planimétrico total:	0,06m
Erro altimétrico total:	0,04m
Erro planialtimétrico total:	0,07m

Analisando a Tabela 2, é possível notar que o erro planialtimétrico total dos pontos de controle no bloco foi aproximadamente de 2,5 pixels, sendo que o erro altimétrico total se mostrou significativamente menor. No caso dos pontos de verificação, nota-se que o erro planialtimétrico total foi de 2,8 pixels, mostrando comportamento similar ao obtido nos pontos de controle, entretanto, a diferença entre a variação altimétrica e planimétrica é menor. Os resultados obtidos nos pontos de check, em especial, mostram que o modelo de ajustamento simultâneo com calibração em serviço

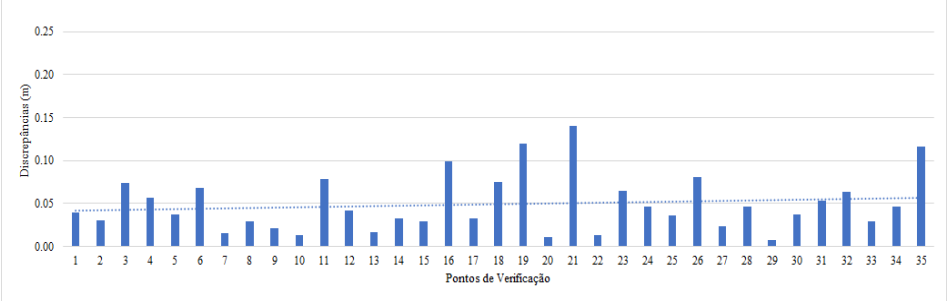
permitiu modelar de forma adequada os parâmetros de orientação interior da câmera, garantindo uma variação planialtimétrica dentro dos padrões esperados conforme parâmetros técnicos do equipamento e de execução do levantamento aerofotogramétrico.

Para comprovar a rigidez dos resultados obtidos no ajustamento do bloco de imagens, em especial nos pontos de verificação, foram realizadas leituras tridimensionais desses pontos utilizando modelos estereoscópicos. Esse procedimento teve como objetivo não somente analisar erro planialtimétrico nos pontos de verificação, mas também a qualidade do ajustamento do bloco de imagens, verificando problemas de conexão entre modelos e faixas. A Tabela 3 apresenta o erro planimétrico, altimétrico e planialtimétrico resultante das leituras tridimensionais nos pontos de verificação. A Figura 4 mostra o comportamento do erro planialtimétrico de cada um dos pontos de verificação. Observa-se aqui que os resultados apresentados refletem a média das leituras realizadas a partir dos modelos em que o ponto de verificação se encontra visível.

Tabela 3– Estatística dos pontos de verificação através de leituras tridimensionais.

Pontos de Verificação (35)	
Erro planimétrico total:	0,04m
Erro altimétrico total:	0,01m
Erro planialtimétrico total:	0,04m

Figura 4 – Erro planialtimétrico dos pontos de verificação através de leituras tridimensionais.



Analisando a Tabela 3, é possível notar que o erro planialtimétrico total dos pontos de verificação através de leituras tridimensionais foi um pouco menor do que o obtido através do ajustamento, ou seja, 1,6 pixels. O erro planimétrico e altimétrico manteve comportamento similar, ou seja, a variação altimétrica se mostrou significativamente menor do que a planimétrica, comprovando a qualidade dos resultados obtidos na etapa de ajustamento.

Com o objetivo de verificar a qualidade dos resultados obtidos de acordo com o PEC-PCD, considerando a amostra de 35 pontos de verificação e o nível de significância de 90%, bem como os valores tabelados de "*t de Student*" e "*Qui-Quadrado*", utilizou-se as equações (3) e (4) para se obter os valores máximos de desvio-padrão e variância. Em seguida, através das equações (5) e (6), foram calculados os valores de precisão e exatidão de forma proporcional em relação à escala 1:1000 estabelecida no PEC-PCD para a classe "A". Tais valores seguem apresentados na Tabela 4.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 4, é possível concluir que o georreferenciamento do bloco de imagens possui precisão planimétrica 58%, o que representa uma tendência planimétrica proporcional a escala 1:580. Do ponto de vista altimétrico, o resultado é significativamente melhor, ou seja, há uma precisão altimétrica de 18%, o que representa uma tendência altimétrica proporcional a escala 1:180. Analisando a exatidão, é possível concluir que o georreferenciamento possui planimetria compatível com a escala 1:290 e altimetria compatível com a escala 1:240. Tanto sob o ponto de vista da precisão quanto da exatidão, nota-se que o georreferenciamento obteve resultados de altimetria superiores à planimetria. Entretanto, a planimetria também apresentou resultados satisfatórios para a geração de produtos cartográficos compatíveis com a escala 1:1000 estabelecida no PEC-PCD para a classe "A".

Tabela 4 – Estatística de valores de precisão e exatidão proporcional em relação ao PEC-PCD para a classe "A".

Item	**Valor**
Tamanho da amostra:	35
Estatística "*t de Student*" ($t_{34,10/2}$):	1,688
Estatística "*Qui-Quadrado*" ($\chi^2_{34,90}$):	48,340
Planimetria	
Desvio-Padrão máximo (σ_x):	0,10m
Variância máxima (σ_x^2):	0,05m
Precisão (%):	58% (Escala proporcional: 1:580)

Exatidão (%):	29% (Escala proporcional: 1:290)
Altimetria	
Desvio-Padrão máximo (σ_x):	0,03m
Variância máxima (σ_x^2):	0,04m
Precisão (%):	18% (Escala proporcional: 1:180)
Exatidão (%):	24% (Escala proporcional: 1:240)

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foi apresentada uma análise da precisão e exatidão do georreferenciamento de um bloco de imagens conforme padrões estabelecidos no PEC-PCD para a classe "A" na escala 1:1000. A partir da análise realizada pode-se verificar que a tecnologia VANT permite gerar produtos cartográficos compatíveis com a escala definida para a análise.

O Projeto CampusMap tem por objetivo prover dados geoespaciais sobre a Universidade Federal do Paraná considerando diferentes usuários e usos. Uma das etapas previstas no seu desenvolvimento é a implementação de um portal no qual serão disponibilizados não somente os produtos obtidos, mas também os dados que os geraram. Assim, pretende-se disponibilizar para a comunidade um *dataset* que contenha a nuvem de pontos, imagens áreas, ortoimagens, Modelos Digitais de Superfície e de Terreno e dados vetoriais para uso em Sistema de Informação Geográfica. Estes dados poderão ser usados para aplicações práticas, bem como para ensino e pesquisa em diferentes áreas da Engenharia.

Os dados também serão utilizados para gerar um Sistema de Informações na *web*, que poderá ser utilizado por diferentes grupos de usuários, em diversas aplicações, tais como: monitoramento ambiental, segurança, inventário florestal, iluminação, acessibilidade, rotas entre pontos, entre outros.

Agradecimentos:

Os autores agradecem ao CNPq pela Bolsa Produtividade em Pesquisa, processo 310312/2017-5.

REFERÊNCIAS

ANAC. Regras sobre Drones. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release_drone.pdf>. Acesso em 23 de agosto de 2018.

DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV).** 2011. Disponível em: <http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_ADGV_Vs_2_1_3.pdf>. Acesso em 20/10/2016.

MERCHANT, D. C. Spatial accuracy standards for large scale line maps. Technical papers of the American Congress on Surveying and Mapping. **Anais...** p. 222–231, 1982.

WANDRESEN, R. *et al.* **Manutenção e ampliação da rede topográfica do Centro Politécnico da UFPR**. Curitiba: UFPR, Departamento de Geomática, 2018. (UFPR. Projeto de Pesquisa – Rede Topográfica da UFPR). Projeto em andamento. Disponível em: <http://www.campusmap.ufpr.br/redetopografica>. Acesso em: 23 de agosto de 2018.

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO PROBABILÍSTICOS APLICADOS À GESTÃO HÍDRICA DE RESERVATÓRIOS

LAURA COELHO DE ANDRADE
ITALO OLIVEIRA FERREIRA
FELIPE CATÃO MESQUITA SANTOS
JÚLIO CESAR DE OLIVEIRA

Universidade Federal de Viçosa - UFV
Setor de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica - EAM
Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, MG
laura.andrade@ufv.br, italo.ferreira@ufv.br, felipe.mesquita@ufv.br, oliveirajc@ufv.br

RESUMO – Com o advento das tecnologias no âmbito cartográfico e na Geoestatística é possível gerar um modelo digital de profundidade, representando de forma contínua o relevo submerso a partir de levantamentos hidrográficos. Dada a natureza dos dados batimétricos, faz-se necessário a interpolação dos dados amostrais para a geração do modelo digital de profundidade. Na Hidrografia, comprovadamente o uso da interpolação denominada krigagem fornece melhores resultados, contudo existem inúmeros tipos de krigagens que variam de acordo com a especificidade dos dados. Este trabalho teve como objetivo, avaliar qual tipo de krigagem (KU, KO ou KS) é mais acurada para a construção de um modelo digital de profundidade. De acordo com os resultados alcançados é possível inferir que a krigagem universal é o melhor interpolador quando se observa tendência nos dados, pois essa apresentou menores valores para os parâmetros que são levados em conta para a comparação, gerando assim uma superfície que mais se adequa a superfície real do reservatório, sendo possível determinar com maior confiabilidade o volume assoreado de corpos d'águas.

ABSTRACT - With the advent of cartographic and geostatistics technologies, it is possible to generate a digital depth model, representing continuously the submerged relief from hydrographic surveys. Given the nature of the bathymetric data, it is necessary to interpolate the sample data to the generation of the digital depth model. In Hydrography, the interpolation known as kriging has been shown to provide better results, however there are numerous types of kriging that fluctuate according to the data. This work aimed to evaluate which type of kriging (KU, KO or KS) is more accurate for the construction of a digital depth model. According to the results it is possible to imply that the universal kriging is the best interpolator when trend is observed in the data, since this type of interpolation showed smaller values for the parameters that are taken into account for the rating, creating under these circumstances a surface that more suits to the actual surface of the reservoir, and being possible to find with a greater reliability the silted volume of water bodies.

1. INTRODUÇÃO

Aproximadamente 70% da superfície do planeta é coberta por água, todavia, a maior parte desse recurso está presente nos oceanos, o que o torna impróprio para o consumo do homem. O restante está dividido entre as geleiras e vapor d'água, restando somente uma pequena porção de água doce no mundo, presente em rios e lagos no interior dos continentes (BLANCO, 1999 apud FERREIRA et al., 2012).

Com o advento da urbanização, o nível de poluição dos reservatórios presentes nas cidades aumentou consideravelmente e o assoreamento causado principalmente pela erosão do solo é uma das razões do esgotamento da água. Devido à baixa disponibilidade desse recurso, faz-se necessário utilizar de estudos para uma melhor gestão hídrica (SILVEIRA et al., 2009).

O desenvolvimento de alternativas que visem à modelagem do relevo submerso, estimando o grau de assoreamento e o cálculo de volume de armazenamento, são formas de melhorar o controle áqueo de uma região, possibilitando também atualizar as curvas de capacidade de um determinado reservatório (FERREIRA, et al.,2012).

Na atualidade, as profundidades dos corpos aquáticos são obtidas através de levantamentos batimétricos, empregando, principalmente, ecobatímetros monofeixe ou multifeixe em combinação com o sistema GNSS (Global Navigation Satellite System) para o posicionamento planimétrico da embarcação de sondagem. Em alguns casos, sistemas inerciais para medição da altitude da plataforma de sondagem são também requeridos (IHO, 2005; FERREIRA et al., 2017).

Apesar da crescente evolução tecnológica, os ecobatímetros monofeixe ainda são muito utilizados. Isso deve-se, especialmente, as facilidades operacionais e o baixo custo de aquisição dos equipamentos (ESTIGON et.al,2015; FERREIRA et. al.,2016; FREITAS et. al.,2017; DE ALMEIDA et. al.,2017). O produto resultante desse tipo de levantamento é uma malha de pontos amostrais que não representa o relevo submerso de forma espacialmente contínua, sendo necessário recorrer ao uso de interpoladores para a construção do modelo digital de elevação, podendo-se estimar assim a variável de profundidade em locais não amostrados (CAMARGO, 1998).

Existem diversos métodos de interpolação, os quais estão divididos entre probabilísticos e determinísticos. Os probabilísticos são caracterizados por levarem em conta a incerteza agregada ao fenômeno em estudo, já os determinísticos se baseiam em funções matemáticas simples (SANTOS, 2010). Dessa forma, Burrough e Mcdoneel (1998) avaliaram que quando existem dados esparsos, os métodos determinísticos apresentam limitações na representação da variabilidade espacial, pelo fato de que desconsideram a continuidade de um fenômeno e a anisotropia (FERREIRA et al., 2013).

Para isso, deve-se utilizar a modelagem probabilística, dentro da qual existe a Krigagem, em que os pesos são determinados a partir de uma análise espacial, baseada em um semivariograma experimental e são fornecidas as incertezas a cada valor predito (VIEIRA, 2000). Outra caracterísca da Krigagem é que essa fornece em média estimativas sem viés e com variância mínima (FERREIRA et al., 2013).

Segundo Santos (2010), os procedimentos da Krigagem se subdividem em lineares e não lineares. Em que o primeiro é composto pela Krigagem simples (KS), ordinária (Ko) e universal (KU). Já o segundo, pela esperança condicional e Krigagem disjuntiva. Visto que a Krigagem linear está associada ao acrônimo BLUP (Best Linear Unbiased Predictor), pode-se inferir que esse método apresenta uma combinação linear, com valores esperados dos resíduos iguais a zero e, além disso, minimiza a variância dos mesmos. Dessa forma, é possível expressar os resultados da predição em mapas de isolinhas ou de superfície (VIEIRA,2000).

Dentre os subtópicos existentes na Krigagem Linear, é evidente que cada um tem determinada especificação. Bailey & Gatrell (1995), concluíram que a Krigagem Simples não é estimada a partir das realizações, porque assume que a função média do processo estocástico é conhecida, ou seja, é utilizada quando não se observa tendência nos dados. Já a Krigagem Ordinária envolve somente o variograma, e a função média é estimada a partir dos dados (CHILÈS; DELFINER, 1999). Por último, a Krigagem Universal é aquela utilizada quando se observa tendência nos valores de referência e utiliza-se do ajuste de polinômios de baixo grau para remoção desta (SANTOS, 2010).

No que tange a modelagem do relevo submerso, observa-se uma série de discordância sobre a utilização de interpoladores. Ferreira et al. 2013 empregaram a KU para modelar o relevo do Ribeirão São Bartolomeu, localizado no campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no município de Viçosa, em Minas Gerais, obtendo resultados promissores. Já Carmo et al. (2015) utilizaram KO e a KS para geração de um modelo digital de elevação a partir de um "*as built*" e concluíram que as médias das discrepâncias desses interpoladores não são significativas. Silveira (2010)

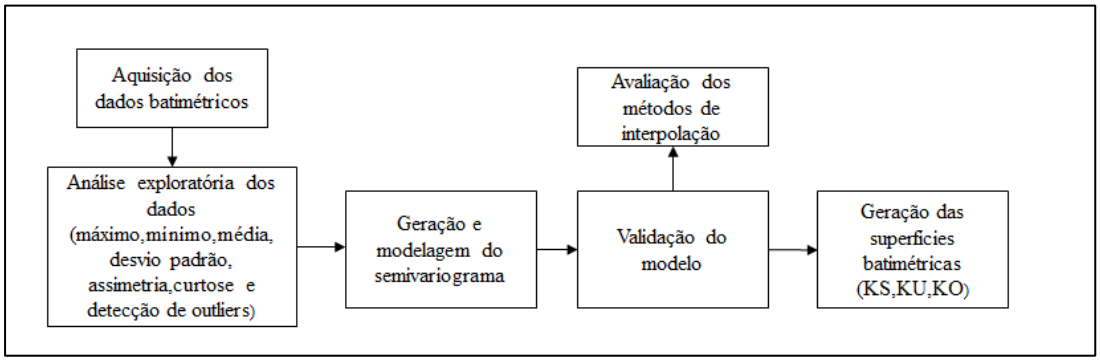
utilizou a KO para a construção de uma superfície batimétrica, obtendo resultados que permitem a remoção da tendência da amostra e a geração de uma superfície de erros. Alguns autores, como Santos et al. 2008) e Fernandes e Menezes (2005) utilizaram interpoladores determinísticos, em especial o TIN (Triangular Irregular Network), o qual os pontos são conectados formando triângulos e cada aresta é interpolada de forma linear (LIMA et al. 2016).

Diante do exposto, este trabalho objetiva efetuar uma análise comparativa da eficiência dos métodos de Krigagem Linear, a saber: KS, KO e KU, na representação computacional de superfícies batimétricas. Posteriormente, o modelo batimétrico com maior grau de fidedignidade poderá ser futuramente empregado nas estimativas do grau de assoreamento da área de estudo.

2. METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida nesse estudo é apresentada na Figura 1 a seguir:

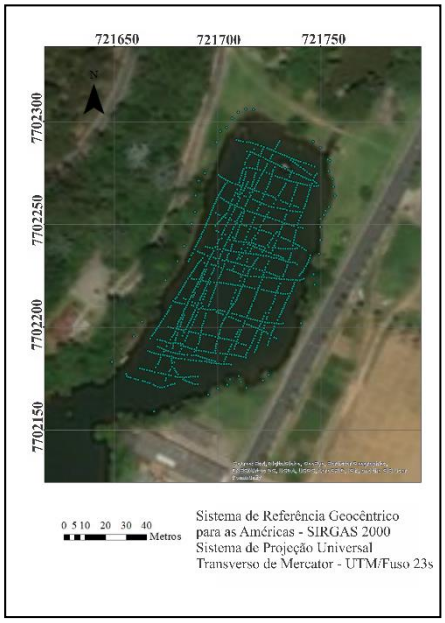
Figura 1- Fluxograma da metodologia.



Os dados que serviram como base para esse estudo, foram coletados no ano de 2010 em um levantamento batimétrico de um dos represamentos do Ribeirão São Bartolomeu, localizado no campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no município de Viçosa - MG. A área de estudo possui aproximadamente 8800 m² com 150 m de comprimento e 66 m de largura e está representada pela Figura 2 abaixo.

Para a coleta foi utilizado um ecobatímetro monofeixe de dupla frequência (33/210 kHz) e um par de receptores GNSS RTK *(Real Time Kinematic)*. Após a coleta, os dados foram processados no *software Hypack* 2010 gerando um arquivo com 1428 pontos contendo as coordenadas planimétricas e as respectivas profundidades. Doravante, os dados coletados na frequência de 210 kHz e 33 kHz serão chamados, respectivamente, de *High* e *Low*.

Figura 2 – Área de estudo.



Seguidamente, foi realizada a análise exploratória dos dados, conforme recomendações de Ferreira et al. (2013). Segundo Guimarães (2004) e Vilela (2004), esta etapa baseia-se na construção e interpretação de gráficos, tais como: histogramas e gráficos *Q-Q Plot*, e estatísticas, como: média, variância, mínimo, máximo, coeficientes de assimetria, dentre outros. Todavia, apesar de aparentemente simples, a análise exploratória dos dados é de suma importância em qualquer análise geoestatística, pois permite a detecção de tendência e *outliers* na amostra. Além disso, fornece informações importantes na distribuição dos dados (MORETTIN & BUSSAB, 2004).

Na estatística descritiva, comumente emprega-se o método de Tukey para a localização de *outliers* (TUKEY 1977). Entretanto, neste trabalho optou-se por aplicar o boxplot ajustado, devido a sua maior eficiência no tratamento de dados assimétricos (VANDERVIERN & HUBERT, 2004). Destaca-se que é necessário cautela para a exclusão dos pontos identificados como dados anômalos, já que uma vez realizada de maneira incorreta pode acarretar em omissão de informações importantes (SANTOS et al., 2017).

O semivariograma é uma ferramenta Geoestatística de grande eficiência, comumente utilizada para avaliar a autocorrelação espacial dos dados (MATHERON, 1965; FERREIRA et al., 2015). Assim sendo, a inferência geoestatística baseia-se na pressuposição de três hipóteses de estacionariedade, estacionariedade de primeira ordem, de segunda ordem e do semivariograma (FERREIRA, 2018). Guimarães (2004) afirma que para estudos geoestatísticos, exige-se estacionariedade de segunda ordem. Todavia, Santos (2010) concluiu que para alguns fenômenos, tal pressuposto não era satisfeito e, por conseguinte, uma prognose menos restritiva pode ser usada, sendo essa a hipótese de estacionariedade do semivariograma, caracterizada por assumir que esse existe e é estacionário para a variável na área de estudo (VIEIRA 2000).

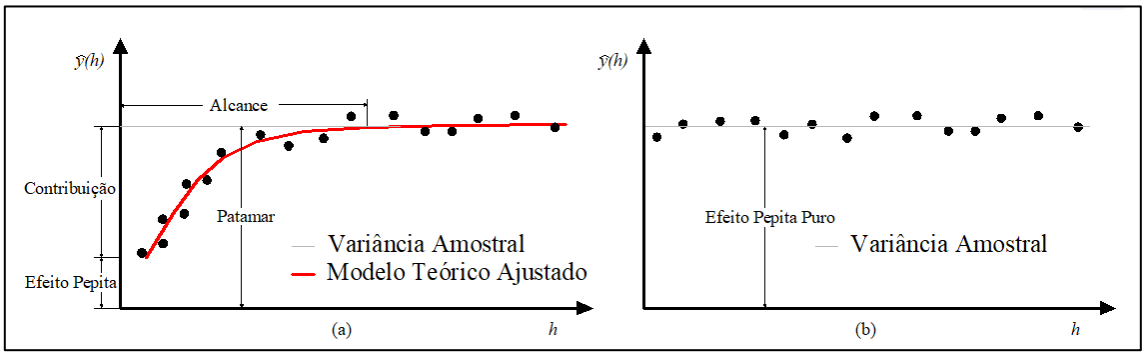
Quando um semivariograma apresenta comportamento idêntico em qualquer direção, é chamado de isotrópico, caso contrário é dito anisotrópico. Assim que detectada a anisotropia é necessário correção, pois conforme Isaaks (1990), Vieira (2000) e Ferreira et al.(2015), essa impossibilita a presença de estacionariedade, condição necessária para a exatidão na análise e estimativas para a área de estudo.

Dentro da geoestatística existe uma ligeira diferença entre os conceitos de semivariograma e variograma, em que o primeiro se refere à variância por ponto, quando esses são considerados em pares (WEBSTER & OLIVER 2007) , ou seja, a informação a ser considerada é a variância dos pontos em si. Já a palavra variograma é utilizada quando é necessário usar a variância da diferença entre os pontos para encontrar os pesos estimados no método de interpolação.

De acordo com Ferreira et al. (2013), os dados obtidos geraram um semivariograma isotrópico e, por isso, poderá ser ajustado através de modelos teóricos. Esse ajuste constitui-se na modelagem da dependência espacial, o qual deve ser realizado com cautela. Incertezas advindas do ajuste conduzirão a incertezas na predição. Deve-se ressaltar

que, na presença de independência espacial, isto é, efeito pepita puro, uma modelagem geoestatística não pode ser realizada. A Figura 3 a seguir apresenta dois semivariogramas, o primeiro com dados dependentes e o segundo com dados independentes, com seus respectivos parâmetros: alcance, contribuição, efeito pepita e patamar. Para uma análise mais detalhada desses, o conteúdo pode ser consultado em: Vieira (2000), Santos (2010) e Santos (2015).

Figura 3 – Ilustração de semivariogramas experimentais com dados dependentes (à esquerda) e independentes (à direita) e seus respectivos parâmetros.



Fonte: Ferreira (2018).

Após a modelagem supervisionada do semivariograma, realiza-se o processo de validação cruzada. Para Santos (2010), sempre existirá incertezas inerentes ao processo de modelagem e predição, com isso faz-se necessário a utilização da validação cruzada, conhecida também como autovalidação *leave-one-out*, conforme Isaaks & Srivastava (1989), essa é uma técnica de avaliação dos erros de estimativas que propicia a comparação entre os valores previstos com os amostrados. Essa consiste em retirar um valor amostrado e predizer o valor do mesmo com o uso do modelo teórico ajustado aos demais. Ao final é possível obter a diferença entre os valores observados e seus correspondentes preditos (VIEIRA, 2000) e a partir desses pode-se avaliar a qualidade da estimativa.

No presente trabalho, serão consideradas as estimativas do erro médio (EM), do *root mean square error* (RMSE) e dos parâmetros de regressão linear simples, coeficiente angular (a) e linear (b), entre os valores observados e os preditos. Santos (2010), afirmou que se houver acurácia no modelo adotado para o semivariograma teórico, o RMSE também possuirá. Dessa forma, espera-se precisão na estimativa, obtendo valores baixos para o RMSE e o EM. O coeficiente linear (b) da reta será ótimo quando o mesmo for nulo, já o coeficiente angular (a) será ótimo quando for igual à unidade.

Após realizada a validação do modelo, é preciso efetuar as interpolações para a geração da superfície batimétrica que melhor se adequa ao fenômeno estudado. Nesta etapa, serão empregados três interpoladores comumente utilizados entre a comunidade científica, KS, KU e KO, que geram estimativas com variância mínima e sem viés.

As análises estatísticas dos resultados serão avaliadas em consonância com os parâmetros descritos anteriormente. Assim o melhor interpolador será aquele que apresentar melhores valores para as estimativas supracitadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o processamento dos dados foram geradas 1365 profundidades *high* e 1342 *low*, com a seguinte análise exploratória dos dados representada na tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Estatística descritiva da área de estudo, considerando os dados *High* e *low*.

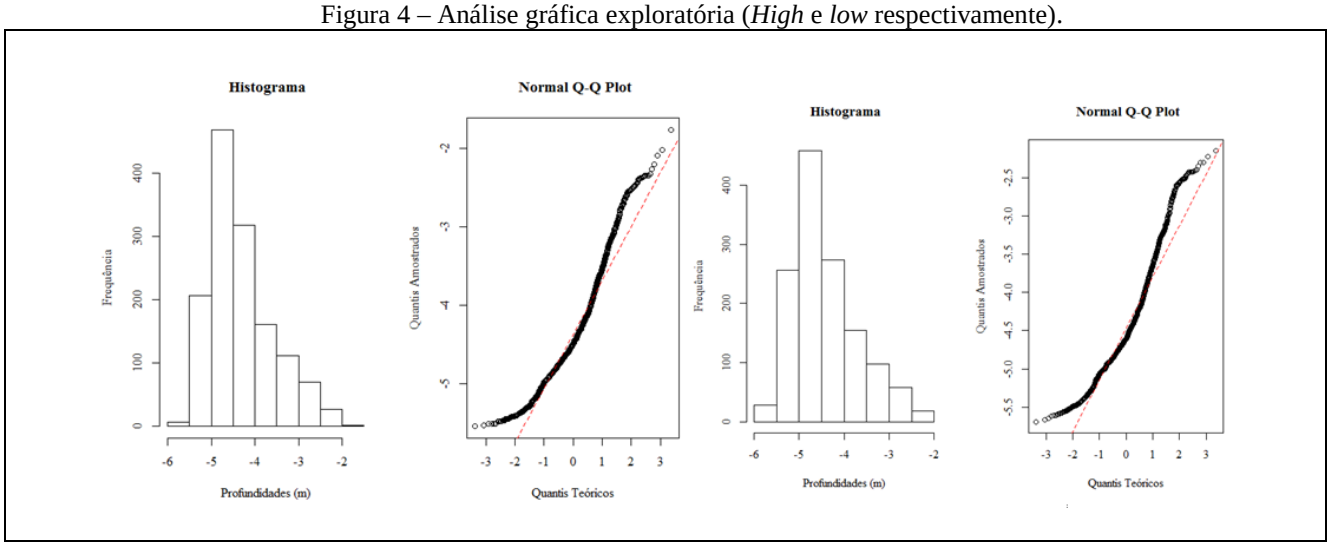
	High	*Low*
Média (m)	4322,00	4421,00
Mínimo (m)	5,540	5,690
Máximo (m)	1,770	2,150
Variância (m²)	0,549	0,540
Desvio Padrão (m)	0,741	0,735
Curtose	3,100	3,190
Assimetria	0,820	0,850
Distância Mínima (m)	1002,000	1,000
Distância Máxima (m)	136596,000	136581,000

Segundo Warrick & Nielsen (1980), considerando o valor da variância, é notório que os dados de ambas as profundidades *(high* e *low*) apresentam alta variabilidade e com isso é possível concluir que esses estão contaminados com *outlier*s. O desvio da distribuição das discrepâncias em relação a uma distribuição simétrica e ao grau de achatamento, são quantificados respectivamente por coeficientes de assimetria e curtose. Sendo assim, indicam uma disposição parcialmente leptocúrtica e simétrica. Diante do exposto, pode-se concluir, inicialmente, que a amostra tende a possuir uma distribuição normal.

Antes da construção dos histogramas e gráficos *Q-Q Plot*, foi efetuada a detecção dos *outliers*, com o uso do boxplot ajustado, uma vez que os dados são assimétricos. Posteriormente, a exclusão dos dados anômalos foi efetuada de maneira cuidadosa para a não omissão de informações importantes.

Os histogramas e gráficos *Q-Q Plot* auxiliam na análise exploratória dos dados, esses foram obtidos através do *software* R e estão representados na Figura 4.

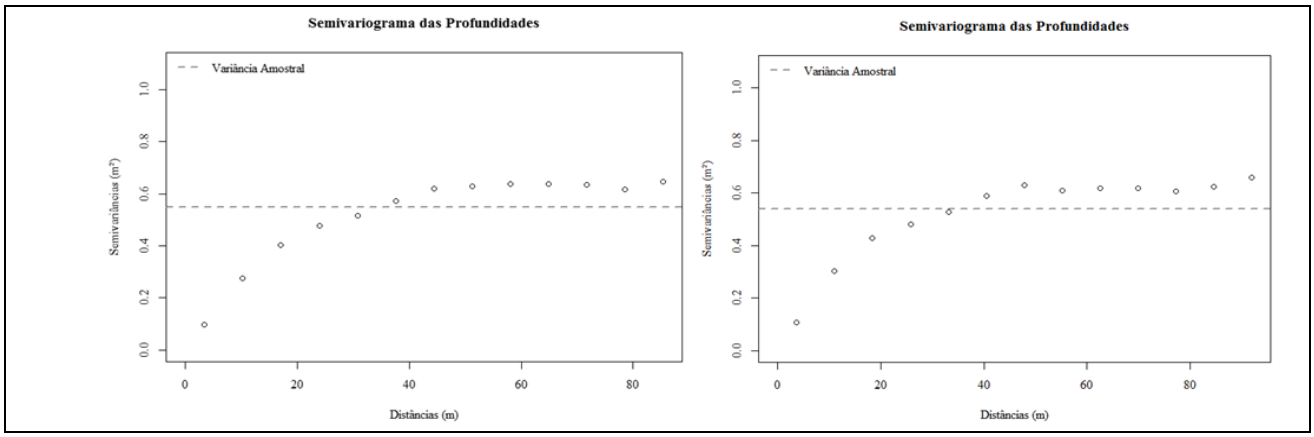
Figura 4 – Análise gráfica exploratória (*High* e *low* respectivamente).



O histograma e o gráfico *Q-Q Plot* são ferramentas eficazes para apresentar uma ideia a respeito da normalidade dos dados. O *Q-Q Plot* permite verificar a adequação da distribuição da frequência dos dados e de acordo com Hohle & Hohle (2009), se a distribuição empírica for normal, o gráfico será apresentado como uma linha reta.

Assim, seguindo o fluxograma da metodologia proposta, passa-se a geração e modelagem do semivariograma, também efetuado no *software* R. Com o objetivo de verificar a existência de anisotropia, calcularam-se os semivariogramas para as distâncias: 100% da distância máxima, 75% da distância máxima, 50% da distância máxima e 25% da distância máxima, para ambos os tipos de dados (*high* e *low*). Prosseguindo, foi escolhido o melhor semiovariograma experimental para cada dado, ou seja, para dados correspondentes a profundidade *high*, foi definido o semivariograma com 65% da distância máxima. Já para a profundidade *low*, foi designado aquele com 70% da distância máxima, como pode ser observado na Figura 5 abaixo:

Figura 5 – Semivariogramas experimentais para profundidades *high* e *low* respectivamente.



Os processos de modelagem e validação do semivariograma foram executados no *software* ArcGis. Na modelagem são gerados os seguintes parâmetros: patamar, alcance, contribuição e efeito pepita, do melhor modelo teórico que se ajustou ao experimental, sendo esses representados na tabela 2 a seguir em conjunto com o resultado da validação cruzada, podendo-se assim avaliar a qualidade das estimativas para cada tipo de krigagem.

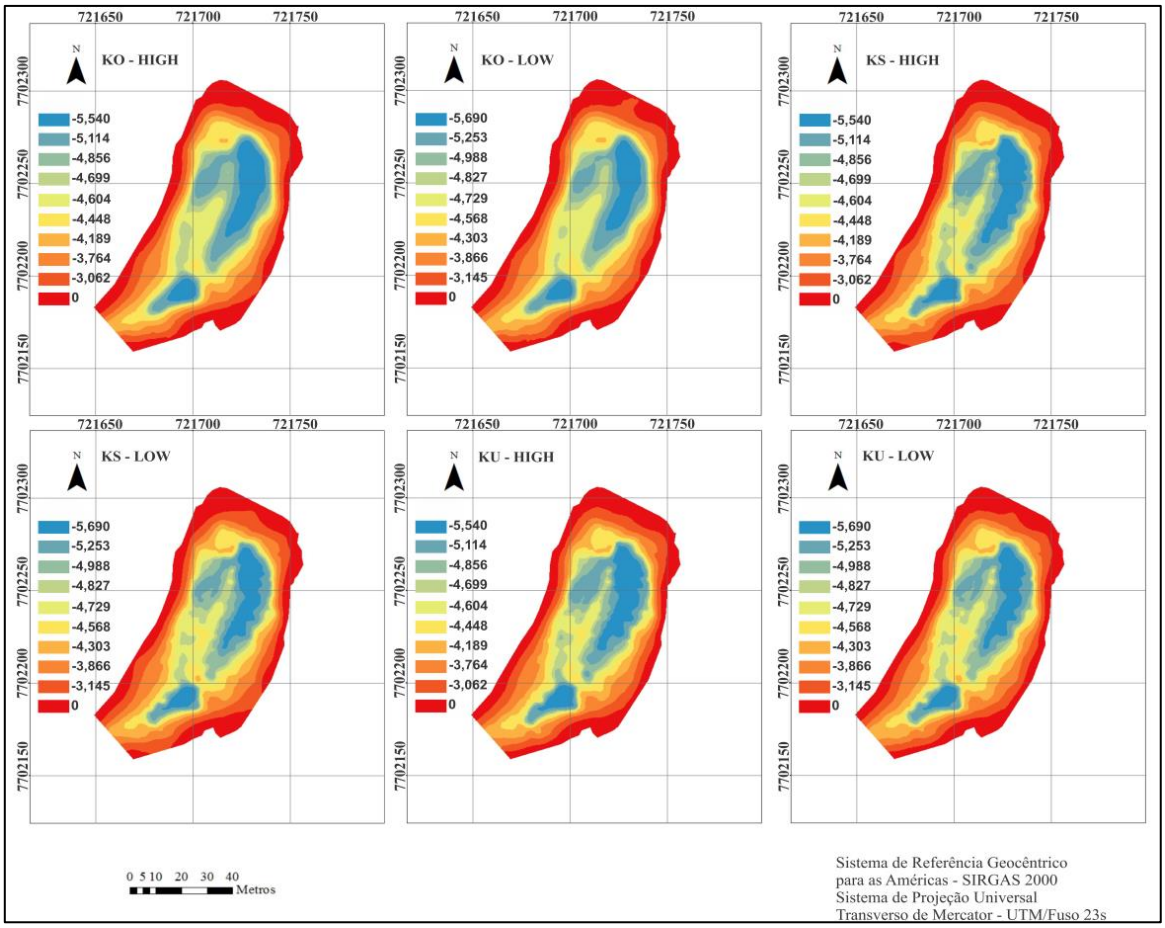
Tabela 2 – Parâmetros dos processos de modelagem e validação dos semivariogramas.

		Modelagem do semivariograma					**Validação**			
		Modelo teórico	**Patamar**	**Alcance**	**Contribuição**	**Efeito pepita**	**a**	**b**	**RMSE**	**EM**
High	**KS**	Exponencial	1,039	47,079	1,035	0,004	0,980	-0,086	0,223	-0,022
	KU	Stable	0,588	54,579	0,588	0,000	0,991	-0,038	0,095	0,000
	KO	Gaussiano	1,036	29,295	1,032	0,004	0,980	-0,085	0,174	-0,008
Low	**KS**	Exponencial	1,096	48,989	1,094	0,002	0,978	-0,096	0,225	-0,022
	KU	Stable	0,529	35,386	0,529	0,000	0,993	-0,032	0,098	0,000
	KO	Gaussiano	1,062	29,286	1,060	0,002	0,979	-0,092	0,177	-0,008

A partir dos índices de validação cruzada mostrados na tabela, é presumível exprimir que a KU apresenta melhores valores para as estimativas do erro médio (EM), uma vez que para esse método foi encontrado o menor erro possível. Para o RMSE, a KU também se mostrou bastante eficiente, apontando o menor valor dentre os três tipos de krigagem estudado. Os coeficientes da regressão linear (a) e (b) foram os que menos mostraram discrepância entre a KS, KU e KO, todavia a KU foi a que mais se aproximou do valor ideal para ambos os coeficientes.

A geração das superfícies batimétricas é obtida através do *software* ArcGis, em que pode-se observar a diferença entre os modelos de interpoladores para cada tipo de dado (*high*/*low*), representados na Figura 6 a seguir:

Figura 6 – Modelos Digitais de Profundidade obtidos através da KO – *high*, KO – *low*, KS – *high*, KS – *low*, KU – *high*, KU – *low*, respectivamente.



4. CONCLUSÕES

Este artigo buscou efetuar uma análise comparativa da eficiência dos métodos de Krigagem Linear na representação computacional de superfícies batimétricas. A utilização da geoestatística mostrou-se robusta, para todos os casos e, em termos estatísticos, ótima. Atribui-se a isso, *a priori*, à grande quantidade de pontos amostrais (coletados ao longo da linha navegada) e à natureza do estudo.

Contudo, foi possível observar pequenas discrepâncias entre os parâmetros escolhidos para avaliação estatísticas das modelagens. O coeficiente angular (a) que mais se aproximou de um valor ideal, isto é, 1, foi o da KU. O melhor resultado do EM, assim como o RMSE e o coeficiente linear (b), também foram encontrados na validação cruzada da KU (para ambos os conjuntos de dados). Dessa forma, conclui-se que a Krigagem Universal é o interpolador que melhor representa o relevo submerso da área de estudo.

A partir de dados dos modelos gerados com recurso a KU, pode-se obter uma série de informações que auxiliam na gestão dos recursos hídricos da área de estudo, tais como: volume útil, volume morto, área molhada e curva cota-área-volume. Se uma série temporal de dados de batimetria estiver disponível, é possível ainda estimar o volume

assoreado no período analisado, bem como a taxa anual de assoreamento. Isto representa uma ferramenta robusta para o controle de crises de abastecimento hídrico de determinadas cidades e regiões.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao grupo de Grupo de Estudo e Pesquisa em Levantamentos Hidrográficos – GEPLH e a UFV por permitir a realização dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURROUGH, P.A.;MCDONEEL,R. **Priciples of Geographical Information Systems. Spatial information systems and geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1998.

ESTIGON, M. V.; MATOS, A.J.S., MAUAD, F.F. Análise da orientação da ANA para a atualização das curvas cota-área-volume de reservatórios. **X Encontro Nacional de Engenharia Sanitária, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. Anais... Foz do Iguaçu, PR, Brasil**, v. 3,2012.

FERREIRA, Í. O.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, G. R. **Coleta, processamento e análise de dados batimétricos**. 1ª ed. Saarbrucken: Novas Edições Acadêmicas, v. 1,100p., 2015.

FERREIRA, I.O.; RODRIGUES, D.D.; NETO,A.A.;MONTEIRO,C.S. Modelo de incerteza para sondadores de feixe simples. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 5, 2016.

FREITAS, É. L.; BRITO, M. A. N.;BEZERRA, L. M.; SILVA, W. T. M. (2017). Representação do relevo submerso e identificação de elementos sob a ponte JK por aquisição e processamento de dados em levantamento batimétrico monofeixe. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia-RIPE**, v. 2, n. 11, p. 01-09,2016.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística Básica e Aplicada**. UFU/FAMAT. Núcleo de estudos estatísticos e Biométricos. 2004.

ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied geostatistics**. New York, Oxford University Press, 1989. 561p.

ISAAKS, E. H. **The application of Monte Carlo methods to the analysis of spatially correlated data.** PhD Thesis, Department of Applied Earth Sciences, Stanford University, USA, 213p., 1990.

LIMA, F.G.F.; AMARO, V.E.; SANTOS, M.S.T.; SANTOS,A.L.S. **Avaliação de Métodos de Interpolação na Geração de Modelos Digitais de Elevação de Precisão em Zonas Costeiras de Alta Dinâmica Sedimenta**r. Revista Brasileira de Cartografia, v. 68. 2016

MATHERON, G. **Les variables régionalisées et leur estimation**. Paris: Masson, 306p., 1965.

MINHONI, R. T. A.; BRITO, G.M., AZEVEDO, R. F. Uso de ecobatímetros monofeixe na determinação da curva cota x área x volume do reservatório da PCH Pipoca – Minas Gerais - Brasil. **IRRIGA**, v. 22, n. 1, p. 87-100, 2017.

MORETTIN, P. A. & BUSSAB, W. O. **Estatística básica**. 5ª ed. São Paulo: Editora Saraiva, 526p., 2004.

SANTOS, A. P**. Controle de qualidade cartográfica: metodologias para avaliação da acurácia posicional em dados espaciais**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 172p., 2015.

SANTOS, A. M. R. T.; SANTOS, G. R.; EMILIANO, P. C.; MEDEIROS, N. G.; KALEITA, A. L.; PRUSKI, L. O. S**. Detection of inconsistencies in geospatial data with geostatistics**. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 23, n. 2, p. 296-308, 2017.

TUKEY, John W. **Exploratory data analysis**. 1977.

VANDERVIEREN, E. & HUBERT, M. **An adjusted boxplot for skewed distributions. Proceedings in Computational Statistics**, p. 1933-1940, 2004.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In. NOVAES, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E G. R. **Tópicos em ciências do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1. p.2-54.

VILELA, L. C. **Comparação entre as redes neurais artificiais e o método de interpolação krigagem aplicados à pesquisa agronômica**. Tese (Doutorado). UNESP. Faculdade de Ciências Agronômicas. CAMPUS DE BOTUCATU. 2004.

WEBSTER, Richard; OLIVER, Margaret A. **Geostatistics for environmental scientists**. John Wiley & Sons, 2007.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

AVALIAÇÃO DE UM MODELO DE EVOLUÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA PARA SIMULAÇÃO DO DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA NA DIVISA ENTRE O PARÁ E O MARANHÃO

JOÃO PEDRO DOS SANTOS 1
GUILHERME FRANCISCO DO NASCIMENTO PINTO 1
WELISSON WENDEL EUFRÁSIO GOMES 1
DIEGO RODRIGUES MACEDO 2

Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
Instituto de Geociências - IGC
1 Pós-graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Belo Horizonte, MG
joaopedrosgeo@gmail.com, guilhermefnp2@gmail.com, welissoneufrasio@hotmail.com,
2 UFMG, IGC, Departamento de Geografia
diegorm@ufmg.br

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi desenvolver e avaliar um modelo dinâmico de transformação do uso e cobertura da terra na região compreendida entre os estados do Pará e Maranhão utilizando a plataforma livre Dinamica EGO, com simulação para os anos de 2008 e 2016 para detecção da expansão do desmatamento. A metodologia foi dividida em três etapas: (i) preparação dos dados de entrada, utilizando mapas de uso e cobertura da terra, bem como dados de caracterização da área de estudo; (ii) calibração, parametrização e validação do modelo e (iii) simulação dos cenários 2008 e 2016 para comparação com os mapas obtidos pelo Prodes para os mesmos anos. Após a geração da matriz de transição, calculada a partir dos mapas inicial (2000) e final (2003), verificou-se que neste período o desmatamento ocorre a uma taxa de 6,02% ao ano. A partir da execução do modelo constatou-se que a expansão do desmatamento obtido pelos mapas simulados se dá de forma mais intensa em comparação com os mapas obtidos pelo Prodes que possui informação do desmatamento real. Dentre os fatores que levaram a isso se considera a ausência de mais dados socioeconômicos e biofísicos que poderiam ser incluídos no modelo.

ABSTRACT – The aim of this work was to develop and evaluate a dynamic model of transformation of the land cover and use of the region between the states of Pará and Maranhão using the Dynamics EGO platform with simulation for the years 2008 and 2016 for the detection of expansion of deforestation. The methodology were divided into three steps: (i) Preparation of input data; (ii) calibration, parameterization and validation of the model and (iii) simulation of the scenarios 2008 and 2016 for comparison with the maps obtained by Prodes for the same years. After the generation of the transition matrix, calculated from the initial maps (2000) and final (2003), it was found that in this period the deforestation is occurring at a rate of 6.02% per year. From the execution of the model it was found that the expansion of the deforestation obtained by the simulated maps is given more intensely compared with the maps obtained by Prodes that has information of the real deforestation. Among the factors that led to this is considered the absence of more socioeconomic and biophysical data that could be included in the model.

1 INTRODUÇÃO

As causas do desmatamento da Amazônia são complexas e estão relacionadas a fatores históricos de migração, exploração dos recursos naturais, expansão da fronteira agrícola, criação de estradas e ferrovias e a fraca presença do Estado para garantir a preservação de terras, principalmente no que tange às reservas indígenas (GEIST & LAMBIN, 2001; SOARES-FILHO et al., 2008).

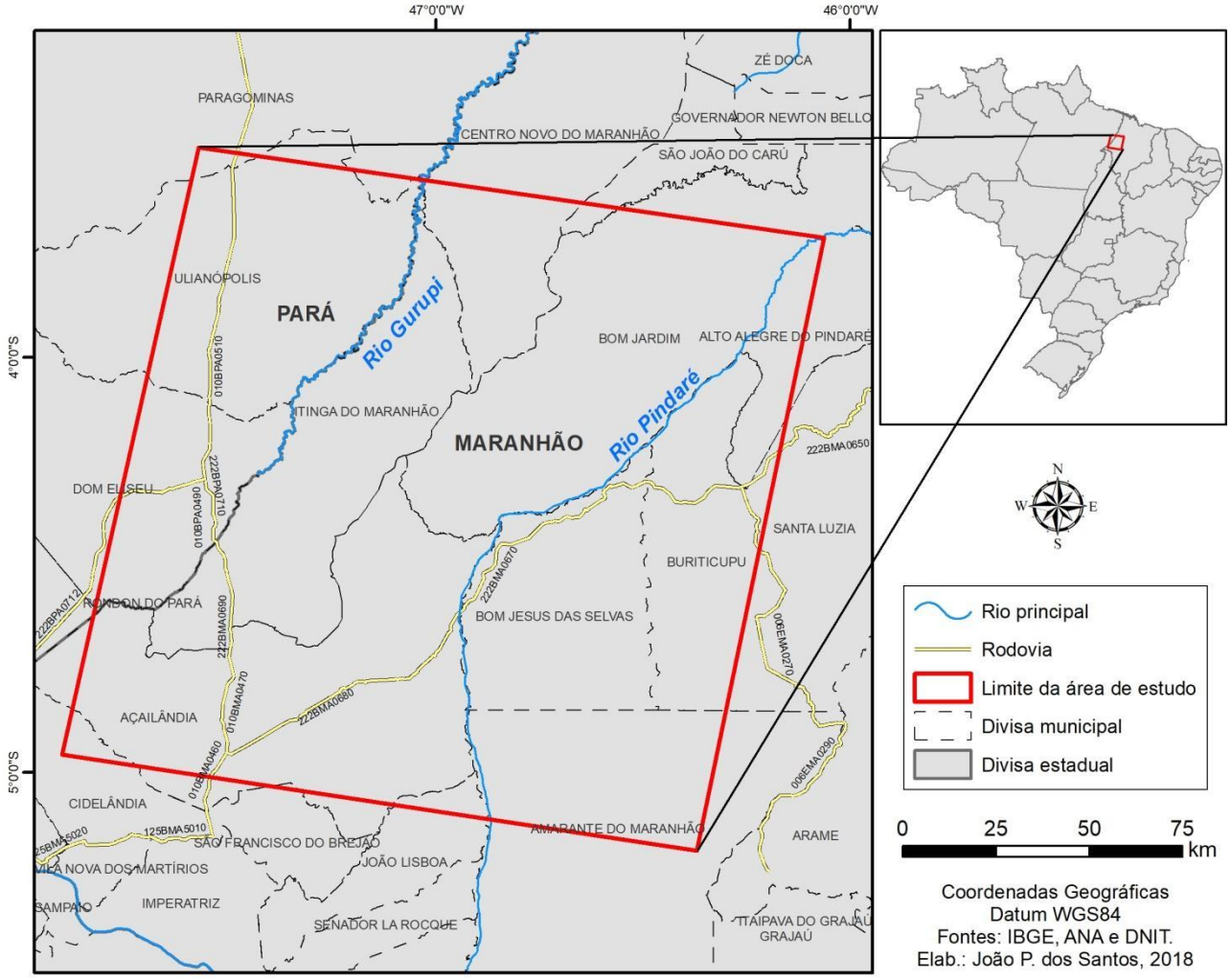
A aplicação de diferentes processos desenvolvidos em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem o potencial de gerar novas informações, que podem auxiliar no planejamento de ações de combate ao desmatamento. Da mesma forma, modelos de simulação de desmatamento têm se desenvolvidos cada vez mais, tendo suas técnicas aprimoradas e integradas a relatórios utilizados por tomadores de decisão, bem como em pesquisas científicas. Métodos bayesianos, como pesos de evidência, têm se mostrado eficazes para geração de cenários plausíveis do desmatamento

da Amazônia (SOARES-FILHO et al., 2004). No entanto, é necessário conhecer as limitações da utilização de tais modelos, pois é necessário que eles se mostrem robustos o suficiente para subsidiar a tomada de decisões pelo poder público. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi de desenvolver e avaliar um modelo dinâmico de transformação do uso e cobertura da terra da região entre os estados do Pará e Maranhão utilizando a plataforma livre Dinamica EGO 4.0.10 (*Environment for Geoprocessing Objects*), empregando o ano 2000 como referência base e avaliando as simulações de desmatamento para os anos de 2008 e 2016.

2 OPERACIONALIZAÇÃO METODOLÓGICA E BASE DE DADOS

A área de estudo está localizada na região oeste do estado do Maranhão, sobrepondo-se, inclusive, a uma pequena porção localizada a nordeste do estado do Pará, compreendendo área de 28.372 km². A região engloba os rios Gurupi e médio Pindaré, principal afluente do rio Mearim, os dois estão inseridos na bacia hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área de estudo.

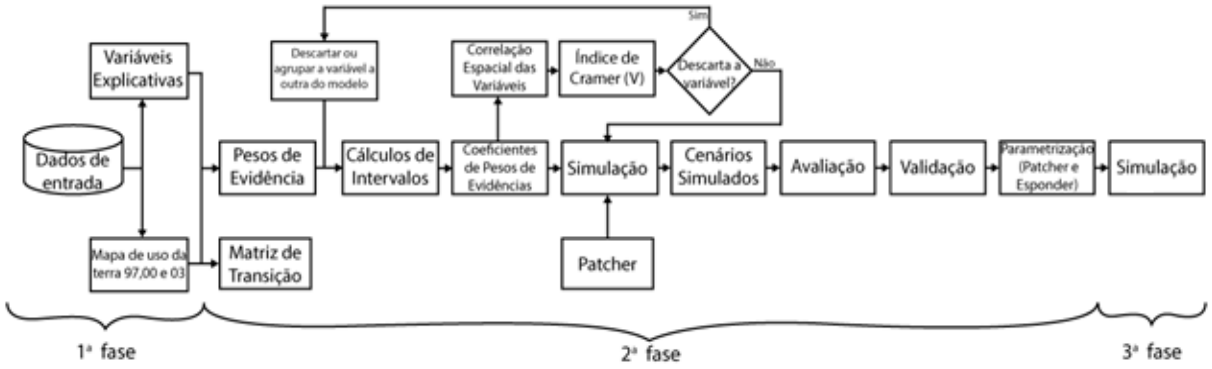


Fonte: Elaborado pelos autores.

2.1 Configuração do Modelo

A construção e execução do modelo utilizado neste trabalho foi organizada em três etapas (Figura 2). A primeira fase correspondeu à preparação dos dados de entrada; a segunda fase detalhou os processos de calibração, parametrização, bem como apresenta os testes de validação; já a terceira, apresentada nos resultados, correspondeu a geração dos cenários de simulação.

Figura 2. Fluxograma com as etapas de construção e execução do modelo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2 Base de Dados

Para desenvolvimento do modelo foi utilizado imagens provenientes do satélite Landsat-5 TM para os anos de 1997, 2000 e 2003, obtidas através do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (Prodes), com a resolução espacial de 250m. Para avaliação do desempenho do modelo foram utilizados os dados do uso e cobertura da terra de 2008 e 2016, também do Prodes. Além das imagens de satélites, foram utilizados como preditores do modelo de simulação *rasters* com resolução espacial também de 250m, contendo as seguintes variáveis para o ano de 2000: *buffer* de distância de rios principais, *buffer* de distância de hidrovias, *buffer* de distância de todas as rodovias, *buffer* de distância de rodovias pavimentadas, *buffer* de distância de loteamentos, *buffer* de distância de áreas desflorestadas, *buffer* de distância de áreas protegidas, solo, vegetação, altitude, declividade e atração urbana Os dados foram obtidos junto ao Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG (CSR) (www.csr.ufmg.br).

2.3 Calibração do Modelo

A calibração do modelo tem por objetivo selecionar o melhor conjunto de variáveis e parâmetros, produzindo, desta forma, um melhor ajuste entre os dados empíricos e a realidade. O cálculo da matriz de transição é o primeiro passo para a calibração do modelo. Essa matriz descreve um sistema que muda em incrementos de tempo discretos, em que o valor de qualquer variável em um dado período de tempo é a soma de porcentagens fixas de valores de todas as variáveis no passo de tempo anterior (SOARES-FILHO et al., 2013).

Em função dos propósitos estabelecidos neste trabalho, foi gerada uma matriz de transição que demonstra as alterações no período analisado, neste caso, entre os anos de 2000 e 2003. Diante disso, foram geradas as taxas de transição que definem as taxas líquidas de mudança, demonstrando a porcentagem de terras alteradas da classe floresta para a classe desmatada, e a taxa bruta, expressa em unidades de área, em hectares ou km².

Uma vez que o processo de geração da matriz de transição encontra-se finalizado, foram identificadas as áreas mais susceptíveis às mudanças, utilizando o método de pesos de evidências. Este procedimento consiste em um método bayesiano do tipo Autômato Celular, que foi aplicado a partir da plataforma Dinamica EGO. O método utiliza-se de variáveis explicativas categóricas e binárias para informar o quão atrativas ou repulsivas estas variáveis são à variável resposta "desmatamento". As variáveis contínuas precisam ser categorizadas de forma que cada intervalo desta variável seja avaliado em termos de sua associação ou dissociação com a variável resposta (SOARES-FILHO et al., 2004).

Para aplicação do método, foram incluídos os mapas da paisagem inicial do uso e cobertura da terra (1997) e final (2000), além dos dados quantitativos de vegetação, solo, altitude, distância de estradas, rios, entre outros. Para identificar a correlação das variáveis explicativas, foi aplicado o Teste de *Crammer*, proposto por Bonham-Carter (1994). O Índice de *Crammer* está limitado a valores entre o intervalo de 0 a 1, e sugere que abaixo de 0,5 exista menos correlação entre as variáveis. As variáveis espaciais com alto grau de correlação, ou seja, variáveis que podem causar superinflação do modelo (erro Tipo-1), foram excluídas, e para isso, considerou-se o limiar de 0,6 no índice de *Crammer*. Após a realização de diversos testes, os parâmetros para o processo de categorização também foram alterados em alguns casos, buscando, dessa forma, variáveis que apresentassem valores significativos. Por exemplo, o incremento (categorização) das variáveis "altitude" e "distância de todas as rodovias" passaram de 100 em 100 metros, para intervalos de 50 metros, já a variável "atração urbana" passou de 100 para 200 metros. Por fim, alteraram-se também os

valores de incremento da variável "distância de assentamentos" de 100 para 400 metros, além dos valores do delta mínimo que passou de 10 para 50.

2.4 Parametrização e Validação do Modelo

Utilizou-se para a parametrização do modelo os valores dos algoritmos *expander* e *patcher*, responsáveis pela alocação de mudanças de cobertura e uso da terra. A primeira corresponde à expansão e contração de manchas previamente existentes de uma determinada classe. A segunda destina-se a criação de novas manchas e correção falhas ou remendos. Além da proporção entre *patcher* e *expander*, torna-se necessário o uso do índice de isometria, e neste caso foi adotado o valor de 1,5 (SOARES-FILHO, 2004). Diversos métodos de comparação de mapas foram desenvolvidos sendo que o Dinamica EGO utiliza o método de similaridade *fuzzy* adaptado de Hagen (2003). Esse método considera uma função de incerteza da localização de uma classe dentro de sua vizinhança de células. Nessa etapa foram utilizados os mapas de uso e cobertura da terra, observado e simulado, para o ano de 2003. O valor de similaridade obtido representa o grau de ajuste de uma função de decaimento exponencial com a distância para o peso da contribuição do estado da célula em torno de uma célula central (SOARES-FILHO, 2004).

Foi também realizada uma validação adicional utilizando um modelo nulo. Durante esse processo de validação gerou-se um mapa nulo de cobertura do solo simulado para o ano de 2003, tendo como base um mapa de probabilidade nula. Para o mapa de probabilidade nula foi definido um valor igual para todas as células (0,5), significando que a mudança de classe de cobertura do solo poderia ocorrer em qualquer célula de forma aleatória durante a rodada de simulação, uma vez que nenhuma das células apresentaria uma probabilidade maior de mudança em relação à célula vizinha. Posteriormente, esse mapa nulo de cobertura da terra simulado foi submetido à mesma validação apresentada no tópico anterior, sendo inserido no lugar referente ao mapa de cobertura da terra simulado. Agora, no entanto, o resultado esperado é um valor de similaridade menor do que o observado na validação utilizando decaimento constante com múltiplas janelas, o que significaria que o modelo produzido não está gerando mudanças de cobertura do solo de maneira aleatória. A estrutura de paisagem (média e desvio padrão das manchas) dos mapas simulado e nulo foi gerada para comparação e discussão.

Outra validação realizada foi pelo método de similaridade de janela múltipla, onde é empregada uma função de decaimento constante dentro de um tamanho de janela variado. Foi adotada uma função de decaimento constante para o mapa do ano de 2003 com janelas dos tamanhos: 1x1, 3x3, 5x5, 7x7, 9x9 e 11x11.

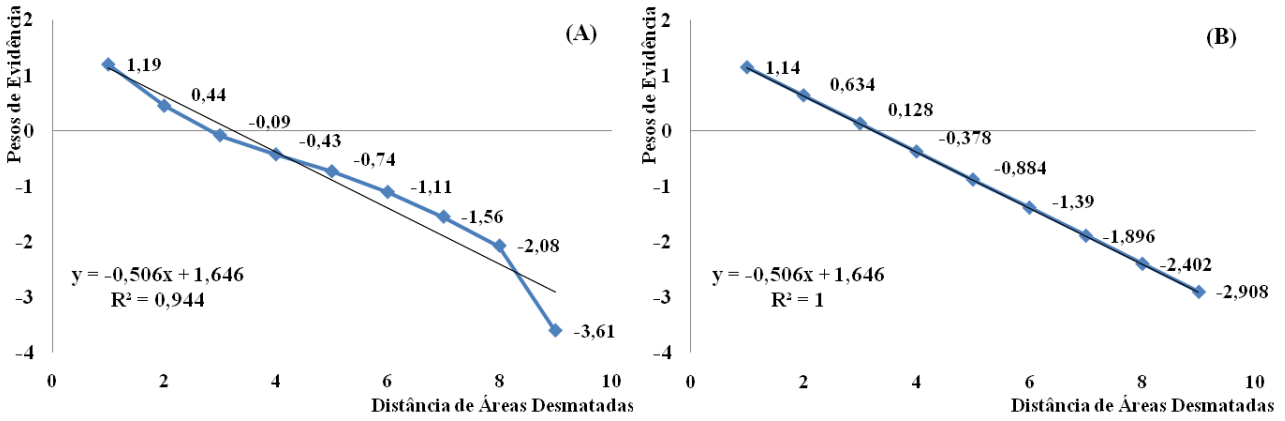
Após essa etapa, foi rodado o modelo de simulação para os anos de 2008 e 2016. Posteriormente, estes mapas tiveram suas similaridades calculadas com os mapas disponibilizados pelo Prodes para os mesmos anos, utilizando a ferramenta *Calc Reciprocal Similarity Map* disposta no Dinamica EGO. Os arquivos *rasters*, gerados pelo Dinamica EGO, foram transferidos para o ArcGIS versão 10.2. para geração de *layouts*. Com alguns dados obtidos por planilhas durante a construção do modelo foram gerados gráficos e tabelas para análise e discussão.

3. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Após a geração da matriz de transição, calculada a partir dos mapas de 2000 (inicial) e 2003 (final), observou-se que neste período o desmatamento ocorreu a uma taxa líquida de 6,02% ao ano. Este valor aponta o percentual de conversão de áreas não desmatadas em áreas desmatadas. Ainda, de acordo com os resultados do índice *Crammer* no teste de dependência espacial, foram excluídas as variáveis "distância de vias pavimentadas" e "distância para hidrovias", devido à alta correlação espacial e, portanto, redundância entre as variáveis. Esta exclusão foi necessária para garantir a independência de eventos. Após a exclusão, foram recalculados os intervalos e os pesos de evidência. Os coeficientes de determinação (R^2) gerados a partir dos pesos de evidência também foram ajustados como forma de suavizar as diferenças entre os parâmetros. Um exemplo desse ajuste é apresentado na Figura 2 para a variável "distância de áreas desmatadas".

Na validação do modelo foi aplicada a medida de similaridade *fuzzy* disposta no Dinamica EGO entre os mapas simulado e observado. Na validação por similaridade usando decaimento exponencial os valores obtidos entre os mapas observado e simulado foi de 0,588 e entre os mapas observado e nulo foi de 0,376. Isso significa, portanto que há uma significativa diferença entre os mapas gerados pelo modelo utilizando os parâmetros mencionados e o mapa de probabilidade aleatória. A avaliação do mapa simulado para o ano de 2003 é apresentado na Tabela 1.

Figura 2 – Ajuste nos pesos de evidência: Distância de áreas desmatadas (A); Distância de áreas desmatadas "ajustado" (B).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela 1 - Avaliação do resultado do modelo pelo método de janela múltipla para o ano de 2003.

Tamanho da Janela (*pixels*)	Similaridade Mínima	Similaridade Máxima
1x1	0,1577	0,1887
3x3	0,2592	0,6080
5x5	0,3435	0,7331
7x7	0,4051	0,7790
9x9	0,4415	0,8062
11x11	0,4644	0,8257

Fonte: elaborado pelos autores.

Pela Tabela 1 é possível identificar que a partir da janela de tamanho 3x3 *pixels* a similaridade máxima já ultrapassa 0,5 (0,6080), sendo que na janela de tamanho 11x11 *pixels* a similaridade máxima é 0,8257. Isso mostra uma concordância aceitável entre os mapas, sendo que se as mesmas células de alteração fossem encontradas numa mesma janela o resultado seria 1, como discutido por Soares-Filho et al. (2013).

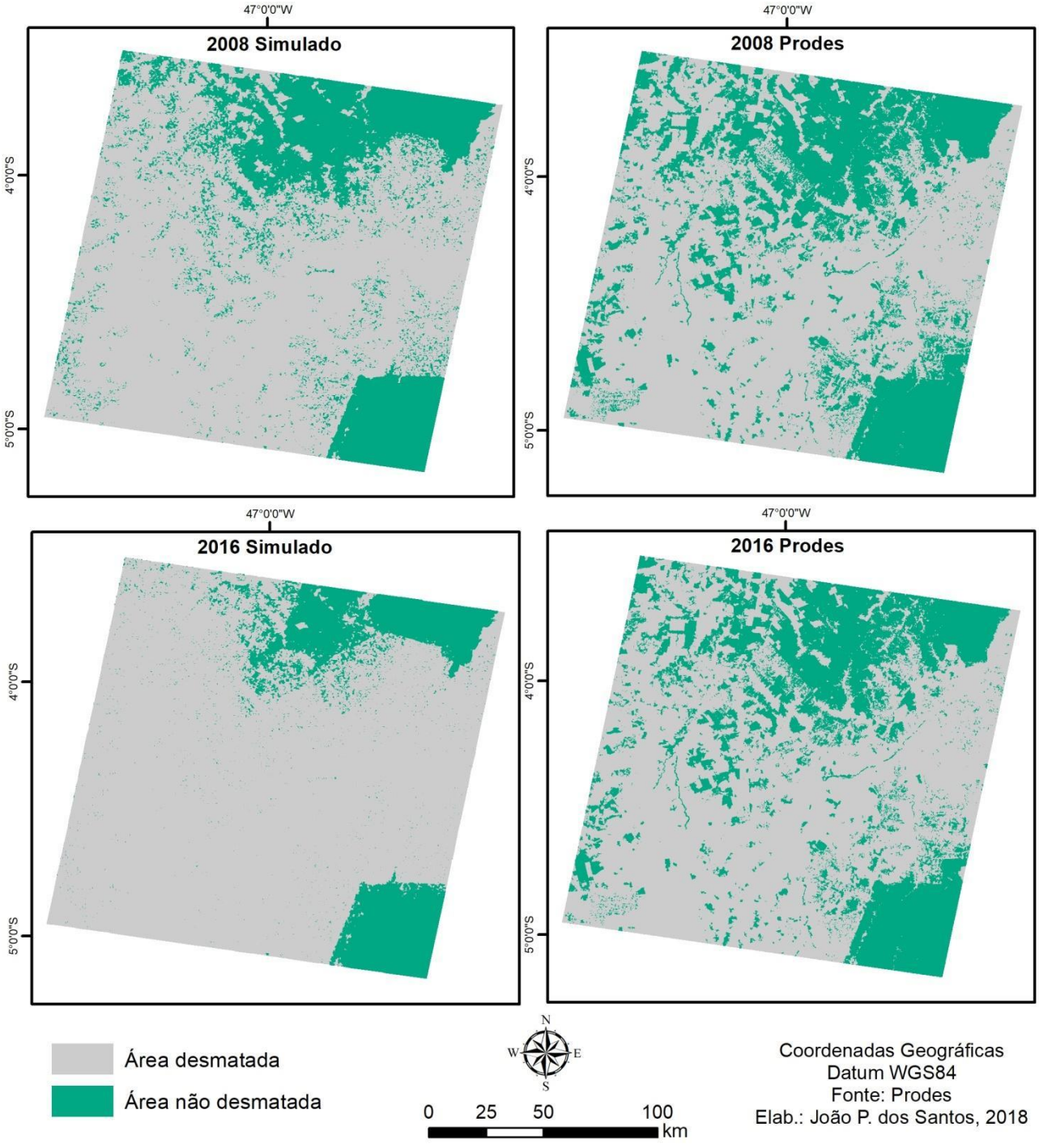
Como método de verificação do modelo através das imagens obtidas, os mapas real e simulado de 2003 tiveram seus tamanhos médios e desvio padrão das manchas calculados para as áreas desmatadas e não desmatadas, como mostrado na Tabela 2. Para as áreas desmatadas a variação dos resultados foi pequena em relação aos valores das áreas não desmatadas entre os mapas. Enquanto que o mapa real apresenta para áreas não desmatadas tamanho médio de 2250,77ha, o mapa simulado apresenta 455,32ha. Apesar da determinação dos parâmetros para os algoritmos de transição, criação e expansão das manchas (*patcher* e *expander*) por tentativa e erro, esses foram os melhores valores encontrados.

Tabela 2 – Tamanho médio e desvio padrão das manchas das áreas desmatadas e não desmatadas.

Mapas	Áreas	Média do tamanho das manchas em Ha	Desvio padrão do tamanho das manchas em Ha
2003 real	Desmatada	2399,56	59366,90
	Não desmatada	2250,77	28212,22
2003 simulado	Desmatada	1999,91	56080,37
	Não desmatada	455,32	11835,03

Após vários testes de simulação, com a obtenção dos parâmetros satisfatórios e validação, foram gerados os mapas com simulações para 2008 e 2016 para que, assim, fosse possível a comparação entre os mapas obtidos pelo Prodes para o mesmo período, como mostra a Figura 3. Pelos mapas contidos na Figura 3 verifica-se que a expansão do desmatamento se dá de forma diferente na comparação entre os mapas simulados e os mapas obtidos pelo Prodes. Nos mapas simulados, o desmatamento ocorre de forma mais intensa que a realidade verificada no mapeamento realizado pelo INPE.

Figura 3 – Áreas desmatadas e não desmatadas para os anos de 2000 e 2008 obtidos pela simulação do modelo e pelo Prodes.



Foi calculada a similaridade entre os mapas obtidos pela simulação do modelo e os mapas obtidos pelo Prodes (Tabela 3). Para o ano de 2008 a similaridade entre os mapas simulado e real foi de 0,6798. Para o ano de 2016 a similaridade entre os mapas foi de 0,7310. Ou seja, o primeiro ano analisado (2008) possui similaridade inferior ao segundo ano (2016).

De acordo com o INPE (2018) o Pará é o estado brasileiro com maior taxa de desmatamento, tendo o Maranhão também uma expressiva participação nesse ranking. Todavia, esse desmatamento tem ocorrido de forma menos intensa em relação ao que foi identificado pelas simulações. Dentre os fatores que levaram a isso, considera-se a

ausência de mais dados socioeconômicos e biofísicos que poderiam ser incluídos no modelo, como mudanças na legislação, como o Código Florestal lançado em 2012, por exemplo. Outro fator a ser considerado é o tamanho dos valores do *pixel* dos dados de entrada que podem ter condicionado uma generalização das informações espacializadas.

Tabela 3 – Similaridade entre os mapas obtidos pela simulação do modelo e do Prodes para 2008 e 2016.

Ano	Similaridade entre os mapas simulados e do Prodes
2008	0,6798
2016	0,7310

Trabalhos semelhantes ao aqui apresentado, como o de Ximenes et al. (2007) e Teixeira (2009), obtiveram resultados mais próximos da realidade de sua e uma melhor validação. Embora ambos os trabalhos citados tenham se utilizado de metodologias bastante parecidas com a utilizada nesse artigo, nota-se um melhor desempenho dos modelos de simulação, muito devido à utilização de dados com melhor resolução espacial.

4. DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Modelos de simulação da transformação do uso e cobertura da terra estão sendo amplamente utilizados, porém há de se haver precaução em seus usos para que não ocorram conclusões precipitadas. Podemos, inclusive, considerar que os desmatamentos poderiam estar ocorrendo em taxas maiores se não fosse o esforço científico de gerar modelos que simulem a cobertura superficial da Amazônia que servem como ferramentas aos tomadores de decisão para gestão territorial.

O esforço para se calibrar e validar o modelo leva a constantes alterações nos valores da parametrização, incluindo ciclos de seleção de variáveis e de cálculo dos pesos de evidência. Apesar da diferença entre as simulações e a realidade, os cenários gerados se apresentam como um alerta à ampla expansão do desmatamento por seu espalhamento difuso. As limitações do modelo giram em torno da necessidade de generalização dos mapas, uma vez que a base de dados utilizada já possui valores de *pixels* correspondentes às grandes áreas. Porém, ciente de suas limitações verifica-se que o percurso metodológico adotado apresenta o potencial da modelagem espacial como uma importante ferramenta para auxílio na gestão territorial.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de mestrado ao autor João Pedro dos Santos. À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (Fapemig) pela concessão da bolsa de mestrado ao autor Welisson Wendel Eufrásio Gomes. E finalmente, ao Centro de Sensoriamento Remoto da UFMG (CSR) pela disponibilização da base de dados utilizada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BONHAM-CARTER, G. F. **GeographicInformation Systems for Geoscientists: Modellingwith GIS**. Ontario: Pergamon, 1994. 305 p.

GEIST, H. J. & LAMBIN, E. F. 2001. **What Drives Tropical Deforestation? A Meta-Analysis of Proximate and Underlying Causes of Deforestation Based on Subnational Case Study Evidence**. Belgium, LUCC International Project Office, LUCC Report Series, 4. 136pp. Disponível em: <http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/lucc.html>.Acessoem 23 de junho de 2018.

HAGEN, A. **Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps**. InternationalJournalofGeographicalInformation Science, 17 (3), p.235-249, 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite.** Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em 12 de junho de 2018.

SOARES-FILHO, B. S.; ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; CERQUEIRA, G.; VERA-DIAZ, M.; RIVERO, S.; SOLÓRZANO, L. & VOLL, E. 2004. Simulating the Response of Land-Cover Changes to Road Paving and

Governance Along a Major Amazon Highway: The Santarém-Cuiabá Corridor. **Global ChangeBiology**, 10(5): 745-764.

SOARES FILHO, B. S.; GARCIA, R. A.; RODRIGUES, H.; MORO, S.; NEPSTAD, Daniel. Nexos entre as dimensões socioeconômicas e o desmatamento: A caminho de um modelo integrado.In: BATISTELLA, Mateus; ALVES, Diogenes; MORAN, Emilio. (Org.). Amazônia. **Natureza e Sociedade em Transformação**. São Paulo, 2008, v. 1.

SOARES-FILHO, B.; RODRIGUES, H.; FOLLADOR, M. **A hybridanalyticalheuristicmethod for calibratingland-use changemodels**. Environmental Modelling& Software, v. 43, p. 80-87, 2013.

TEIXEIRA, Gustavo Grillo; SOARES-FILHO, Britaldo Silveira . **Simulação da tendência do desmatamento nas Cabeceiras do Rio Xingu, Mato Grosso - Brasil**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14 (SBSR), 2009, Natal. Anais. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2009. p. 5483-5490.

XIMENES, A. C.; ALMEIDA, C. M. ; AGUIAR, A. P. D. ; AMARAL, S. . **Modelagem dinâmica do desmatamento na Amazônia. Caso de estudo no município São Felix do Xingu - Pará**.. In: XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada, 2007, Natal. XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada. Natal: UFRN, 2007.

CARTOGRAFIA APLICADA A SEGURANÇA INSTITUCIONAL

CARLOS FABRICIO ASSUNÇÃO DA SILVA[1]
SIMONE SAYURI SATO[2]
ARMANDO LUÍS NASCIMENTO[3]
GILDO JOSÉ DOS SANTOS[4]

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
carlosfew@outlook.com[1], simone.sato@ufpe.br[2]

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Superintendência de segurança institucional, Recife, PE
armando.nascimento@ufpe.br[3], dosantosgio@gmail.com[4]

RESUMO - Diante de um cenário crítico nacional de segurança e coligada aos interesses da Superintendência de Segurança Institucional – SSI da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, este artigo apresenta a metodologia desenvolvida e alguns dos resultados de um projeto interdisciplinar do curso de engenharia cartográfica com a SSI da UFPE, cujos esforços para a produção de mapas de crimes proporcionaram estudos de geolocalização da violência e da criminalidade do espaço urbano do campus e aos seus arredores, sendo crucial e de suma importância para a comunidade em geral que sofre com a fragilidade da segurança no Brasil. Para uma melhor compreensão de como ocorre a dinâmica de ocorrências criminosas na UFPE no campus recife, foram manuseados no software QGIS (sistema de informações geográfica) os dados obtidos junto às instituições de segurança do campus. Os objetos principais foram: a criação dos mapas isopléticos (*hotspot*) e com esses mapas, estudar e analisar o comportamento espacial das ocorrências de crimes. Uma das análises visuais dos mapas resultantes, pode-se detectar que os crimes ocorridos num período de um ano comparada a outro ano subsequente tem um comportamento de distribuição e densidade dos pontos que conduzem a ações e tomadas de decisões locais e gerais na área de estudo. Na decorrência deste trabalho pode-se constatar a eficácia e eficiência da metodologia desenvolvida com a aprovação pelos policias e seguranças do campus. Os mapas gerados, agregaram como benefícios: a identificação visual da localização das ocorrências de crimes e onde se encontram mais eventos registrados; a identificação das tendências e dos padrões de ações; a visualização e estudo das transformações espaciais decorrentes da aplicação do policiamento, apontando de forma clara e rápida onde reforçar a segurança no planejamento operacional com ações preventivas no campus da UFPE.

ABSTRACT - On a critical national security scenario and related to the interests of Superintendência de Segurança Institucional – SSI of the Federal University of Pernambuco - UFPE, this article presents the methodology developed and some of the results of an interdisciplinary project of the cartographic engineering course with SSI UFPE, whose efforts to produce crime maps have provided geo-location studies of violence and crime in the urban space of the campus and its surroundings, being crucial and importance to the general community suffering from the fragility of Brazil's security. For a better understanding of how the dynamics of criminal occurrences at UFPE on the campus reef are handled in the QGIS (geographic information system) software the data obtained from campus security institutions. The main objects were: the creation of kernel maps (hotspot) and with these maps to study and to analyze the spatial behavior of the occurrences of crimes. One of the visual analyzes of the resulting maps reveals that crimes occurring in a period of one year compared to another subsequent year have a distribution behavior and density of the points that lead to local and general actions and decisions in study. Because of this work we can verify the effectiveness and efficiency of the methodology developed with the approval by the campus police and security guards. The maps generated, added as benefits: visual identification of the location of crime occurrences and where more events are recorded; the identification of trends and patterns of actions; the visualization and study of the spatial transformations resulting from the application of policing, clearly and quickly pointing out where to reinforce the safety in the operational planning with preventive actions in the UFPE campus.

1 INTRODUÇÃO

O histórico estatístico de crimes no Brasil vem aumentando nos últimos anos e tem ocupado um espaço cada vez maior no universo de preocupações do povo brasileiro. De acordo com a ONG mexicana de Segurança, Justiça e paz (2017), o país ocupa o quarto lugar no índice de criminalidade geral no mundo. O Estado de Pernambuco ocupa a vigésima segunda posição nos índices de violência mundiais. Estudos sobre essa evolução vem sendo conduzidos, levando em consideração diversos cenários, com diferentes abordagens em várias disciplinas. É revelado um cenário altamente inquietante para o futuro.

Para Diniz e Batella (2006), a criminalidade vem se agravando devido ao aumento de pessoas nas grandes cidades. O adensamento de pessoas nos centros urbanos pode produzir uma maior conscientização da desigualdade social, o que, por consequência, potencializa a incitação da prática criminal. Para conhecer, monitorar, controlar e gerir o universo de informações ligadas as práticas criminais esses autores apresentam a cartografia do crime como uma grande aliada no combate as altas taxas de crimes.

Diante de um cenário crítico nacional e coligada aos interesses da Superintendência de Segurança Institucional – SSI – UFPE, iniciou-se um projeto interdisciplinar cujos esforços de ambos, resultaram no desenvolvimento de uma metodologia para elaboração de mapas dos crimes para a instituição e que é apresentada nesse artigo. Tendo assim, como objetivo geral desenvolver o mapeamento as ocorrências de crimes para a segurança patrimonial do Campus Recife, juntamente com a empresa privada TKS Segurança.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho teve como motivação a observação de um crescente quantitativo de postagens de ocorrências de crime no portal do aluno da UFPE. Com aumento das postagens, houve grande inquietação de pessoas frequentadores do campus. Os crimes começaram aumentar no interior e no entorno próximo do campus. Numa iniciativa dos acadêmicos da disciplina de Cartografia/Cartografia Temática do Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura de aplicar a cartografia na segurança do campus universitário, resultou no interesse da Superintendência de Segurança Institucional – SSI em desenvolver na sua sede processos de mapeamento de ocorrências de crimes no campus UFPE situado no Recife.

A Superintendência de Segurança Institucional – SSI exerce a função de gestor máximo da área de segurança da UFPE e tem como finalidade o planejamento, a execução e a avaliação de projetos e atividades relacionadas à Segurança Institucional. Desenvolve cooperação recíproca com todas as Pró-reitoras nas ações de Segurança, visando promover a segurança dos alunos, docentes, servidores técnicos-administrativos e de todas as pessoas que circulam no Campus diariamente.

Para melhor compreensão de como se dá a dinâmica de ocorrências de crimes na Universidade Federal de Pernambuco campus recife no bairro da cidade universitária, foram manuseamos os dados existentes e obtidos junto às SSI-UFPE. A manipulação dos dados foi realizada no software QGIS, como objeto principal: a produção de mapas de crimes. Foram elaborados os mapas isopléticos (*hotspot*) que permitiram a visualização de dados a partir da densidade de pontos (quantitativo de crimes) e mostrando semanticamente o comportamento espacial dessas ocorrências. Para atender o objeto geral, foi desenvolvida e aplicada uma metodologia de trabalho fundamentada nos acervos bibliográficos cuja temática foram a cartografia aplicada a segurança. Para a elaboração dos mapas, foram usados os conhecimentos práticos adquiridos na disciplina de cartografia do curso de engenharia cartográfica e de agrimensura. A metodologia do trabalho, foi desenvolvida conforme as etapas descritas a seguir:

- 1° Etapa: levantamento, análise, triagem, ordenamento dos dados fornecidos pela Superintendência de Segurança Institucional – SSI - UFPE. Os dados foram disponibilizados via portal www.sigos.ufpe.br com apoio do gerente de análise de riscos e estatísticas da SSI-UFPE. Com posse dessas informações, iniciou-se um processo de triagem, ordenamento e conversões das informações em dados. Foi criado um banco de dados.

  Para elaboração de mapas, ou antes que o dado de um crime seja lançado no mapeamento, ele deve passar por um processo complexo de análise dos dados, o que ainda não garante a isenção de erros em alguns pontos de localização do delito. Alguns tipos de crime podem ser subnotificados (Coleman e Moynihan, 1996 in Ratcliffe, 2002). Assim, qualquer mapa irá subestimar os casos reais de atividade devido a não triagem e validação da informação. Uma solução que vem sendo adotada para alertar os usuários do mapa, é notificá-lo dos prováveis erros (a precisão do mapa). Em alguns casos, são adotados alertas no mapa nas regiões que apresentarem locais de crimes denunciados e registrados pela polícia, simbolizando que a informação não é absolutamente confiável. Porém, nem sempre os alertas e as páginas de aviso são necessariamente eficientes.

- 2° Etapa: processamento dos dados no software QGIS 2.18.13. tem como principal atividade a geocodificação dos dados para a elaboração dos mapas. Geralmente os locais de eventos de crime são armazenados na base de dados usando a geometria de ponto, e isso requer um processo de conversão da localização dada por endereço de um crime em um ponto georreferenciado no mapa.

  A geocodificação envolve a interpretação do local do endereço que é vasculhado num banco de dados que possui os possíveis endereços correspondentes (conhecido como 'gazetteer'). Outra solução é o uso de um algoritmo de computador para identificar um segmento de linha de rua adequado com um intervalo de numeração apropriado e o nome da rua e, a partir disso, interpolar um local provável do endereço em questão. Para este último, as linhas de rua da cidade ou área sob pesquisa devem ter sido mapeadas previamente e as informações necessárias sobre o atributo (nome da rua, números e assim por diante) devem ter sido adicionados ao arquivo de atributos.

  A garantia de uma acurácia geoespacial no mapa é fundamental. Quando um crime é relatado para um policial ou outra autoridade responsável, o registro preciso da localidade depende da vítima saber e informar a correta localização do incidente, e inclusive cabe ao oficial registrar a localização sem erros. Todos os cuidados nos registros das ocorrências, visam o fornecimento de uma fonte adequada de localizações cujo destino é a geocodificação dos locais de ocorrências criminais para finalmente gerar os pontos acurados do delito no mapa. A ciência de validação da geocodificação ainda está em desenvolvimento, bem como, a forma efetiva de verificação da qualidade dos dados (Harries, 1999 in Ratcliffe, 2002).

  No caso da UFPE, foram realizadas visitações in loco para validar a localização, e ainda verificar a veracidade dos dados das ocorrências de crime informados na planilha de dados do departamento de segurança do campus. O trabalho consistiu na comparação das informações averiguadas em campo com os dados registrados, a partir dessa verificação, foram realizadas a validação da qualidade dos dados e a geocodificação dos elementos correspondentes as ocorrências dos crimes e, finalmente a atualização do banco de dados gerados pela primeira etapa.

- 3° Etapa: elaboração de mapas e geração de práticas com Softwares SIG adequados ao mapeamento do crime. Nesta fase foram selecionados os métodos de classificações para o agrupamento dos dados, intervalos de classe e as representações cartográficas. Nesta atividade, foram testados e gerados diversos mapas temáticos usando os dados tratados nas etapas anteriores.

  Existem vários processos diferentes de agregação, como por exemplo, gerar uma superfície suavizada de densidade de eventos ou a distribuição agregada de crimes com limites fixos, como setores censitários. O primeiro processo produz diferentes saídas com os mesmos dados de entrada. O segundo é chamado de Problema de Unidade de Área Modificável (MAUP), identificada como um problema em (Openshaw, 1984; BaiIey e Gatrell, 1995; Unwin, 1996) in RATCLIFFE. 2002. O MAUP pode ocorrer quando há uma mudança na posição dos limites, podendo gerar mapas com os mesmos dados, dando margens a falsas interpretações. São grandes os potenciais de representação cartográfica de mapas temáticos de crimes, porém os mais usuais são gerados por processos de suavização atuais gerando áreas definidas de *hotspot*.

  Os *hotspots* da criminalidade podem ser entendidos como determinados locais, ou, um agrupamento de delitos que apresentam certa frequência de ocorrência, essa frequência pode perdurar por diferentes períodos: dias, semanas, meses. (Gorr e Lee, 2014). Estas locações podem ser identificadas por pequenos pontos localizados em um mapa e que correspondem à localização dos crimes, podendo ser quadras, intervalos de uma rua, fazer essas pequenas identificações é a viabilidade da atuação das forças policiais no sentido de prevenir e combater o crime. Segundo Weisburd et al. (2009) a identificação dos *hotspots* pode ser realizada somente com o uso das ocorrências dos crimes, em que pode haver sua categorização quanto ao tipo de crime, ou por quem foi cometido o delito. Kennedy et al. (2011) afirmam que a localização e previsão de crimes pode ser feita de acordo com o contexto social e das características sociais das pessoas. Determinadas áreas que têm maiores densidades de crimes são visualizadas em um mapa a partir do momento em que os pontos que ocorrem os eventos com maior ou menor intensidade são identificados. Os métodos para os cálculos são baseados em diferentes teorias matemáticas que calculam as densidades com base nos pontos contidos no mapa. Então, os métodos procuram avaliar as informações através de um ponto central, o desvio padrão entre as distancias, o uso de elipses para clusterizar os crimes dentre outras abordagens (Wang et al., 2013)

  Os mapas do campus Recife, foram elaborados com base numa ortofoto cedida pela COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento). A ortofoto foi importada e vetorizada no software QGIS 2.18.13, onde também foram feitas todas as manipulações necessárias até a obtenção dos mapas propostos. Pelo motivo da Ortofoto não atual, percebeu-se a ausência de novos prédios, se deu continuidade da vetorização dos edifícios utilizando o Google

Maps. Finalizando a vetorização das feições do terreno de interesse, selecionada a representação cartográfica dos dados, foram elaborados os mapas temáticos apresentados na Figura 1 e 2.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O campus Recife da UFPE apresenta grandes problemas em relação a segurança devido a: sua localização que é propícia a riscos de crimes, a conexão com uma rodovia federal e, o acesso a área do campus que é aberta 24 horas sem controle da entrada. Acrescido a isso, tem-se um quantitativo reduzido de agentes de segurança disponíveis para a extensão da área do campus a ser percorrida. Neste contexto, a cartografia ofereceu a partir dos mapas um estudo de geolocalização da violência e da criminalidade do espaço urbano do campus e aos seus arredores, sendo crucial e de suma importância.

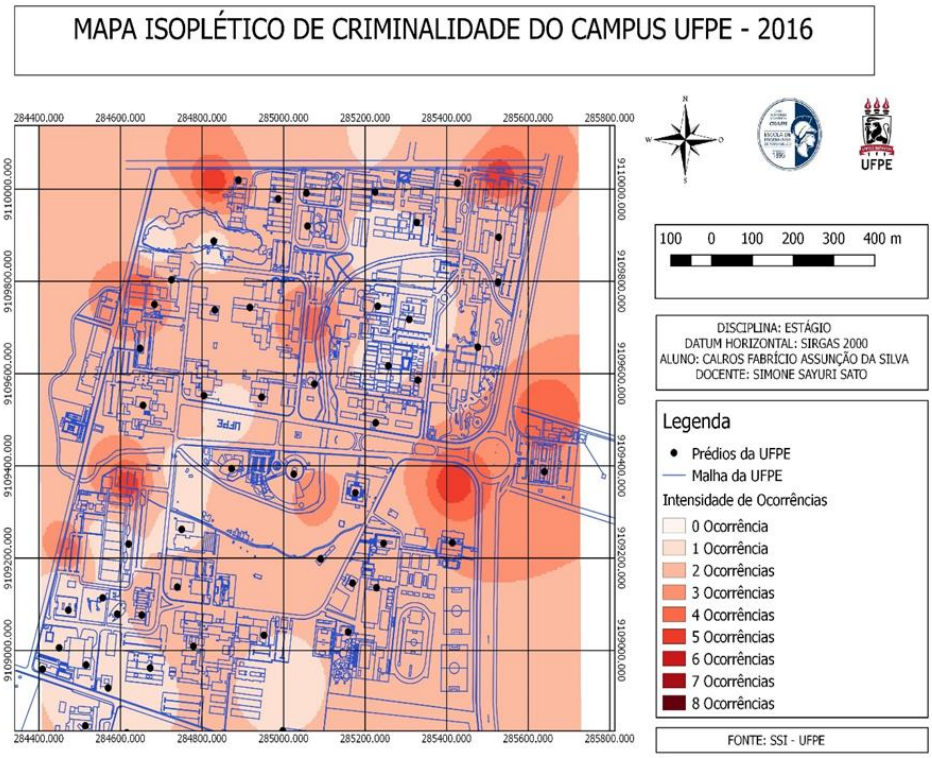
Para uma melhor compreensão de como ocorre a dinâmica de ocorrências criminosas na UFPE, campus recife e no bairro da cidade universitária, foram manuseados no software QGIS (sistema de informações geográfica) os dados obtidos junto às instituições de segurança do campus. Um dos objetivos principais: a criação dos mapas isopléticos (*hotspot*) que permitiram a visualização espacial dos dados a partir da densidade de pontos georreferenciando. Com esses mapas, pode-se estudar e analisar o comportamento espacial das ocorrências de crimes.

Na análise espacial do mapa gerado das ocorrências do ano de 2016, Figura 1, percebeu-se que os crimes ocorridos no decorrer do ano se comportam com distribuição e densidade dos pontos são exibidos distintamente. Contudo, partir da análise cartográfica foi possível identificar os pontos críticos, como a Reitoria, o centro de tecnologia e geociências (centro acadêmico) – CTG e o Hospital das Clínicas, nestas localidades houve uma significativa parcela das ocorrências. Pôde-se verificar que todas essas edificações estão localizadas próximas ao acesso a saída do campus, onde o fluxo de carros é maior, como é o caso da BR 101. Ou seja, a característica comum de todos os locais das ocorrências, é a acessibilidade a saída, facilitando a fuga dos indivíduos que comentem delitos. Cabe a segurança reforçar a vigilância nos locais de hot-spot para inibir as práticas de crimes.

O mapa isoplético de criminalidade no campus do ano de 2017, Figura 2, mostrou visualmente o aumento das ocorrências criminosas. A respeito dos aumentos, as causas supostas: crise econômica do país, alta taxa de desempregos.

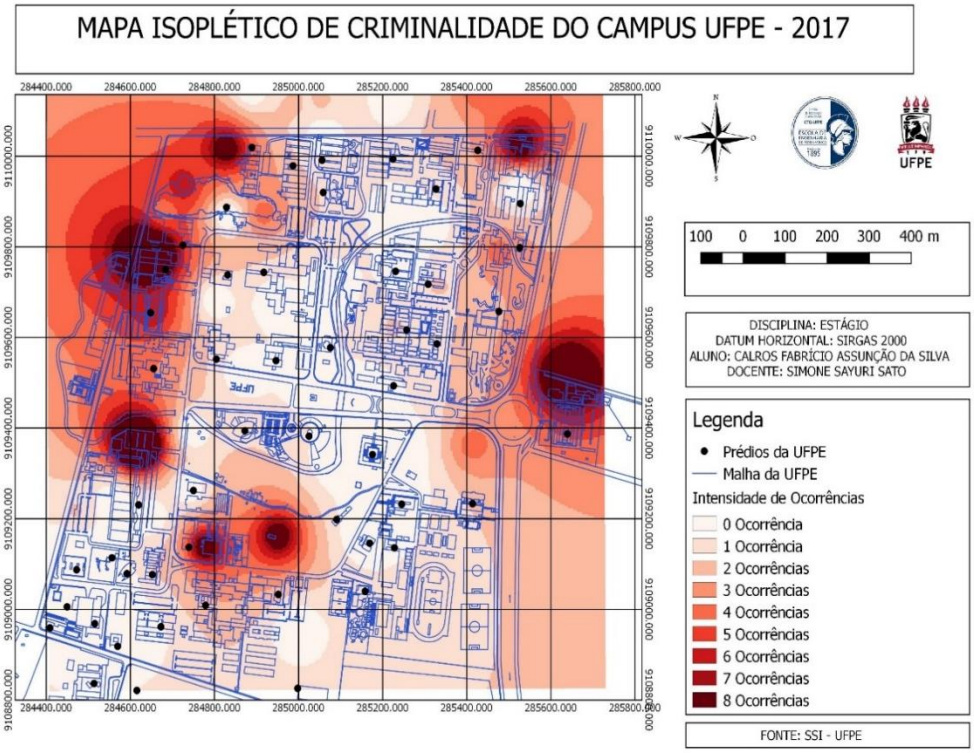
Numa simples inspeção visual, pode-se identificar que os locais próximos as saídas como, reitoria, CTG, hospital das clinicas, continuam sendo alvos das práticas de crimes e ainda com um aumento da intensidade, como é caso do prédio do CTG, onde ocorreu o número maior de ocorrências, seguido dos outros locais mencionados.

Figura 1 – Mapa isoplético de criminalidade do campus UFPE -2016



Fonte: Autor 2018.

Figura 2 – Mapa isoplético de criminalidade do campus UFPE -2017.



Fonte: Autor 2018.

Estes mapas, ajudam a identificar rapidamente os *hotspots* dos crimes, revelando onde estão concentrados o maior número de ocorrências de delitos no campus da UFPE. Além disso, eles são uteis para analisar alterações pontuais ao longo do tempo. Também podem ser usados para visualizar as tendências temporais de incidências criminais, como é perceptível ao comparar os dois mapas de 2016 e 2017, rapidamente percebe-se um aumento de intensidade de crimes no ano de 2017, identificando pelas cores vermelhas mais fortes nos locais com maiores crimes e mais claros com menores incidências, como é o caso do que o mapa de 2016.

O resultado preliminar confirma a discussão teórica-metodológica da espacialidade do crime, tendo como foco maior dentro do Campus, onde o fluxo de pessoas é intenso, gerando um processo facilitador da violência.

A representação espacial dos dados dos crimes de furtos, roubos, permitem uma análise mais perceptível, detalhada e global da dinâmica da criminalidade no passado e a atual, conforme ilustrado nos mapas, Figuras 1 a 2. A representação espacial, portanto, se mostra muito importante, e quando esta está agregada a fotos dos locais correspondentes é um instrumento poderoso pois aproxima o segurança da realidade do espaço físico a ser investigado.

O geoprocessamento da criminalidade com o conhecimento da Cartografia permitiu: identificar tendências e padrões da ação, gerar os mapas que auxiliam na visualização dos dados e trazem todo um valor agregado de visualização e estudo das transformações espaciais e temporais decorrentes da aplicação do policiamento. Aponta de forma clara e rápida uma prévia do planejamento operacional, simula e apresenta resultados, diferentemente da forma tradicional, onde os relatórios se tornam objetos obsoletos e não se mostra com tanta eficiência quanto o SIG.

4 CONCLUSÕES

Para iniciar o projeto proposto, houve a necessidade de acesso aos registros de ocorrências dos crimes, sendo essencial a informação de localização dos mesmos, que pode ser aproximada, mas preferencialmente o mais próximo da realidade possível. Essas informações nem sempre são registradas pelas vítimas, o que prejudica as ações da segurança. Com o quantitativo de ocorrências registradas são adotadas ações cabíveis, se não houver ocorrências nenhuma providência será adotada.

Para receber e armazenar as ocorrências criminais, é imprescindível um sistema adequado de registro das informações. O bom funcionamento da entrada e do registro das informações auxilia na elaboração dos mapas dos crimes, que agregam valores como: a comunicação cartográfica, a geovisualização que auxiliam nas formulações estratégicas de prevenções, investigações e repressões contra as práticas criminais.

A visualização espacial dos dados trouxe a facilidade de identificar os locais ou áreas onde se detectam ocorrências frequentes de crimes. Identificados esses locais, podem ser tomadas medidas simples que intimidam as ações criminosas, como a melhoria de iluminação pública nessas áreas, podas de árvores, alterações de ciclos de rondas e vigilância nestes trechos.

A respeito de uma aquisição de dados dos crimes, ela deve ser realizada de forma harmoniosa e padronizada, de modo que a resultante seja uma estrutura de dados adequada. Com um desenvolvimento de métodos apropriados de gerenciamento e monitoramento que podem potencializar os conhecimentos para que sejam realizados planejamentos e ações que certamente irão trazer benefícios, tendências da redução das estatísticas dos crimes.

Sendo assim, a eficácia do mapeamento da criminalidade do Campus da UFPE-Recife para os anos 2016 e 2017 se torna uma arma tão eficiente quanto as que os policiais portam, por se tratar de uma ferramenta preventiva com abrangência em diversos tipos de ações criminosas e que principalmente por não possuir um alto valor financeiro de investimento. Outro benefício que esta ferramenta pode fornecer é a identificação mais precisa de determinadas ocorrências e assim o operador pode facilmente deslocar a viatura ou guarnição mais próxima do local, uma vez que há os dados das coordenadas do local do crime, facilitando as decisões operacionais e estabelecendo assim as prioridades de deslocamento de acordo com a espécie de ação criminosa.

O mapeamento junto com o geoprocessamento da criminalidade tem inúmeras vantagens entre as mais importantes: identifica tendências e padrões da ação, auxilia na visualização dos dados geograficamente o que facilita a interpretação dos mesmos, permite a visualização e estudo das transformações espaciais decorrentes da aplicação do policiamento, apontando de forma clara e rápida se o planejamento operacional apresenta resultados, assim melhorar a segurança dentro do campus da UFPE.

REFERÊNCIAS

BAILEY, T.C. and GATRELL, A.C**. Interactive Spatial Data Analysis.** LONGMAN, 1995.

COLEMAN, C. and MOYNIHAN, J. **Understanding Crime Data.** Open University Press, Buckingham, UK. 1996.

DINIZ, A. M. A.; BATELLA, W. B. **Criminalidade Violenta nas Regiões de Planejamento de Minas Gerais: Uma Abordagem Quantitativa.** Caderno de Geografia. Belo Horizonte, v. 14, n. 23, 2. Sem. 2004. p.51–72.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Editora da UFPR, 1994. 319p.

GORR, W. L. e LEE, Y. **Early warning system of temporary crime hot spots.** Journal of Quantitative Criminology, Publicado Online. 2014.

HARRIES, K. **Mapping Crime: Principles and Practice**. US Department of Justice, washington DC. 1999.

KENNEDY, L. W., CAPLAN, J. M. e PIZA, E. **Risk clusters, hotspots, and spatial intelligence: risk terrain modeling as an algorithm for police resource allocation strategies.** Journal of Quantitative Criminology, 27, 339-362. 2011

OPENSHAW, S. **The Modifiable Areal Unit Problem.** Concepts and techniques in modern geography, 38, 41. 1984

RATCLIFFE, J.H. MCCULLAGH, M.J. **Chasing Ghosts? Police Perception Of High Crime Areas**. British. Journal of criminology, 41, 330–341. 2002.

UNWIN, D.J. GIS, **Spatial Analysis and Spatial Statistics. Progress in Human Geography**, 20, 540–551. 1996.

WANG, D., DING, W., Lo, H., MORABITO, M., CHEN, P., SALAZAR, J. e STEPINSKI, T. **Understanding the spatial distribution of crime based on its related variables using geospatial discriminative patterns.** Computers, Environment and Urban Systems, 39, 93-106. 2013.

WEISBURD, D., MORRIS, N. A. e GROFF, E. R. **Hot spots of juvenile crime: a longitudinal study of arrest incidents at street segments in Seattle,** Washington. Journal of Quantitative Criminology, 25, 443-467. 2009.

COMPARAÇÃO DE METODOLOGIAS NA APLICAÇÃO DO MÉTODO BUFFER DUPLO PARA ANÁLISE DE ACURÁCIA POSICIONAL POR FEIÇÕES LINEARES

DIEGO TELES DA CRUZ
PRISCILA DE LIMA E SILVA
IANN GOMES RODRIGUES DA FONSECA
AFONSO DE PAULA DOS SANTOS

Universidade Federal de Viçosa - UFV
Setor de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica
Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, MG
{diego.teles; priscila.l.silva; iann.fonseca; afonso.santos}@ufv.br

RESUMO – O controle de qualidade de produtos cartográficos visa avaliar as incoerências existentes e a qual finalidade o produto se destina. Sendo um dos principais elementos analisados a acurácia posicional, que avalia, quão próximo a posição dos dados cartográficos se encontram da realidade no terreno. O método do *Buffer* Duplo, permite avaliar a acurácia posicional de produtos cartográficos através de feições lineares. Neste método, são geradas faixas de incerteza a partir das linhas de teste e referência, e a partir destas são calculados os valores de discrepância média. Na aplicação deste método, deve-se definir as larguras a serem consideradas nas faixas de incerteza. Tveite e Langaas (1999), propôs a normalização das áreas, para definir a largura ideal a ser considerada em cada par de linha em análise. Enquanto, Santos et al. (2015), propôs o emprego da largura igual ao valor do PEC, estabelecido pelo Decreto Nº 89.817, de acordo com a classe e escala na qual o produto foi avaliado. Assim, o objetivo deste trabalho, foi empregar essas duas metodologias e comparar os resultados alcançados. Como área de estudo considerou-se as feições de hidrografia, referente ao munícipio de Tangará da Serra, na região do Pantanal Mato-Grossense. No desenvolvimento deste estudo, pode-se perceber grande variação nas larguras adotadas. Pelo método da largura igual ao PEC foi considerado 400 metros, enquanto pela largura das áreas normalizadas o maior valor encontrado foi 197,29 metros. No entanto, em relação a classificação do produto, aplicando ambas as metodologias, o produto foi considerado Classe C para a escala 1:500.000, de acordo com as condições impostas pelo Decreto Nº89.817.

ABSTRACT - Cartographic quality control evaluates existing inconsistencies in a cartographic product in order to meet a specific purpose. The positional accuracy is one of the most analyzed elements in the cartographic quality control. This element evaluates how close the position of the cartographic data are of the reality in the terrain. The Double Buffer method allows evaluating a positional accuracy of cartographic products through linear features. This method consists of generating buffers on the test and reference lines, and then calculating the mean values of discrepancy. In applying this method, it is necessary to define the widths of the uncertainty ranges. Tveite and Langaas (1999), proposed the normalization of the areas, to define the ideal width for each analyzed pair of lines. While Santos et al. (2015), proposed the use of the width equal to the value of the PEC, established by Decree 89.817 for the class and scale of the evaluated product. This work aims to apply these two methodologies and compare the results achieved. As a study area, the hydrography belonging to the commune of Tangará da Serra, in the Mato Grosso Pantanal region. Through this study, it was possible to notice a great variation in the adopted widths. By the method of width equal to PEC was found 400 meters, while by the width of the normalized areas the highest value found was 197,29 meters. However, in relation to the classification of the product, applying both methodologies, the classification of this product was Class C for the scale 1: 500,000, according to the conditions defined by Decree 89.817.

1 INTRODUÇÃO

As incertezas são intrínsecas na obtenção de produtos cartográficos, sendo necessário realizar um estudo da qualidade desses produtos, de modo a avaliar as incoerências e discrepâncias existentes e definir a qual finalidade os produtos se adequam (GOODCHILD, 2010).

Na avaliação da qualidade de produtos cartográficos, de acordo com a norma ISO 19157 e os Manuais Técnicos em Geociências do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE, 2017), deve-se levar em consideração os seguintes elementos: completude, acurácia temática, acurácia temporal, consistência lógica, usabilidade e acurácia posicional.

Dentre estes, um dos elementos fundamentais é a acurácia posicional, que determina a proximidade da posição de um dado espacial em relação a realidade no terreno (ARIZA (2002) e NOGUEIRA JR. (2003)). A qualidade posicional pode ser obtida por meio da comparação posicional entre feições, pontuais ou lineares, do produto avaliado com seu correspondente em um produto de referência.

A utilização de feições pontuais é mais popular e melhor normatizada. O Decreto Nº 89.817 aliado à Especificação Técnica de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADVG) e a Especificação Técnica para o Controle de Qualidade de Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-CQDG), determinaram o padrão brasileiro de acurácia posicional. Neste, é apresentado as tolerâncias PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) e EP (Erro-Padrão), sendo estas dependentes da classe e escala na qual o produto está sendo testado. De acordo com este padrão, deve-se avaliar as discrepâncias entre pontos do produto avaliado e pontos homólogos em um produto de referência. Para que o produto seja considerado aprovado em determinada classe, 90% das feições testadas, devem apresentar discrepância igual ou inferior ao valor do PEC; e o RMS (*root mean square*) das discrepâncias deve ser igual ou inferior ao valor do EP (BRASIL (1984), DSG (2016) e SANTOS et al. (2016)).

No entanto, a análise de feições lineares promove algumas vantagens, pelo fato das linhas apresentarem diversas informações geométricas como vértices, segmentos e orientação, geralmente possuírem boa distribuição espacial, e representarem cerca de 80% dos dados presentes em uma base cartográfica (MOZAS e ARIZA, 2010).

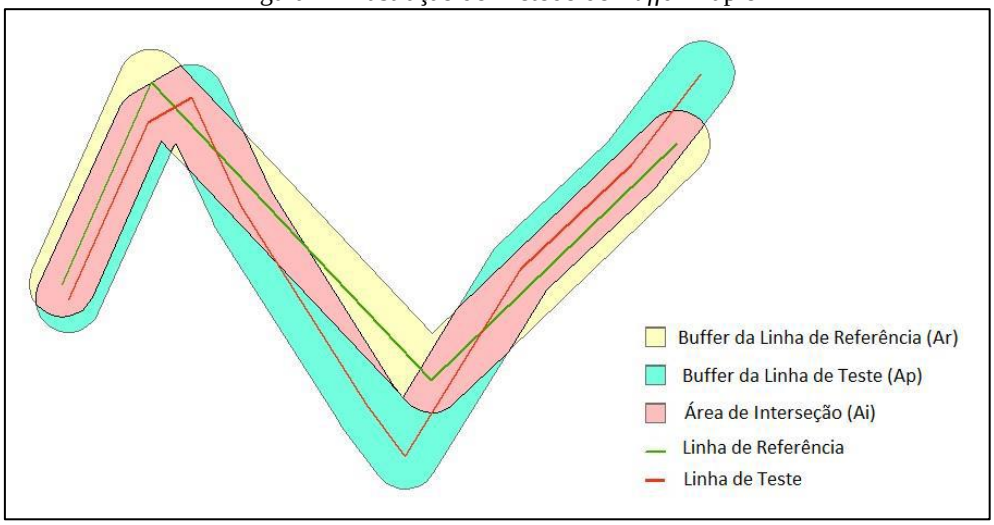
Existem alguns métodos para análise da acurácia posicional por feições lineares, podendo destacar: Banda Épsilon, Influência do Vértice, Distância de Hausdorff, *Buffer* Simples e *Buffer* Duplo (SANTOS et al. 2015). O método do *Buffer* Duplo baseia-se na geração de faixas de incerteza (*buffers*) em torno da linha de teste e da linha de referência (TVEITE e LANGAAS, 1999). Desta forma, segundo proposta de Santos et al. (2015), para a aplicação deste método é necessário definir a largura a ser adotada para as faixas de incertezas, na qual os autores sugerem o uso da tolerância PEC. Entretanto, na metodologia de Tveite e Langaas (1999) é proposta definir a largura a partir da análise da área normalizada.

Assim, o objetivo deste trabalho é aplicar o método do *Buffer* Duplo para avaliação da acurácia posicional de um produto cartográfico, empregando duas metodologias distintas para a definição da largura dos *buffers*: (i) a metodologia de área normalizada proposta por Tveite e Langaas (1999), desenvolvedor do método, e; (ii) a proposta por Santos et al. (2015), considerando a largura igual ao valor do PEC. Tais metodologias serão descritas, nas seções subsequentes.

2 MÉTODO DO BUFFER DUPLO

O método do *Buffer* Duplo, foi proposto por Tveite e Langaas (1999) e consiste em aplicar um *buffer*, ou seja, uma faixa de incerteza, na feição de teste como na de referência, e em seguida realizar uma interseção entre os polígonos resultantes dos *buffers* (Figura 1). A discrepância média posicional (dm) é dada pela razão entre a subtração da área do *buffer* de referência (Ar) e a área de interseção (Ai) dos *buffers*, pela área do *buffer* da linha de teste (Ap), sendo diretamente proporcional a largura (x) adotada nos *buffers* (Equação 1).

Figura 1 - Ilustração do Método do *Buffer* Duplo



Fonte: (CRUZ e SANTOS, 2016)

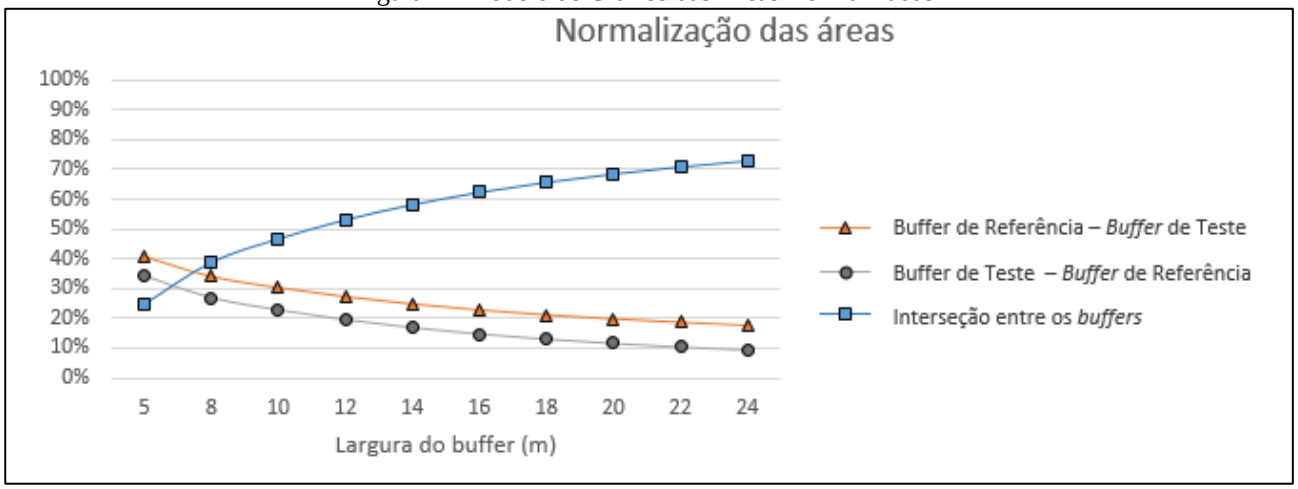
$$dm_i = \pi . x. \frac{(\sum(Ar_i - Ai_i)_i}{Ap_i} \quad (1)$$

3 DEFINIÇÃO DA LARGURA DO BUFFER

Como o mostrado na Equação 1, o valor da discrepância posicional de cada avaliada é diretamente proporcional a largura adotada para os *buffers*. Desta maneira, para a aplicação do método do *Buffer* Duplo, uma questão a ser analisada é qual a largura ideal deve ser considerar, para a obtenção das discrepâncias.

Tveite e Langaas (1999), apresenta que a definição da largura ideal a ser utilizada é um processo iterativo. Parte-se de um valor inicial e gradativamente aumenta-se a largura do *buffer*, até que o resultado se estabilize. Para cada valor de largura adotado, realiza-se a normalização das áreas das regiões do *buffer* de teste menos o de referência, *buffer* de referência menos o de teste e a região de interseção entre os *buffers*. Essa normalização é efetuada a partir da união das áreas supracitadas. De posse das áreas normalizadas, pode-se gerar um gráfico (Figura 2) em relação a largura dos *buffers*. A região de interseção entre as três curvas, indica a largura ideal a ser considerada no método do *Buffer* Duplo.

Figura 2 - Modelo de Gráfico das Áreas Normalizadas



Santos et al. (2015), sugere adotar para a largura do *buffer* o valor do PEC, definido pelo Decreto Nº 89.817. A seguir é mostrada a metodologia proposta por ele, para avaliar através de feições lineares aplicando o método do *Buffer* Duplo, a qualidade de produtos cartográfico de acordo com o Padrão de Acurácia Posicional Brasileiro:

1. Selecionar uma amostra de *n* linhas homólogas de teste (L_T) e de referência (L_R);
2. Aplicar um *buffer* de largura *x* em cada linha de teste e de referência. Considerar a largura do *buffer* o valor do PEC definido pelo Decreto Nº 89.817, para a escala e a classe considerada no processo de avaliação;
3. Calcular a área gerada pela operação de *buffer* em cada linha de teste;

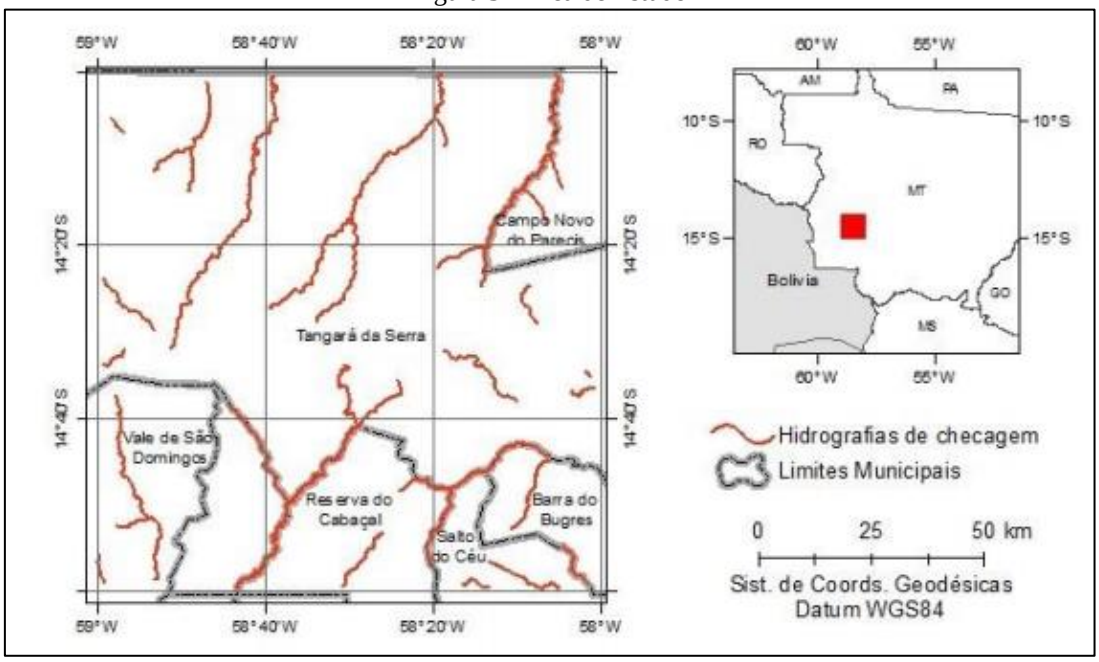
4. Realizar a sobreposição entre os polígonos gerados pelos *buffers* de teste e referência e calcular a área do polígono de referência que não faz interseção com o polígono de teste;
5. Calcular a discrepância média, para cada linha analisada;
6. Aplicar as condições colocadas pelo Decreto Nº 89.817: avaliar se 90% das linhas testadas apresentam discrepância média igual ou inferior ao valor do PEC, e observar se o RMS das discrepâncias médias é igual ou inferior ao valor do EP. Caso sejam satisfeitas as duas condições, pode-se classificar o produto avaliado de acordo com a classe e escala trabalhada.

4 METODOLOGIA

Para a realização deste estudo, extraiu-se a hidrografia numérica do MDS SRTM banda X, com resolução espacial de 30 metros, relativo a região do Pantanal Mato-Grossense, no munícipio de Tangará da Serra, compreendido entre as longitudes 58º 00’ 00’’ W e 59º 00’ 00’’ W e latitudes 14º 00’ 00’’ S e 15º 00’ 00’’ S. Esse MDS é referenciado ao *datum* WGS 84, e foi cedido gratuitamente pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), através do site http://www.usgs.gov/.

Como referência, foram utilizadas a base de dados de hidrografia de quatro cartas topográficas na escala 1:100.000. As folhas utilizadas foram: SD-21-Y-A-III, MI 2060, Cabeceira do Osso; SD-21-Y-B-I, MI 2061, Aldeia Parecis; SD-21-Y-A-VI, MI 2104, Chapada dos Parecis; e SD-21-Y-B-IV, MI 2105, Camarcan. A base de dados foi cedida gratuitamente pela DSG, através do Geoportal na página http://www.geoportal.eb.mil.br/index.php. A Figura 3 ilustra a região de estudo, mostrando as feições de referência adotadas.

Figura 3 - Área de Estudo



A figura 4 apresenta um fluxograma da metodologia empregada. A partir do MDS foi extraída a hidrografia numérica, estas feições lineares constituíram as feições de teste. Das plantas topográficas fornecidas pela DSG, foram obtidas as feições de referência. Como amostragem foram consideradas 30 feições, de posse dessas feições de teste e referência, empregou-se as duas metodologias citadas para a definição das larguras a serem adotadas nos *buffers*.

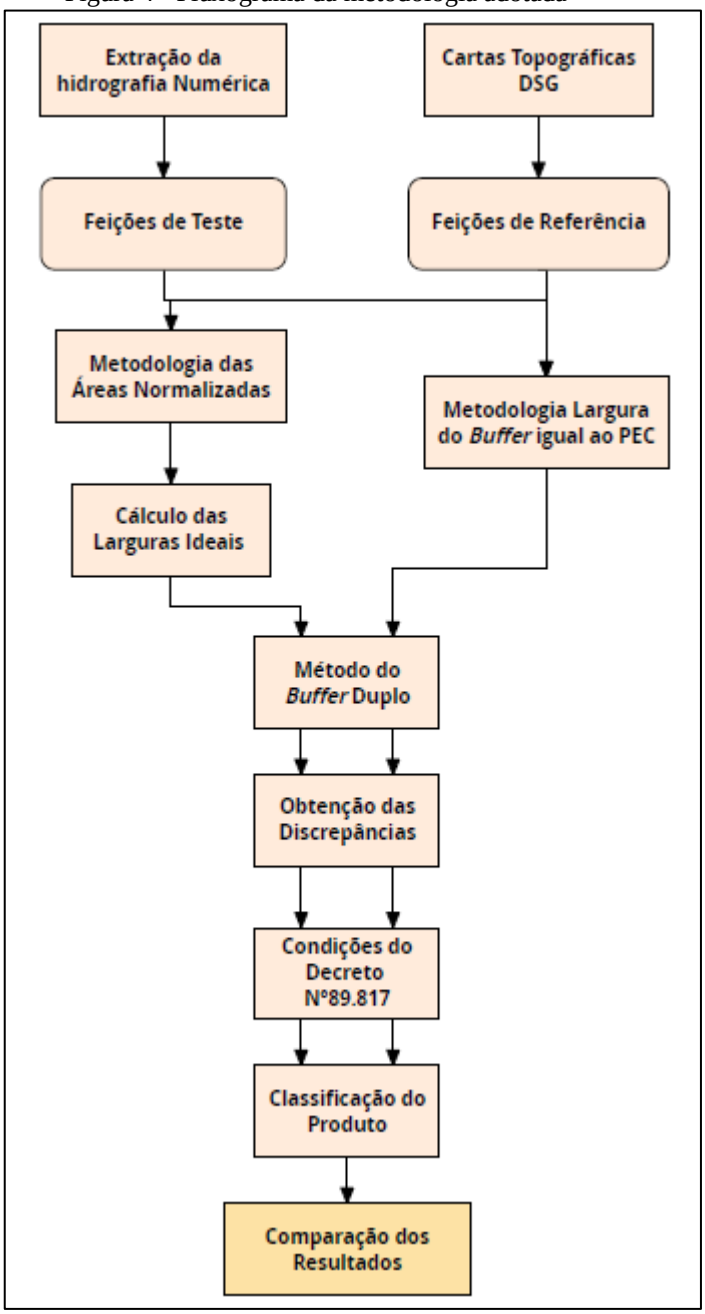
O produto foi avaliado para a classe 1:500.000, Classe C, definida pela ET-ADGV, onde o PEC-PCD equivale a 400 metros e o EP a 250 metros. Através do software ArcGIS 10.2, foram gerados os *buffers* em torno das linhas de teste e referência com largura igual ao PEC, ou seja, 400 metros, e calculado os valores de discrepância média posicional. Posteriormente foi avaliado as duas condições colocadas pelo Decreto Nº 89.817, onde foi observado se 90% das discrepâncias médias eram iguais ou inferiores ao PEC (400 m) e se o RMS destas discrepâncias era igual ou inferior ao EP (250 m). Em seguida, o produto foi classificado.

Adotando a metodologia proposta por Tveite e Langaas (1999), gerou-se um *buffer* na linha de referência e um *buffer* na linha de teste. Desta forma, foi possível gerar os gráficos similares ao da figura 2: apresentando as curvas do *buffer* de referência menos o *buffer* de teste, *buffer* de teste menos o *buffer* de referência, e interseção entre o *buffer* de referência e o *buffer* de teste. Em uma situação ideal, as curvas do gráfico referentes à área do *buffer* de referência menos o buffer de teste e a área do *buffer* de teste menos o *buffer* de referência seriam idênticas, e o encontro delas com a curva

da área de interseção entre o *buffer* de referência e o *buffer* de teste seria o valor ideal da largura a ser utilizada como *buffer*. Entretanto, na maioria dos casos, as curvas da área do *buffer* de referência menos o *buffer* de teste e a área do *buffer* de teste menos o *buffer* de referência são diferentes, fazendo com que a largura ideal seja um valor encontrado dentro da região formada entre essas curvas e a curva da área de interseção entre o *buffer* de referência e o *buffer* de teste. Adota-se o maior valor de largura encontrado nessa região. Neste trabalho utilizou-se como largura inicial o valor do PEC e, de modo iterativo, foram considerados novos valores de largura, até encontrar a região onde as curvas se aproximavam.

Posteriormente, através do software ArcGIS 10.2, foram gerados os *buffers* e obtidos os valores de discrepância média. De forma análoga ao realizado anteriormente, foram avaliadas as condições do Decreto N° 89.817, considerando também a escala 1:500.000, e classificado o produto. Os resultados encontrados a partir das duas metodologias, foram analisados e comparados.

Figura 4 - Fluxograma da metodologia adotada

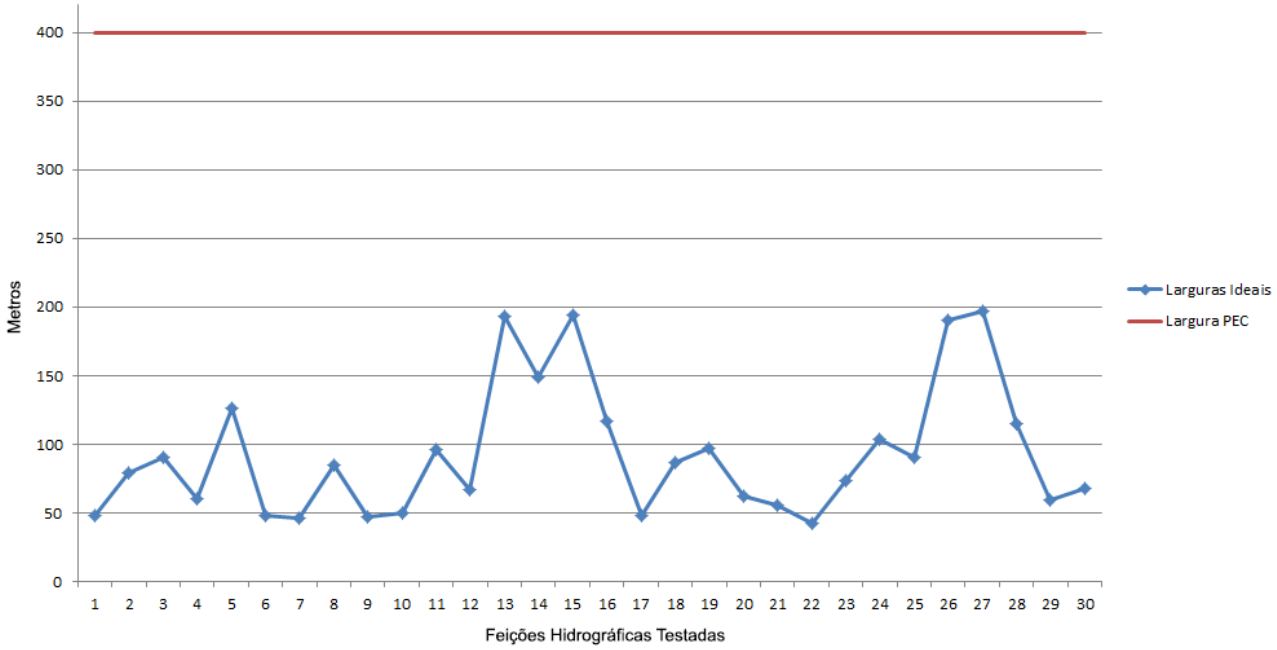


5 RESULTADOS

Ao aplicar a metodologia de largura do *buffer* igual ao PEC, utilizou-se como largura o valor de 400 metros, equivalente ao PEC para a classe C, relativa à escala de 1:500.000, onde as duas condições do Decreto Nº 89.817 foram atendidas com sucesso. Realizou-se também testes para as classes A e B referentes à mesma escala de 1:500.000, bem como as escalas de 1:250.000 e 1:100.000, na qual obteve-se resultados insatisfatórios, não acatando as condições necessárias.

No que diz respeito à metodologia das áreas normalizadas, esta foi aplicada em cada par de feições em análise, obtendo trinta larguras ideais distintas, como apresentado no gráfico da figura 5.

Figura 5. Gráfico representativo das larguras obtidas na aplicação das metodologias de largura do *buffer* igual ao PEC e das áreas normalizadas.



Observa-se que a largura usada com base no PEC (400 metros) foi muito superior às larguras obtidas por meio da metodologia das áreas normalizadas. As larguras ideais encontradas através da proposta de Tveite e Langaas (1999) estão compreendidas, para este estudo, entre 40 e 200 metros. Isto é, a maior largura alcançada teve a metade do valor do PEC.

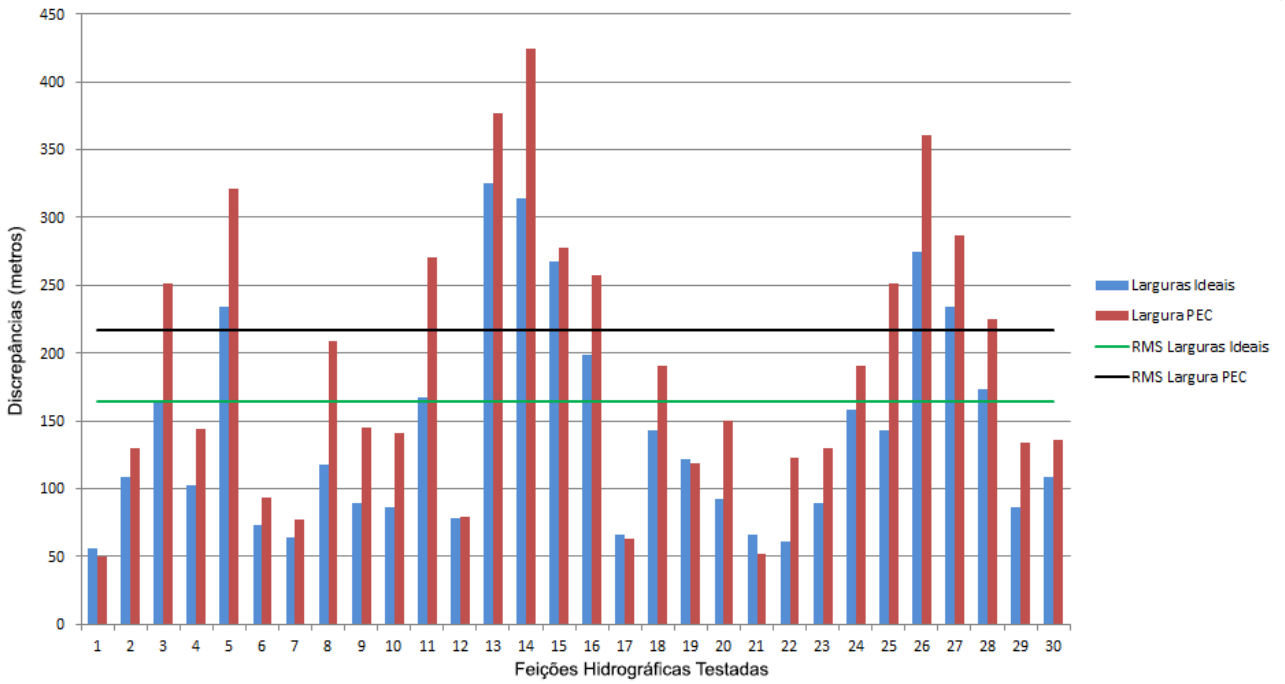
Utilizando as respectivas larguras de cada metodologia conjuntamente com o método *Buffer* Duplo de acurácia posicional em feições lineares, obtiveram-se as discrepâncias posicionais planimétricas que são exibidas na tabela 1 e graficamente representadas na figura 6. Nota-se que apenas quatro discrepâncias (feições 1,17,19 e 21) foram maiores empregando a metodologia das áreas normalizadas em relação à largura do *buffer* igual ao PEC, sendo este aumento muito pequeno se comparado à redução sofrida nas demais discrepâncias.

Tabela 1. Larguras obtidas na aplicação das metodologias de largura do *buffer* igual ao PEC e das áreas normalizadas

Feições	DISCREPÂNCIAS (m)	
	Método da Largura igual ao PEC	Método das Áreas Normalizadas
1	49,54	55,65
2	129,89	108,68
3	251,03	163,63
4	143,62	103,07
5	320,99	234,50
6	93,15	73,66
7	77,29	63,75
8	208,59	117,63
9	144,90	89,51
10	140,90	86,49
11	270,68	166,88
12	79,75	77,80
13	376,28	325,48
14	424,72	313,91
15	277,97	267,08

Feições	DISCREPÂNCIAS (m)	
	Método da Largura igual ao PEC	Método das Áreas Normalizadas
16	257,14	199,16
17	63,47	65,93
18	190,27	143,31
19	118,63	121,81
20	149,96	92,41
21	51,98	66,49
22	122,46	61,25
23	130,15	89,78
24	190,10	158,11
25	251,61	142,77
26	360,18	274,46
27	287,21	234,52
28	225,07	173,34
29	133,50	86,50
30	135,61	108,58

Figura 6. Gráfico representativo das discrepâncias obtidas na aplicação das metodologias de largura do *buffer* igual ao PEC e das áreas normalizadas



Após a utilização das duas metodologias de obtenção das larguras e consequente aplicação do método *Buffer* Duplo, o produto em análise teve a mesma classificação, enquadrando-se na Classe C (ET-ADGV) da escala 1:500.000 de acordo com o Decreto Nº 89.817. As tabelas 2 e 3 mostram as estatísticas adquiridas na avaliação da acurácia posicional planimétrica da hidrografia numérica extraída.

Tabela 2. Resultados estatísticos da classificação do produto empregando a metodologia da largura do *buffer* igual ao valor do PEC

CLASSE C (Decreto Nº 89.817/ET-ADGV) ESCALA 1:500.000		PEC: 400 m EP: 250 m	
RMS 216,55 m	Discrepância Média 188,55 m	Discrepância Mínima 49,54 m	Discrepância Máxima 424,72 m

Tabela 3. Resultados estatísticos da classificação do produto empregando a metodologia das áreas normalizadas

CLASSE C (Decreto Nº 89.817/ET-ADGV) ESCALA 1:500.000		PEC: 400 m EP: 250 m	
RMS 164,53 m	Discrepância Média 142,20 m	Discrepância Mínima 55,65 m	Discrepância Máxima 325,48 m
	Largura Média 92,94 m	Largura Mínima 42,72 m	Largura Máxima 197,29 m

6 CONCLUSÃO

O produto obteve a mesma classificação, Classe C na escala 1:500.000, para aplicação do método *Buffer* Duplo de acurácia posicional para feições lineares para as duas metodologias aqui empregadas: (i) largura do *buffer* igual ao PEC e; (ii) larguras ideais através das áreas normalizadas. Entretanto, ressalta-se o fato de que houve grandes diferenças entre as larguras ideais obtidas e a largura utilizando o valor do PEC. Essa diferença pode ser significativa em termos de processamento, visto que o valor do PEC (400 m) foi no mínimo o dobro em relação a essas larguras (largura máxima: 197,29 m). Desse modo, a utilização de um conjunto de dados com um número maior de feições a serem analisadas pode demorar mais tempo e necessitar de uma máquina com configurações mais avançadas.

As discrepâncias encontradas utilizando a metodologia recomendada por Tveite e Langaas (1999) das áreas normalizadas também foram, em sua grande maioria, menores do que as discrepâncias obtidas com o valor da largura do *buffer* igual ao valor do PEC. Observou-se que em ambas as metodologias, o gráfico das discrepâncias (Figura 6) possuiu o mesmo formato, mantendo o mesmo padrão, onde as áreas normalizadas apenas fizeram com que esse desenho gráfico ficasse mais compacto, evitando os altos picos formados por valores extremos de discrepâncias encontrados ao utilizar o PEC como largura.

Entretanto, constata-se a dificuldade em aplicar a metodologia das larguras ideias por meio das áreas normalizadas. O número de larguras obtidas será a mesma quantidade de feições a serem averiguadas, demandando uma análise para cada par de feições. Consequentemente, o método de acurácia posicional do *Buffer* Duplo tem que ser aplicado o mesmo número de vezes, pois se deve inserir apenas um valor de largura por vez.

REFERÊNCIAS

ARIZA, F. J. **Calidad en la Producción Cartográfica**. Ra-Ma, 2002.

BRASIL. **Decreto nº 89.817 de 20 de Junho de 1984. Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasil, 1984. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm >. Acesso em 2015.

CRUZ, D. T.; SANTOS, A. P. Análise da acurácia planimétrica da hidrografia numérica extraída do MDS SRTM banda X na região do Pantanal Mato – Grossense. Em **Anais 6º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal – GeoPantanal**, Cuiabá. 2016.

DSG. **Especificação Técnica Para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV)**. Brasil, 2011. Disponível em < http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_ADGV_Vs_2_1_3.pdf >. Acesso em 2018.

DSG. **Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG).** Brasil, 2016. Disponível em: http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_CQDG_1a_edicao_2016.pdf. Acesso em 2018.

GOODCHILD, M. F. Foreword. In: SHI, W. **Principles of Modeling Uncertainties in Spatial Data and Spatial Analyses**. CRC Press, 2010.

IBGE, **Avalição da qualidade de dados geoespaciais**. Rio de Janeiro, 2017. 96p.

MOZAS, A. T.; ARIZA, F. J. **Methodology for Positional Quality Control in Cartography Using Linear Features**. v. 47, n. 4, p. 371-378, 2010.

NOGUEIRA JÚNIOR, J. B. **Controle de Qualidade de Produtos Cartográficos: Uma Proposta Metodológica** Presidente Prudente, Brazil: Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNESP, Brazil. 2003.

SANTOS, A. P.; MEDEIROS, N. G.; SANTOS, G. R.; RODRIGUES, D. D. Controle de Qualidade Posicional em Dados Espacias Utilizando Feições Lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, v. 21, nº 2, p. 233-250, abr-jun, 2015.

SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D; SANTOS, N. T.; GRIPP JR., J. Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais utilizando técnicas de estatística espacial: Proposta de método e exemplo utilizando a norma brasileira. **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, v. 22, p. 630-650, 2016.

TVEITE, H.; LANGAAS, S. **An Accuracy Assessment Method for Geographical Line Data Sets Based on Buffering**. International Journal of Geographical Information Science, v. 13, p. 27-47, 1999.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

CONTROLE DE QUALIDADE DE REDES UNIDIRECIONAIS TOPOLOGICAMENTE CONECTADAS UTILIZANDO SOFTWARE LIVRE

PHILIPE BORBA
JOÃO PEDRO OLIVEIRA SALES ESPERIDIÃO
ANTONIO GAUDENCIO GUIMARÃES FILHO
GEORGE HARRISON DE OLIVEIRA SILVA

Diretoria de Serviço Geográfico
2º Centro de Geoinformação
Divisão de Geoinformação, Brasília, DF
borba.philipe@eb.mil.br, esperidiao.joao@eb.mil.br, guimaraesfilho.antonio@eb.mil.br, harrison.george@eb.mil.br

RESUMO - O presente trabalho tem por finalidade apresentar procedimentos de construção modelos de redes unidirecionais topologicamente conectadas. Serão apresentados os procedimentos de construção e de verificação de validade segundo os padrões da Open Geospatial Consortium (OGC), bem como os relativos a verificação e correção de conectividade e de direcionamento de rede. No escopo do trabalho, as técnicas descritas serão aplicadas às redes de drenagem modeladas segundo as normas brasileiras denominadas Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV) versão 2.1.3. Todos os procedimentos de verificação e correção abordados neste trabalho foram desenvolvidos para dados armazenados no banco de dados PostgreSQL com a extensão espacial PostGIS e os algoritmos foram desenvolvidos na linguagem de programação Python e estão disponíveis por intermédio da extensão (plugin) do software livre QGIS denominada DSGTools, desenvolvida pela Diretoria de Serviço Geográfico e disponibilizada para a sociedade brasileira.

ABSTRACT - The current article aims to present model construction procedures of unidirectional topological connected networks. Construction and validity verification methods will be presented according to the Open Geospatial Consortum (OGC), as long as the methods regarding connectivity and network directioning. In the scope of the work, the described techniques will be applied to network drainage modelled according to the Brazilian Standards called ET-EDGV version 2.1.3. All verification and correction procedures on this work are applied on data stored on PostgreSQL database with the spatial extension Postgis and all algorithms were developed in Python and are available on QGIS' plugin called DSGTools, which is developed by the Geographic Service of the Brazilian Army.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG)

A Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais, ET-CQDG, (DSG, 2016) é uma norma de âmbito nacional criada pela Diretoria de Serviço Geográfico (DSG). O objetivo desta norma é padronizar a avaliação da qualidade dos produtos de conjuntos de dados geoespaciais integrantes do Sistema Cartográfico Nacional (SCN) do Brasil. Além disso, a norma de controle de qualidade em questão está em conformidade com a norma ISO 19157:2013 (ISO, 2013), tanto sob o aspecto de procedimentos de avaliação como também a confecção de relatórios padronizados de qualidade dos produtos.

A ISO 19157:2013 estabelece os princípios que descrevem a qualidade dos dados geográficos de forma genérica. O estabelecimento deste padrão internacional permitiu a diversos países a criação de normas nacionais específicas nas Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE), como a INSPIRE (EUROPEAN PARLIAMENT, 2007), na Europa, e EDGV, no Brasil.

A qualidade do produto geoespacial possui elementos ou componentes de qualidade: Completude, Acurácia Posicional, Acurácia Temática, Acurácia Temporal e Consistência Lógica. Especificamente esta última categoria de

elementos diz respeito ao cumprimento das regras lógicas da estrutura dos dados, dos atributos e das relações. A consistência lógica pode ser classificada de acordo com os seguintes elementos de qualidade:

- Consistência conceitual;
- Consistência de domínio;
- Consistência de formato; e
- Consistência topológica.

Segundo a ET-CQDG, a consistência conceitual está relacionada a aderência ao modelo conceitual estabelecido para o dado geoespacial, bem como os relacionamentos espaciais entre os objetos. A consistência de domínio refere-se ao fato de que os campos a serem preenchidos nas tabelas de atributo devem ser feitos de acordo com os valores estabelecidos para aquele tipo de informação. A consistência de formato é o grau com que os dados são armazenados de acordo com a estrutura física do conjunto de dados e a consistência topológica é a correção das características topológicas explicitamente estabelecidas para um conjunto de dados.

O processo de validação realiza a verificação das consistências supracitadas. Em especial, a verificação da consistência topológica na produção de dados geoespaciais é normalmente conhecida como o processo de validação topológica. Nesse processo, integridade e construção das geometrias são verificados e corrigidos. Por conveniência, no processo de validação topológica também é realizada a verificação relacionamentos espaciais.

1.2 Topologia de Rede

Segundo Theobald (2001), um grande recurso do Sistema de Informações Geográficas (SIG) é a habilidade de criar e manipular estruturas de dados topológicos para dados vetoriais. Topologia é tipicamente definida como relacionamentos espaciais entre feições adjacentes ou vizinhas (apud DEMERS 1997) ou "... propriedades nas quais definem relativos relacionamentos entre elementos espaciais… incluindo adjacências, conectividade e restrições" (apud MCDONNELL AND KEMP 1995; p. 88). Além disso, uma estrutura de dados topológica é tipicamente definida como uma estrutura de dados na qual a inerente conectividade espacial e os relacionamentos de adjacência das feições são explicitamente armazenados. Redes unidirecionais são aquelas cujo sentido da linha representa o sentido do fluxo da rede. Como exemplo de rede unidirecional pode-se citar as redes hidrográficas. Os dados topologicamente conectados permitem que sejam realizadas diversas operações de geoprocessamento, como por exemplo o roteamento e direcionamento.

A Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV) é a norma que detalha o modelo conceitual da Infraestrutura Nacional de Dados Geoespaciais (INDE). A versão 2.1.3 (CONCAR, 2010) desta norma possui 13 categorias de informação que tratam de vários temas, entre eles está a hidrografia.

O desafio de modelar o tema hidrografia brasileira não é trivial. Além disso, a validação de uma rede hidrológica demanda vários procedimentos de checagem topológica e geométrica. A modelagem conceitual cria classes de primitivas geométricas de ponto, linha, polígono e cria relacionamentos complexos.

Uma forma de constatar a coerência e a correção de uma rede hidrológica é realizar o processo de direcionamento de rios. Quando é possível realizar o direcionamento de fluxo de drenagens desde a sua nascente ou montante até a sua foz ou jusante, esta rede hidrológica atende aos requisitos de conectividade, não duplicidade e coerência topológica.

1.3 *Plugin* DSGTools

A Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) desenvolve suas próprias soluções baseadas em software livre para produção de dados geoespaciais em conformidade com as normas nacionais. Uma das soluções desenvolvidas é o complemento para o software QGIS denominado DSGTools (ANDRADE et al., 2016).

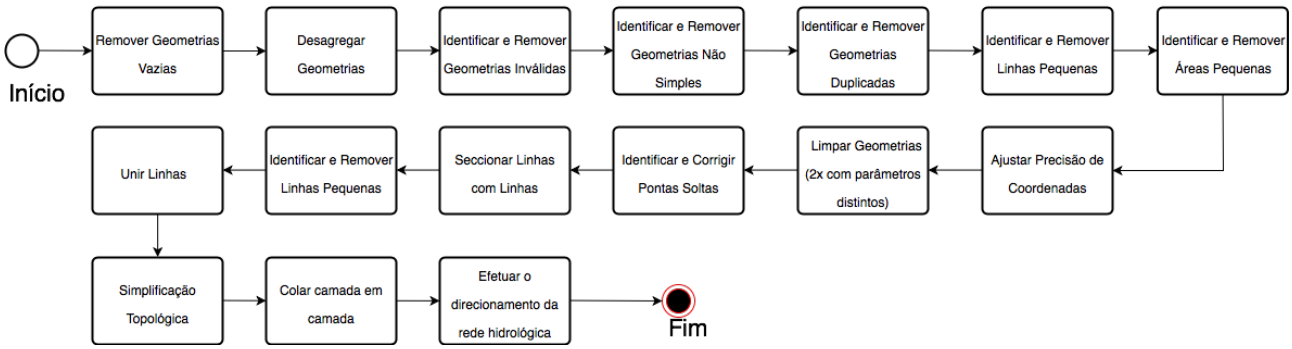
Atualmente na versão 3.2, o DSGTools possui ferramentas para controle de qualidade de dados geoespaciais armazenados em PostgreSQL (POSTGRESQL, 1997), com sua extensão espacial PostGIS (REFRACTIONS RESEARCH INC, 2005), disponibilizadas na Caixa de Ferramentas de Validação. As ferramentas de validação disponibilizadas no DSGTools utilizam algoritmos da Caixa de Ferramentas de Processamento do QGIS (GRASER; OLAYA 2015), algoritmos do provedor GRASS (NETELER et al., 2012) e algoritmos próprios do DSGTools desenvolvidos na linguagem de programação Python ou em SQL.

2 METODOLOGIA DE CONTROLE DE QUALIDADE DE REDES

2.1 Procedimentos de Validação Topológica e Geométrica dos dados que compõem a Rede de Hidrografia

Dentro do contexto de confecção de uma rede de hidrografia, vários erros de construção de geometria e topológicos podem ser inseridos. Estes podem ser causados por inconsistências na aquisição vetorial. Portanto, alguns procedimentos de correção geométrica são necessários. Atualmente, o DSGTools possui uma sequência de processos que são aplicados na produção de geoinformação da DSG, conforme ilustrado na figura 1.

Figura 1 - Fluxograma de rotinas para correção de erros geométricos e topológicos



Cada processo do fluxograma da figura 1 possui parâmetros e um tipo de correção associados. A maior parte dos processos possui uma correção automática. Além disso, a sequência descrita também é relevante para não serem inseridos outros erros na rede. A Tabela 1 detalha cada uma das rotinas necessárias para a verificação da consistência lógica de uma rede de hidrografia.

Tabela 1 - Descrição dos processos de validação DSGTools

Processo de Validação	Descrição	Tipo de Correção	Parâmetros
Remover Geometrias Vazias	Remove tuplas sem geometria do banco de dados.	Automática por meio do DSGTools	-
Desagregar Geometrias	Separa multi geometrias de forma que cada tupla do banco de dados seja associada a uma e somente uma geometria.	Automática por meio do DSGTools	-
Identificar e Remover Geometrias Inválidas	Identifica geometrias inválidas segundo as especificações *Simple Feature Specification* (Herrig, 2011). Relaciona-se com as medidas CQDG:211, CQDG:212 e CQDG:213 da ET-CQDG.	Automática por meio do DSGTools ou manual, a critério do usuário	Pontos que representam sumidouros e vertedouros, Linhas que compõem a rede de drenagem e polígonos que representam os corpos d'água do modelo de dados.
Identificar e Remover Geometrias Não Simples	Identifica geometrias não simples segundo as especificações *Simple Feature Specification* (Herrig, 2011). Relaciona-se com a medida CQDG:212 da ET-CQDG.	Manual	Linhas que compõem a rede de drenagem.
Identificar e Remover Geometrias Duplicadas	Identifica tuplas com mesma representação geométrica. A correção dos problemas apontados pode ser	Automática por meio do DSGTools ou manual, a critério do usuário	Pontos que representam sumidouros e vertedouros, Linhas que compõem a rede de hidrológica e polígonos que representam os corpos d'água do modelo de dados.
Identificar e Remover Linhas Pequenas	Identifica linhas com tamanhos menores que o raio da topologia	Automática	Raio da topologia e linhas que compõem a rede hidrológica.

Identificar e Remover Áreas Pequenas	Identifica polígonos com áreas menores que uma tolerância	Automática	Área mínima e polígonos que fazem parte do tema Hidrografia
Ajustar Precisão de Coordenadas	Arredonda as coordenadas de acordo com o número de casas decimais escolhido	Automática	Quantidade de casas decimais
Limpar Geometrias	Cria uma estrutura topológica e executa uma série de procedimentos para retirar os seguintes problemas: spikes, sliver polygons, vértices duplicados, arestas duplicadas e pequenos ângulos	Automática	Raio da topologia e elementos do tipo polígono e linha que fazem parte do tema Hidrografia
Identificar e Corrigir Pontas Soltas	Identifica os erros de conexão entre os elementos de uma rede, além de apontar os erros de conexão com elementos que se relacionam com a rede. Relaciona-se com a medida CQDG:216 da ET-CQDG	Manual ou Automática (por meio do processo Seccionar Linhas com Linhas)	Raio da topologia, camada que compõe a rede e elementos acessórios da rede
Seccionar Linhas com Linhas	Estende linhas marcadas como pontas livres e quebra todas as arestas que compõem a rede em cada intersecção	Automático	Raio da topologia e camada do tipo linha que representa a rede
Unir Linhas	Une linhas com mesmo conjunto de atributos	Automático	Linha que compõe a rede e atributos a serem ignorados (opcional)
Simplificação Topológica	Realiza a simplificação de Douglas Peucker (DOUGLAS; PEUCKER, 1973), garantindo a conectividade dos arcos da rede	Automático	Tolerância do algoritmo de Douglas Peucker, raio da topologia e camada do tipo linha que representa a rede
Colar camada em camada	Realiza a atração de elementos de uma camada em outro.	Automático	Raio de atração, camada de referência e camadas a serem atraídas. É executado algumas vezes nessa etapa para garantir adjacência entre a rede e os elementos acessórios

Todos os procedimentos descritos possuem o objetivo de corrigir erros de construção de geometria ou topológicos que inviabilizam futuras análises da rede de hidrografia. Após a detecção e correção dos erros, o procedimento de direcionamento de rios é realizado para aferir a qualidade dos dados da rede.

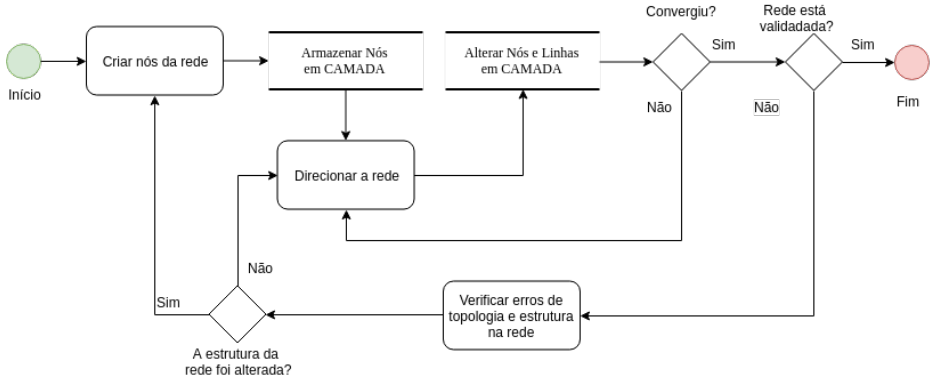
2.2 Procedimentos de Direcionamento de Redes Hidrológicas

A complexidade e extensão das Redes Hidrológicas conferem um grau de dificuldade e de gasto de tempo para o seu correto direcionamento e validação dos dados geoespaciais. Métodos automáticos ou semiautomáticos que eliminem ou reduzam consideravelmente essas variáveis fazem-se necessários para a otimização da produção de dados geoespaciais.

A fim de apoiar a produção de geoinformação do Exército Brasileiro (EB), por meio da DSG, foi implementado um método de validação da rede hidrológica. Este procedimento cria os nós de rede hidrológica,

divididos em 12 (doze) tipos básicos, seguido de um processo iterativo de direcionamento de feições representativas dos trechos de drenagem, que percorre a rede partindo de pontos de início da rede. O fluxograma da figura 2 mostra a sequência dos passos para o direcionamento de uma rede hidrológica. Nas próximas subseções serão explicados cada item do fluxograma em questão.

Figura 2 - Fluxograma de Direcionamento de Rios



2.2.1 Criação de Nós da Rede

Para a criação dos nós, há um elemento topológico que se aplica a todos: fluxo de linhas no nó. Isto ocorre pelo fato de o fluxo ser diretamente relacionado com a conectividade e fluidez da rede. Embora o fluxo seja de grande importância, pode-se resumi-lo em 4 (quatro) tipos possíveis: “Saída”, “Entrada”, “Saída e Entrada” e “Não se Aplica” – este último para os nós inconsistentes com a rede, onde não se define um fluxo correto.

Ressalta-se que a área que se enquadra a rede hidrológica nem sempre está completa, ou seja, a montante e jusante de um rio podem não estar na região que está se aplicando o direcionamento. Portanto, alguns elementos foram criados para subsidiar o processo de direcionamento, como o ponto de interrupção à montante, interrupção à jusante na moldura ou limite geográfico da região a ser analisada.

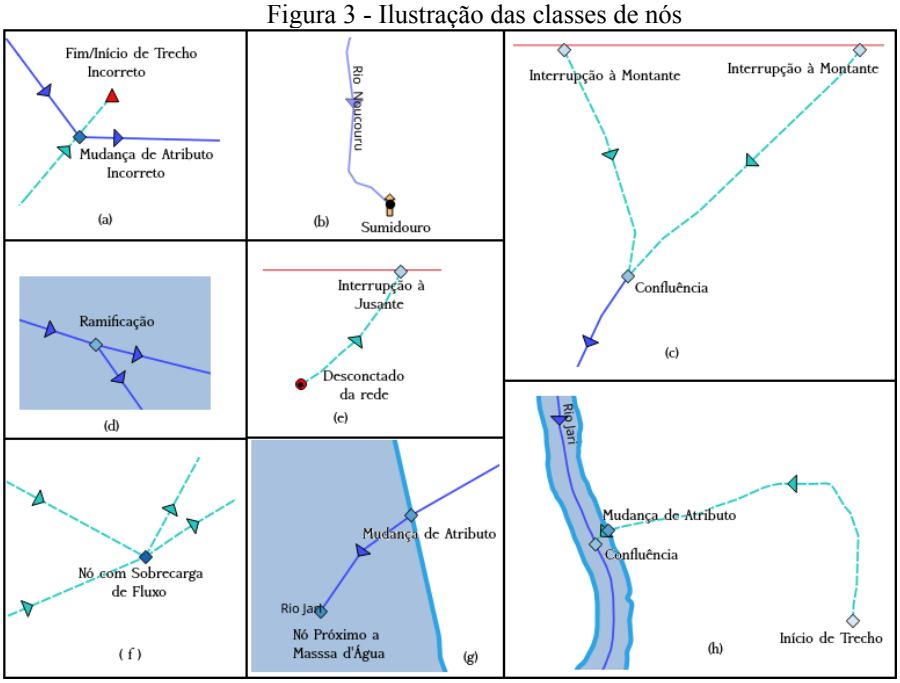
Após o processo de criação de nós da Rede Hidrológica, o direcionamento é iniciado, utilizando os nós dos tipos Início de Trecho, Interrupção à Montante e Interrupção à Jusante como condições de contorno, conforme descrição na Tabela 2 e ilustrado na Figura 3, a seguir.

Tabela 2 - Classes de nós componentes da rede hidrológica.

Tipo	Classe	Descrição	Fluxo de Linhas
Início	Início de Trecho	Nós de onde os trechos de drenagem se iniciam. São pontas soltas de primeira ordem que não se relacionam com outra estrutura da rede. É condição de contorno para o direcionamento.	Saída
	Interrupção à Montante	Nós de início de rede que estão no raio de atração dos limites da região abordada. É condição de contorno para o direcionamento.	Saída
Continuidade	Mudança de Atributo	Nós conectados a dois, e somente dois, trechos de drenagem, que possuam fluxo constante (linhas da rede que chegam estão em igual número das que saem) sendo que as linhas de rede conectadas possuem diferentes conjuntos de atributos.	Saída e Entrada
	Confluência	Nós de fluxo desbalanceado em que há um maior número de linhas da rede que chegam ao nó.	Saída e Entrada
	Ramificação	Nós de fluxo desbalanceado em que há um maior número de linhas da rede que saem do nó.	Saída e Entrada

Fim	Interrupção à Jusante	Nós de fim de rede que estão no raio de atração dos limites da região abordada. É condição de contorno para o direcionamento.	Entrada
	Sumidouro	Nós de fim de rede que estão no raio de atração dos limites feições representativas de sumidouros na rede.	Entrada
	Nó Próximo a Massa d'Água	Nós de fim de rede que estão no raio de atração dos limites feições representativas de corpos d'água na rede.	Entrada
Inválido	Desconectado da Rede	Nó conectada a linha desconexa da rede.	Não se Aplica
	Nó com Sobrecarga de Fluxo	Nós de fluxo constante com sobrecarga de fluxo (mais de uma linha chegando e igual número de linhas saindo).	Não se Aplica
	Mudança de Atributo Incorreto	Nós entre dois trechos de mesmo sentido e mesmo conjunto de atributos, sendo, assim, um nó redundante à rede.	Não se Aplica
	Fim/Início de Trecho Incorreto	Nó de início ou fim conectados à rede de forma incoerente à topologia da rede.	Não se Aplica

Figura 3 - Ilustração das classes de nós



Considerando-se que o direcionamento necessita de condições de contorno para a tomada de decisões, o direcionamento da rede hidrológica é iniciado pela ratificação destas condições. Em especial, deve-se verificar a classificação das Interrupções à Montante e Jusante, uma vez que os inícios de trechos são identificados de maneira mais assertiva.

Neste sentido, existem duas opções de identificação e confirmação das condições de contorno do problema. Uma opção seria conferir o sentido das linhas que “chegam” e ”saem” da região de estudo, dentro do raio de atração de feições da camada de limite desta, redirecionar os trechos conectados não coerentes com o real sentido e executar o processo de Criação de Nós da Rede Hidrológica. A outra, uma inversão de execução; primeiro o método de criação de nós e depois conferir os sentidos dos trechos, neste, porém, será necessário alterar a classificação dos nós, e não o sentido das linhas.

O resultado esperado do processo de criação de nós é a uma camada vetorial de dados contendo feições de primitiva do tipo ponto já classificados. Nota-se que, a princípio, 4 (quatro) classes de nós seriam suficiente – nós de “Início”, “Continuidade”, “Fim” e “Inválido”. No entanto, os nós são criados com o intuito de facilitar a compreensão do fluxo da rede e o motivo da classificação do nó, quando da tomada de decisões na etapa de direcionamento da rede. A tabela 3 descreve os testes e comparações lógicas realizados no processo de classificação de nós.

Tabela 3 - Testes e comparações executados.

Teste	Descrição	Nós Classificados
Identificação de Fluxo	Verifica o fluxo de linhas componentes da rede que chegam e que saem do nó a ser classificado.	Todos
Proximidade à Moldura	Verifica se o nó a ser classificado se encontra dentro do raio de atração de feições da camada que define os limites da região de estudo.	Interrupção à Montante e Interrupção à Jusante
Proximidade a Corpos d'Água	Verifica se o nó a ser classificado se encontra dentro do raio de atração de feições das camadas de corpos d'água.	Nó Próximo a Massa d'Água
Proximidade aos Sumidouros	Verifica se o nó a ser classificado se encontra dentro do raio de atração de feições do tipo sumidouro.	Sumidouro
Comparação de Atributos	Compara o conjunto de atributos de duas feições da camada de linhas da rede hidrológica.	Mudança de Atributo e Mudança de Atributo Incorreto
Identificação de Pontas Soltas	Verifica se há mais de uma linha da rede hidrológica dentro do raio de atração do nó a ser classificado.	Início de Trecho, Desconectado da Rede

2.2.2 Direcionamento da Rede Hidrológica

Considerando o caráter dinâmico do processo de direcionamento da rede, este é realizado de maneira iterativa. A cada correção aplicada, todos os nós envolvidos são reclassificados, de maneira a diminuir ao mínimo possível a disparidade entre o estado atual da rede e a representação dos nós.

Após algumas iterações do método, irá convergir, isto é, chegará em um estado constante da rede, se que sua execução altere quaisquer elementos da rede.

Se, após a convergência do algoritmo, houver inconsistências, há indícios de erros na definição das condições de contorno ou erros de aquisição ao longo da rede. Nestes caso, deve-se verificar as condições de contorno e os elementos da rede próximos aos erros apontados, corrigir os erros de estrutura caso existam, reclassificar os nós e, por fim, reiniciar o processo de direcionamento, até uma nova convergência, indicando o fim do método, ou nova etapa de inspeção dos erros.

Caso não sejam apontados erros (*flags*), não há inconsistências de direcionamento e falhas de conexão, portanto a rede encontra-se logicamente consistente.

Os processos são encadeados de forma a otimizar a etapa de direcionamento, que é a de maior custo computacional e a que consome maior tempo de processamento. Assim, alguns dos testes topológicos e lógicos da rede são executados na etapa de criação de nós, como descritos na Tabela 3, enquanto o processo de direcionamento executa os testes apresentados na Tabela 4:

Tabela 4 - Testes realizados na etapa de direcionamento

Teste	Descrição
Consistência de ângulos	Executado para nós com fluxo de linhas da rede desigual (total de linhas que chegam diferente do das que saem, ambos não nulos) a fim de verificar inconsistência no sentido do fluxo do conjunto de linhas, baseando-se nos ângulos formados pelos vértices seguintes ao nó de cada linha.
Consistência de Fluxo	Verifica a conformidade do fluxo das linhas conectadas ao nó a ter as linhas conectadas a ele verificadas com relação à sua classificação.

A composição dos testes executados na etapa de direcionamento com os da etapa de classificação de nós constitui a verificação topológica da rede hidrológica. O processo de direcionamento dos trechos de drenagem é, então, executado de maneira progressiva na rede, partindo-se de todos os nós das condições de contorno de início, verificando todos os trechos conectados até que uma condição de contorno de fim seja alcançada, ou alguma inconsistência

topológica que não tenha sido solucionada automaticamente seja encontrada na rede. A execução dos testes na rede, eventualmente, resulta na identificação de inconsistências na rede, descritas na Tabela 5.

Tabela 5 - Descrição de Inconsistências na Rede

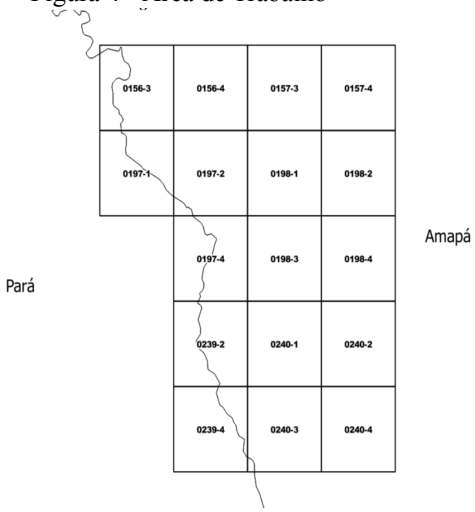
Inconsistência	Descrição
Fluxo inconsistente com o nó	Fluxo de linhas inconsistente com a classificação do nó.
Fluxo inconsistente com as linhas	Fluxo de linhas inconsistente com os ângulos formados entre os trechos.
Nó redundante na rede	Nó desnecessário à rede por conectar dois segmentos contínuos de mesmo conjunto de atributos.
Início ou fim de trecho incoerente	Início ou fim de rede que não os indicados pelas condições de contorno e que não possuem relacionamentos topológicos que justifiquem um extremo de rede.
Sobrecarga de nó	Nó de fluxo constante que acumula mais de uma linha chegando e igual quantidade saindo.

Uma vez identificadas as inconsistências na rede, a correção automática pode ser aplicada. Estas são realizadas quando há apenas um grau de liberdade, isto é, quando, baseado na transmissão do grau de certeza das condições de contornos às linhas conectadas a estes, tem-se mais linhas validadas que invalidadas ou ainda não verificadas. Assim, embora haja a possibilidade de que condições de contorno classificadas incorretamente propaguem seus erros para o interior da rede, o método evita a inserção de novas fontes de erro.

3 ESTUDO DE CASO DA METODOLOGIA PROPOSTA E RESULTADOS

A área de trabalho consiste de dezessete (17) folhas na escala 1:50.000 retiradas do estado do Amapá provenientes do convênio celebrado com a DSG para a elaboração da Base Cartográfica de Estado do Amapá. A totalidade do convênio abrange uma área de 75.000 km² na escala 1:25.000 e de 78.000 km² na escala 1:50.000 segundo informações contidas no Geoportal do Exército Brasileiro. A área escolhida localiza-se entre os estados o Amapá e do Pará, ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Área de Trabalho



Como se tratam de cartas na escala 1:50.000, segundo a Metodologia de Validação de Dados Geoespaciais Vetoriais (DSG, 2014), foram utilizados como raio de topologia 4 metros, área mínima 625 m² e parâmetro do algoritmo de Douglas-Peucker 3 metros. Os dados utilizados no desenvolvimento deste trabalho estão disponíveis em https://github.com/phborba/dados_artigo_borba_et_al_simgeo2018 , bem como os dados finais do direcionamento.

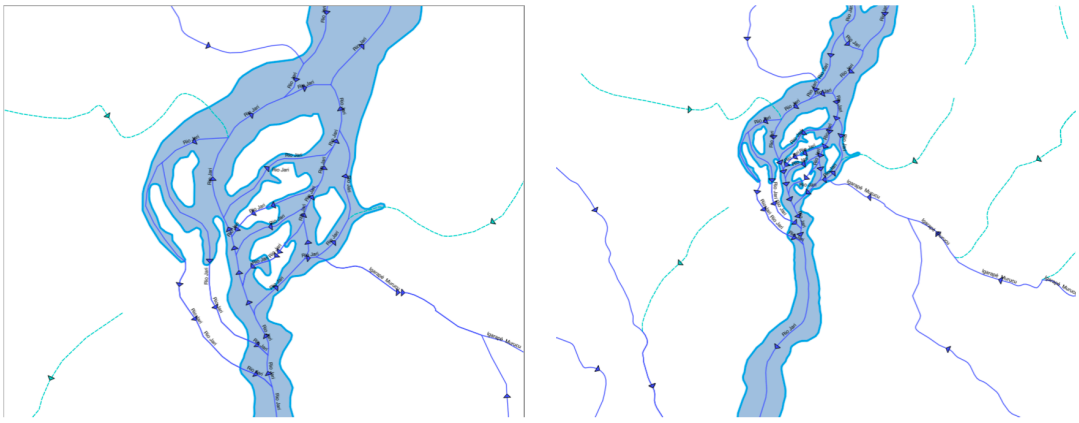
Os passos preliminares antes da etapa de direcionamento de rios foram os descritos na seção 2.1. A tabela 6 mostra a quantidade de erros encontrados em cada processo de validação rodado.

Tabela 6 - Quantidade de erros encontrados no estudo de caso

Processo de Validação	Parâmetros Utilizados	Quantidade de Erros

Identificar de Geometrias Inválidas	Camadas: Trecho_Drenagem, Massa_Dagua	1
Identificar de Geometrias Não Simples	Camadas: Trecho_Drenagem	0
Identificar Linhas Pequenas	Camadas: Trecho_Drenagem Tolerância: 4m	5
Limpar Geometrias	Camadas: Trecho_Drenagem, Massa_Dagua Tolerância: 0,2	0
Identificar e Remover Geometrias Duplicadas	Camadas: Trecho_Drenagem	523
Limpar Geometrias	Camadas: Trecho_Drenagem, Massa_Dagua Tolerância: 4	0
Identificar Pontas Soltas	Camadas: Trecho_Drenagem Tolerância: 4m Camadas de Filtro: Moldura, Massa_Dagua	1200

A figura 5 exemplifica os dados antes (a) e depois (b) do processo de direcionamento de rios.



(a) **(b)**

4 CONCLUSÃO

Este trabalho possui o objetivo de apresentar conceitos, procedimentos e uma metodologia de controle de qualidade de redes unidirecionais no contexto da EDGV 2.1.3. Erros geométricos e topológicos são rotineiros na aquisição dos dados geoespaciais, porém, é possível minimizá-los com processos automáticos de verificação de dados.

O Controle de Qualidade de produtos geoespaciais é relevante pois fornece um grau de confiabilidade ao produto confeccionado. Com isso, diversas análises espaciais e produção de novas informações são factíveis. A rede unidirecional possui, normalmente, uma grande parcela das informações de um produto geoespacial, principalmente por suas características e complexidade de construção.

A metodologia proposta identifica e corrige as inconsistências em toda a rede. A região de estudo demonstra a robustez do método devido ao tamanho da área de mais de 10.625km² e da alta densidade de trechos de drenagem (região amazônia legal). Além disso, grande parte dos erros encontrados são corrigidos automaticamente. Isto permite a utilização do direcionamento em muitas redes, contribuindo para o refinamento do produto geoespacial.

Em virtude dos resultados mencionados, conclui-se que o método de direcionamento de redes unidirecionais proposto é um exemplo de Controle de Qualidade dos dados geoespaciais. Pois conjuga e garante a integridade geométrica e topológica de toda a rede. No caso específico do trabalho, toda a rede hidrológica possuirá as características de integridade na construção de toda geometria, conexão por pontos de rede e correção topológica devido aos fluxos criados.

Referências

ANDRADE, L. C. O.; BORBA, P.; DE PAULO, M. C. M. **Agregação Hierárquica de Geo-Objetos: Uma Abordagem Baseada em Software Livre.** Revista Brasileira de Cartografia (2016), Nº 68/8: 1531-1540.

CONCAR, Comissão Nacional de Cartografia. **Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais – ET-EDGV. Versão 2.1.3.**Brasília – DF: MPOG, 2008.

DAVID M. THEOBALD. **Topology revisited: representing spatial relations**. Published in the International Journal of Geographical Information Science, 2001, Vol. 15, Nº 8, 689-705. Print ISSN: 1365-8816 Online ISSN: 1362-3087.

DIRECTIVE, INSPIRE. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). **Published in the official Journal on the 25th April**, 2007.

DOUGLAS, D. H.; PEUCKER, T. K. **Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or its Caricature**. Classics in Cartography: Reflections on Influential Articles from Cartographica, v. 10, n. 2, p. 15–28, 1973. ISSN 0317-7173. 54.

DSG, Diretoria de Serviço Geográfico. **Especificações Técnicas para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais – ET-CQDG. 1ª Edição.** Brasília – DF: DSG, 2015.

GRASER, A.; OLAYA, Vi. **Processing: A python framework for the seamless integration of geoprocessing tools in QGIS.** ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 4, n. 4, p. 2219-2245, 2015.

HERRING, J. R. **OpenGIS Implementation Specification for Geographic information - Simple feature access - Part 1: Common architecture**, 28 de maio de 2011. Disponível em: <http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=25355>. Acesso: 22 de julho de 2018.

ISO, ISO. 19157: 2013: Geographic Information—Data Quality. **ISO-standard and Swedish SIS standard**, 2013.

NETELER, M., et al. **GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS.** Environmental Modelling & Software 31 (2012): 124-130.

POSTGRESQL. **PostgreSQL**. Califórnia, Estados Unidos da América, 1997. Disponível em: <http://www.postgresql.org>. Acesso: 22 de julho de 2018.

REFRACTIONS RESEARCH INC. **PostGIS**. Canada, 2005. Disponível em: <http://postgis.net>. Acesso: 22 de julho de 2018.

DETERMINAÇÃO DA SEVERIDADE DE QUEIMADAS NO MUNÍCIPIO DE CURRAIS - PI

LUCAS LIMA VIEIRA[1]
KALIMA MENDES PITOMBEIRA[1]

[1]Universidade Federal do Piauí - UFPI
Centro de Tecnologia- CT
Departamento deTransportes, Teresina, PI
lucasnayon08@homail.com, kalimapitombeira@hotmail.com

RESUMO – O presente estudo trata da análise da degradação decorrente das queimadas no município de Currais (PI), caracterizado pelo bioma Cerrado, amplamente explorado pelas atividades agropecuárias e uso do fogo no manejo de culturas e criação de novas áreas de pasto. A metodologia empregada baseou-se em técnicas de geoprocessamento e sistema de informação geográfica (SIG) aplicadas a duas cenas do satélite Landsat 8, sensor OLI, para as datas 01/08/2017 e 21/10/2017, seguida do pré-processamento dos dados e posterior aplicação do Índice de Queimada Normalizada (NBR), para o período de pré e pós-fogo, e sua variação temporal (ΔNBR), mediante o qual foi possível identificar cicatrizes e manchas de queimadas para o período analisado. Assim, os resultados obtidos revelaram fortes evidências de ocorrência de queimadas na área de estudo, bem como os pontos de maior severidade decorrente de tais práticas.

ABSTRACT – This paper addresses the analysis of the degradation caused by fires in the county of Currais (PI), characterized by the Cerrado biome extensively exploited by agricultural activities and use of fire in crop management and creation of new pasture areas. The methodology used was based on geoprocessing techniques and geographic information system (GIS) applied to two scenes of Landsat 8 satellite, OLI sensor, for the dates 08/01/2017 and 10/21/2017, followed for pre-processing of the data and subsequent application of Normalized Burning Index (NBR), in the pre and post-fire period, and its temporal variation (ΔNBR) through which it was possible to identify scars and burn spots for the analyzed period. Thereby, the results obtained revealed strong evidence of burn occurrence in the study area, as well as the points of greater severity resulting from these practices.

1 INTRODUÇÃO

O processo de degradação dos biomas brasileiros é notório e preocupante, em especial no tocante ao bioma Cerrado, o segundo maior do Brasil e que de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2015), depois da Mata Atlântica, é o que mais vem sofrendo modificações decorrentes da ação antrópica nos últimos anos. Tais transformações no Cerrado são decorrentes de um processo histórico de ocupação de suas áreas e principalmente do modelo de utilização de seu solo, que veio se moldando ao longo de décadas. Magalhães (2013) aponta que a agricultura e a pecuária foram às principais atividades desenvolvidas pelos habitantes do Cerrado e que na década de 70 alguns programas governamentais foram implementados, na área de abrangência desse bioma, no sentido de favorecer a mecanização e o uso intensivo de tecnologias voltadas para produção agrícola e a pecuária.

Desse modo, as implicações ambientais dessas políticas de uso e ocupação do solo para o aproveitamento agropecuário propiciaram, em poucas décadas, o surgimento de vastas áreas de desmatamento de matas nativas, para aumento da produtividade de culturas e consumo de carvão vegetal, o que levou a perda de quase metade da área original do Cerrado (MMA, 2011). Assim constata-se que esse modelo de ocupação alicerça-se na expansão da fronteira agrícola no Cerrado, fomentada através do desmatamento generalizado e da mecanização intensiva (AGUIAR; MONTEIRO, 2005).

Dentro desse contexto de degradação destaca-se a prática das queimadas, muito comum na região dos cerrados, e que vem sendo costumeiramente utilizada, de acordo com Coutinho *et al.* (2016, p. 71), "[...] no manejo das áreas rurais, limpeza de pastos, aceiros e abertura de áreas de cultivo [...]" o que decorre sobremaneira dos baixos custos desta técnica e facilidade de execução. Segundo Silva, Sousa e Furtado (2013) a ocorrência de queimadas no cerrado é um evento recorrente, tanto que a sua vegetação natural está adaptada a seus efeitos, contudo a autora salienta que na atualidade vem ocorrendo uma intensificação de tais práticas decorrente do avanço da agropecuária.

Além disso, as condições climáticas do Cerrado marcadas pela baixa umidade do ar e clima com sazonalidade bem marcada propiciam a ocorrência de queimadas (TEOBALDO; BAPTISTA, 2016). A situação torna-se ainda mais potencializada no período da seca onde o número de casos de incêndios em áreas de mata é bem recorrente (COUTINHO e*t al.*,2016). Face disso, a alta incidência de queimadas provoca efeitos nocivos ao meio ambiente, como: perda de biodiversidade, empobrecimento do solo pela perda de nutrientes o que fomenta a exploração de novas áreas, erosão, poluição local e mudanças climáticas decorrentes da emissão de CO_2 e CH_4.

Portanto, é imprescindível dada à gravidade dos processos de queimadas observados ao longo dos anos, na área dos Cerrados, um monitoramento eficiente e amplo da área no sentido de entender as dinâmicas que queimadas que vem ocorrendo. Assim, segundo Coutinho *et al.* (2016) o uso de imagens de satélite vem contribuindo significativamente no sentido de se identificar focos de calor e incêndios na superfície terrestre, embora o autor aponte que tais métodos utilizados para tais fins ainda sejam pouco eficientes sob certos aspectos, estes mostram-se a melhor alternativa, uma vez que tais tecnologias minimizam o tempo necessário para aquisição de informações e permitirem a apreciação mais detalhada e global das problemáticas espaciais abordadas.

Assim sendo, segundo Rosan e Alcântara (2015), além de tais determinações é crucial a mensuração da severidade do fogo no ecossistema, severidade está entendida como o grau de intensidade do fogo e seu impacto, o que pode ser determinado mediante o emprego do sensoriamento remoto.

Para o desenvolvimento do presente trabalho foi realizado um levantamento do referencial teórico a cerca da temática abordada e posteriormente a elaboração de produtos cartográficos obtidos a partir de imagens do sensor OLI do satélite Landsat – 8, processadas e analisadas em ambiente SIG, mediante a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto.

Assim, o objetivo do presente trabalho é avaliar e determinar o grau de severidadeda degradação ambiental das áreas de queimadas do município de Currais –PI, mediante a aplicação do Índice Relativo Diferenciado de Queimada por Razão Normalizada (RdNBR).

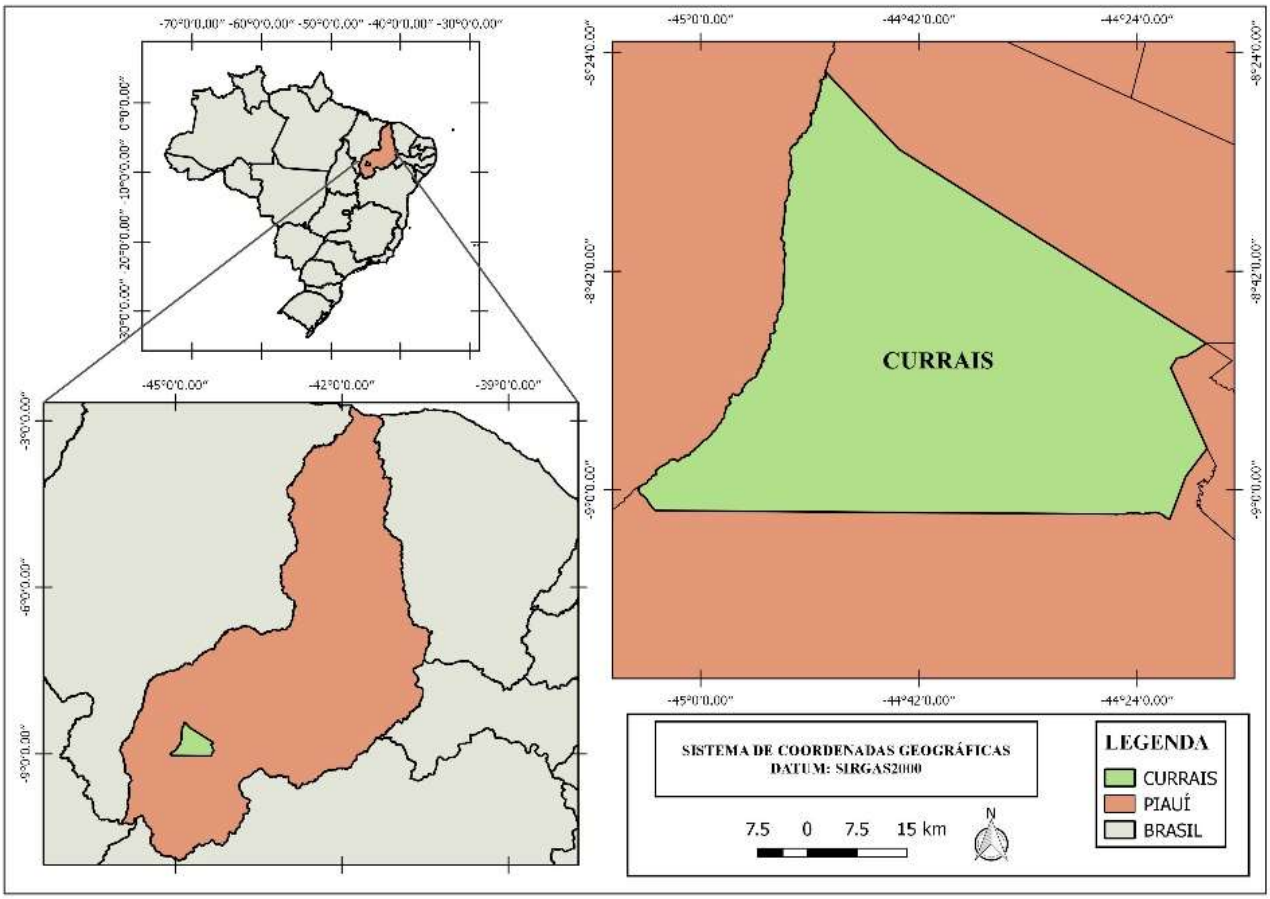
1.1 Localização e caracterização da área de estudo

O município de Currais está localizado na microrregião do Alto Médio do Gurguéia, na porção sudoeste do estado do Piauí, estando situado a uma latitude 09º00’25” S e a uma longitude 44º24’39” O (Figura 1). O Bioma característico e predominante do município é o Cerrado, crescentemente explorado nessas regiões, do sudoeste do estado, em decorrência do clima estável e da topografia favorável às atividades agropecuaristas (SILVA; SOUSA; FURTADO, 2013).

Essa área de Cerrado é caracterizada, de acordo com Olimpio e Monteiro (2005), por um processo de degradação ambiental decorrente do avanço rápido, não tão somente das atividades agropecuaristas, mas também, do desmatamento para extração de madeira; da exploração mineral e das queimadas constantes da vegetação nativa para inúmeros fins.

Assim tais fatores associados à fragilidade do solo propiciam modificações da paisagem natural do município e condicionam o surgimento de inúmeras complicações ambientais. Desse modo, o acompanhamento dessas modificações e o traçado de planejamentos territoriais que melhor definam um uso e ocupação sustentável são imprescindíveis para se trabalhar a questão ambiental (MMA, 2009).

Figura 1 – Localização do município de Currais (PI)



Fonte: Elaborada pelos autores

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

Foram utilizadas duas cenas do sensor *Operational Land Imager* (OLI) do satélite Landsat – 8, órbita/ponto 220/66, com resolução espacial de 30 metros. As cenas foram adquiridas gratuitamente através do catálogo de imagens da *United StatesGeologicalSurvey* (USGS), disponíveis no sítio eletrônico (https://earthexplorer.usgs.gov/). Para a escolha das imagens foram tomadas aquelas definidas dentro do período de maior incidência de queimadas na área de estudo, sendo desse modo uma de 01/08/2017 e a outra de 21/10/2017.

Para o processamento das imagens foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica – Quantum GIS 2.14.6 onde foi criado um banco de informações mediante a qual posteriormente foram realizadas abstrações quanto às informações essenciais ao estudo. De posse das imagens foi realizado o recorte da área de interesse por meio do arquivo vetorial referente ao limite do município de Currais, para o ano de 2017, adquirido na seção de dados geoespaciais do sítio eletrônico do IBGE.

Posteriormente foi realizada a conversão dos níveis de cinza dos pixels em valores de refletância de acordo com a metodologia implementada por Tizado (2014), mediante a qual foram calculados os valores derefletância média da atmosférica (E_{sun}) (Equação 1); a radiação emitida pelo sol (*Sun radiance*) (Equação 2).

$$E_{sun} = (\pi * d^2) * (Radiance\ Maximum\ /\ Reflectance\ Maximum) \quad (1)$$

Onde:

- E_{sun}= refletância média da atmosférica em Watts. $m^{-2}.srad^{-1}.\mu m^{-1}$;
- d= distância entre a Terra e o sol;
- *Radiance Maximun* = radiância máxima da banda (i);
- *Reflectance Maximum* = refletância máxima da banda (i);

$$Sun\ radiance = \frac{[Esun * sen\ (\theta)]}{(\pi * d2)} \quad (2)$$

Onde:

- Sun radiance = a radiação emitida pelo sol em Watts. $m^{-2}.srad^{-1}.\mu m^{-1}$;
- E_{sun} = refletância média da atmosfera em Watts. $m^{-2}.srad^{-1}.\mu m^{-1}$;
- θ = ângulo de elevação sola;

$$Refletância = \frac{(\mathrm{DN} * Radiance\ Mult + Radian \quad Add)}{Sun\ Radiance} \tag{3}$$

Onde:

- Refletância = valor da radiação refletida por pixel;
- *Radiance Mult* = radiância da banda;
- *Radiance Add* = radiância da banda;

De posse das imagens com seus níveis de cinza convertidos em refletância foi realizada uma correção atmosférica das imagens de maneira a eliminar os efeitos de espalhamento e absorção dos componentes atmosféricos, bem como a reprojeção das imagens. Após essa etapa do pré-processamento, prosseguiu-se com a aplicação do Índice de Queimada Normalizada (NBR) uma técnica que apresenta grande potencial na detecção de cicatrizes de queimadas e avaliação de severidade do fogo, conforme os intervalos expostos na Tabela 1 (ROSAN; ALCÂNTARA, 2015). O índice consiste em uma aritmética entre as bandas do infravermelho-próximo (ρ_{nir}) e do infravermelho-médio (ρ_{mir}), definido por Koutsias e Katteris (1998), que apresentam regiões do espectro eletromagnético que apresentam modificações após queimadas (Equação 4):

Tabela 1 – Níveis de severidade associado à variação do ΔNBR

Nível de severidade	**Variação do ΔNBR**
Alta Regeneração	-500 a -251
Baixa Regeneração	-250 a -101
Não Queimado	-100 a +99
Baixa Severidade	+100 a +269
Baixa Moderada Severidade	+270 a +439
Alta Moderada Severidade	+440 a +659
Alta Severidade	+660 a +1350
Ananomalia	> +1350

Fonte: Key e Benson (1999) apud Rosan Alcântara (2015)

$$\mathrm{NBR} = \frac{(\rho\mathrm{nir} - \rho\mathrm{mir})}{(\rho\mathrm{nir} + \rho\mathrm{mir})} \tag{4}$$

Posteriormente, para se realizar uma análise temporal, foi obtida a diferença de NBR (ΔNBR) entre duas cenas pré e pós-fogo tomadas entre os meses de agosto e outubro do ano de 2017. Além disso, tem-se ainda que, mediante os resultados advindos dessa diferença, pode-se mensurar a severidade das "manchas" de queimadas identificadas (Equação 5):

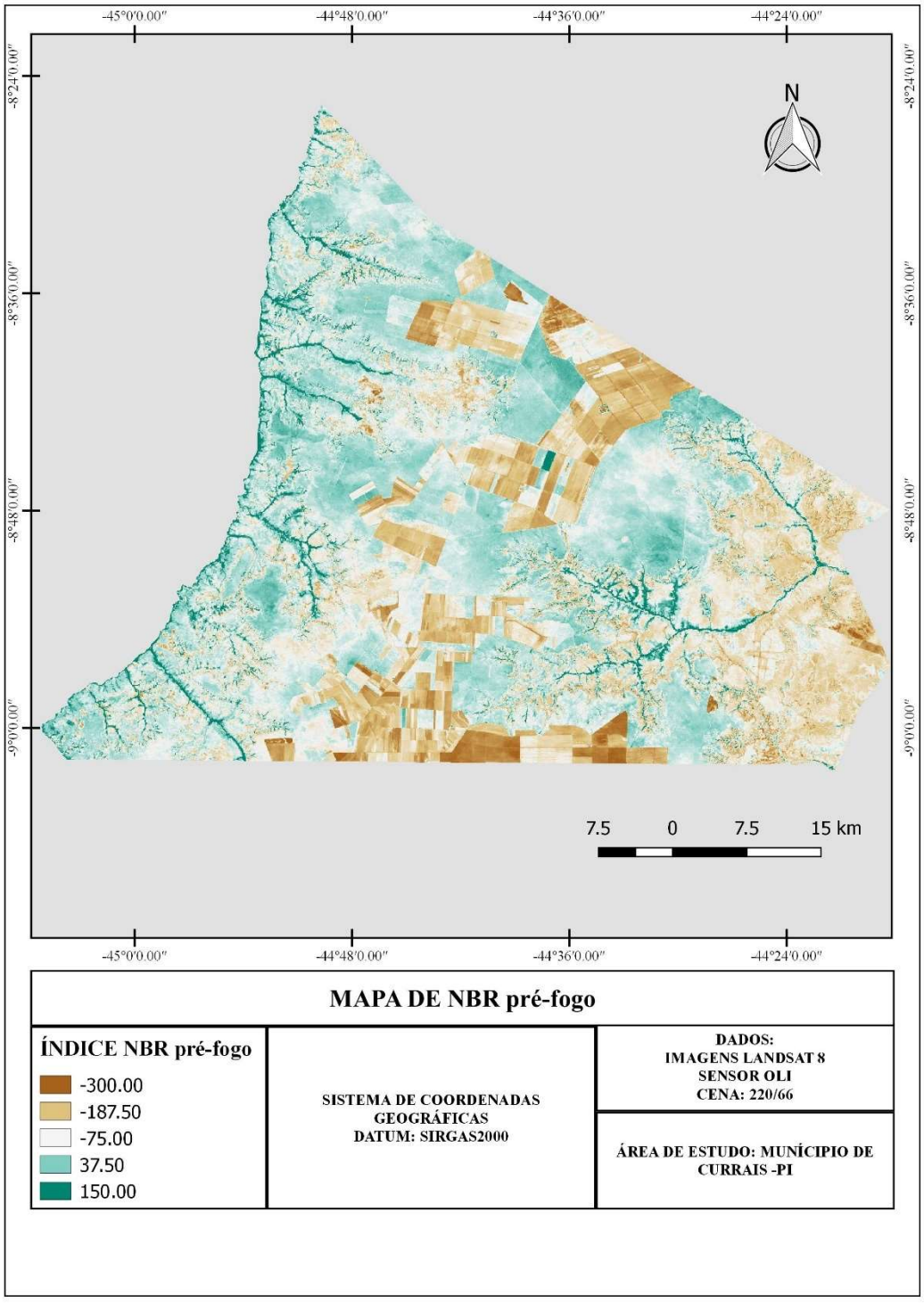
$$\Delta\mathrm{NBR} = \mathrm{NBR}_{\text{pré-fogo}} - \mathrm{NBR}_{\text{pós-fogo.}} \tag{5}$$

Por fim, mediante a análise dos resultados e distinção visual das respostas espectrais na composição falsa-cor, foram analisados os graus de severidade de acordo com os intervalos de respostas gerados no ΔNBR.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através dos métodos utilizados obteve-se o mapa apresentado na Figura 2, resultante da aplicação do índice de NBR na imagem capturada em agosto de 2017 pelo sensor OLI do Landsat-8. Por meio da composição falsa-cor é possível verificar que não existem regiões de queimadas acentuada, representada pela coloração amarronzada mais escura, indicando áreas pequenas com manifestações pontuais concentradas na porção sudoeste do município, justificando-se por incluir a zona urbana de Currais e ser próxima à região citadina de Bom Jesus.

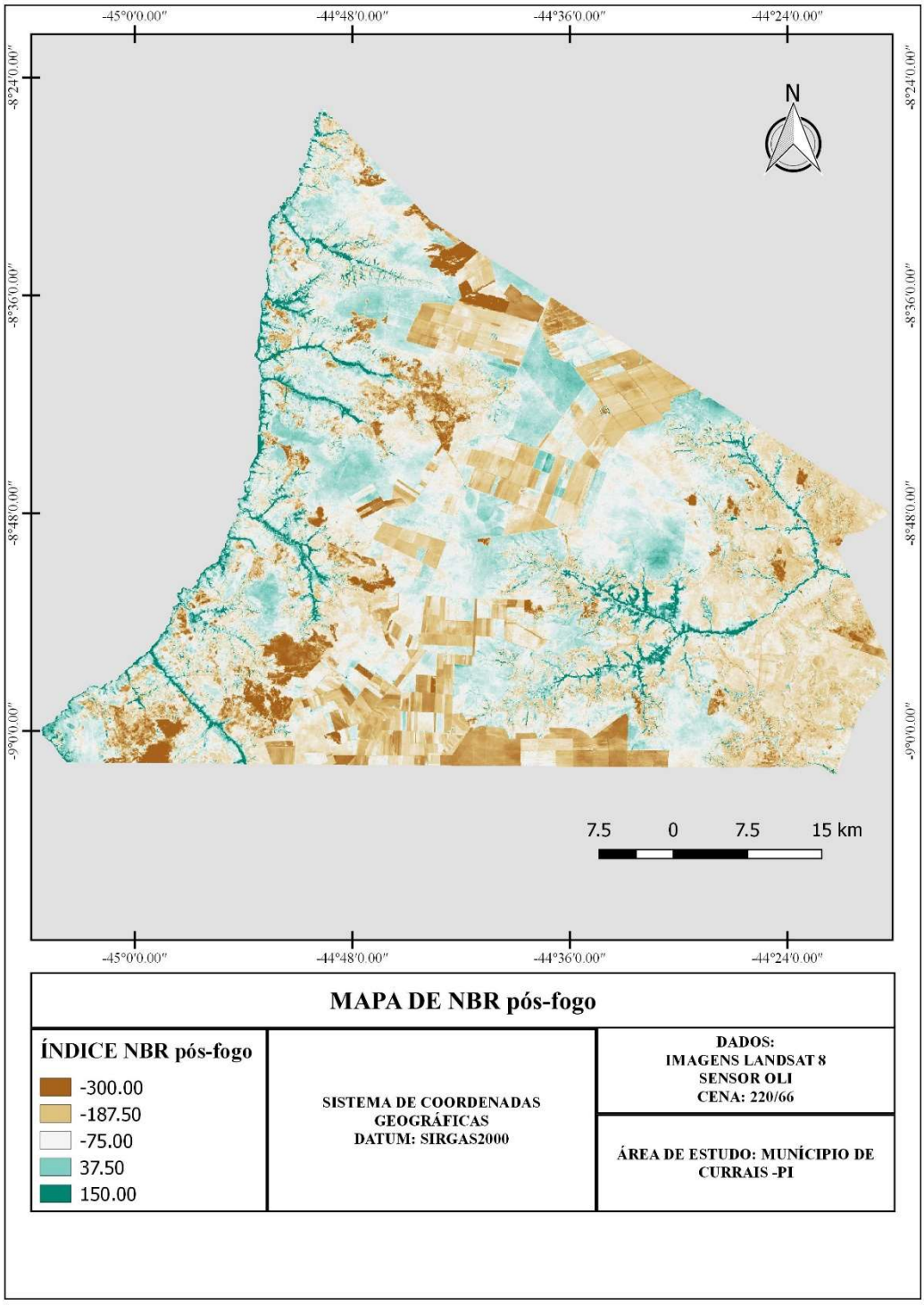
Figura 2 – NBR calculado para o mês de agosto (pré-fogo)



Fonte: Elaborada pelos autores

Já no tocante à imagem orbital do mês de outubro, conforme Figura 3, nota-se que ao longo do período analisado houve o surgimento de manchas de queimadas à Oeste do município, fato resultante da prática típica dos trabalhadores rurais para limpar os restos vegetais da terra ao fim da colheita de determinada plantação, com o intuito de remanejá-la posteriormente para outro cultivo e expandir as fronteiras agrícolas. Além disso, é importante ressaltar que existem também focos de incêndio dispersos ao longo da área de estudo, sendo provavelmente iniciados por causas naturais, considerando que o trimestre analisado representa a época do ano com índices pluviométricos mais baixos associados à altas temperaturas.

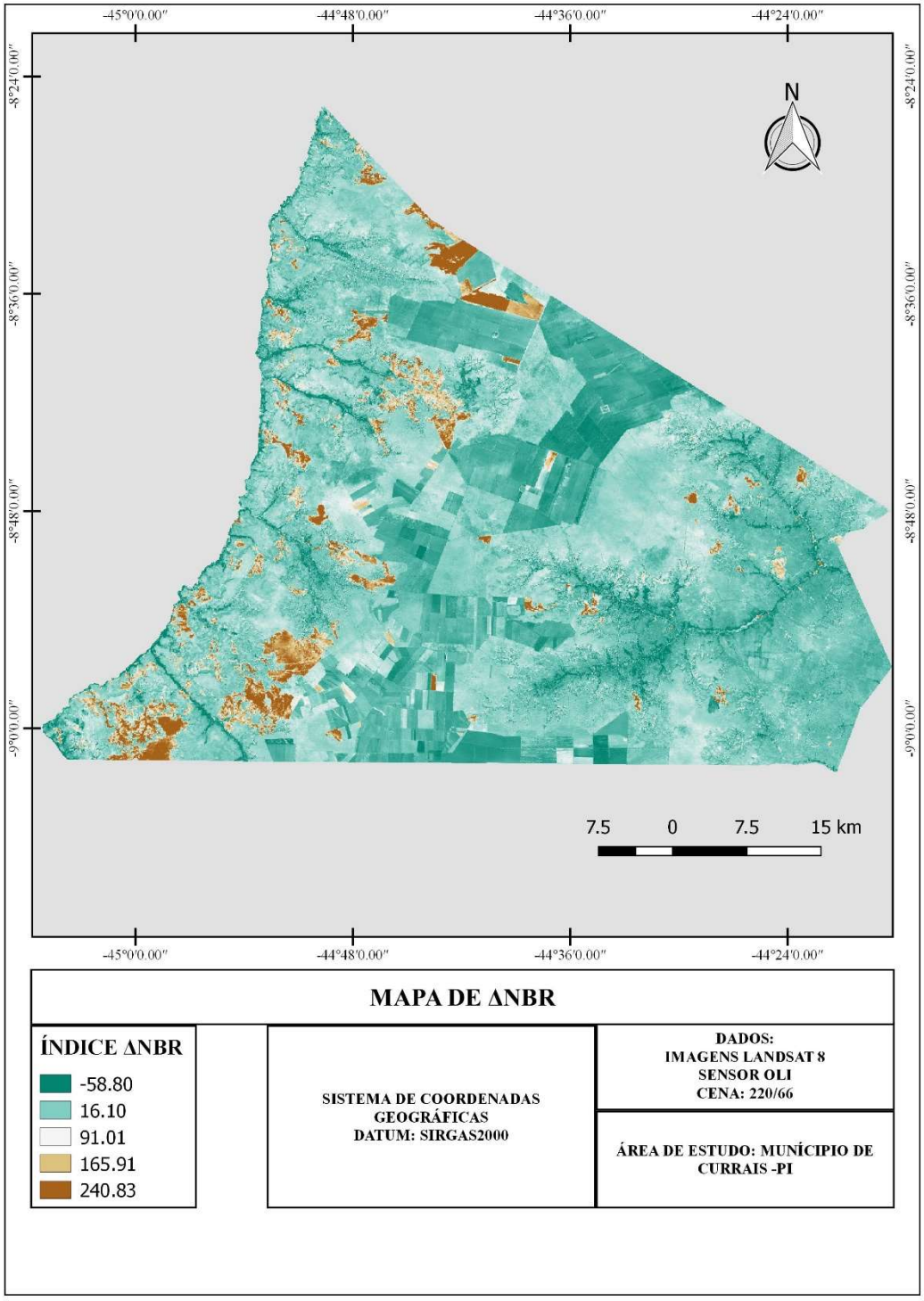
Figura 3 – NBR calculado para o mês de outubro (pós-fogo)



Fonte: Elaborada pelos autores

Com base nos dados matriciais obtidos, foi calculada a diferença do Índice de Queimada Normalizada (ΔNBR) entre as imagens processadas dos respectivos meses, evidenciando a evolução dos focos de incêndio no período. Assim, a severidade de tais focos de incêndio é analisada a partir da extensão das áreas afetada, bem como dos valores de ΔNBR, representados pela intensidade das cores no mapa da Figura 4.

Figura 4 – Diferença de NBR entre as imagens estudadas



Fonte: Elaborada pelos autores

Nesse sentido, é perceptível que as queimadas de maior amplitude espacial e cujos valores de NBR apresentaram maior discrepância ocorreram ao Norte e à sudoeste do município de Currais, nas proximidades de áreas de plantio. Quanto aos demais focos de incêndio, encontram-se distribuídos de forma irregular ao longo da região, caracterizando áreas menores e cujo ΔNBR não exprimiu valores significativamente altos, indicando que a severidade de tais manchas não é tão acentuada.

4 CONCLUSÕES

Por se tratar de uma região em processo de expansão da fronteira agrícola, a porção do bioma Cerrado presente no sudoeste piauiense vem sofrendo com queimadas e desmatamentos sistemáticos, cada vez mais frequentes e que ameaçam a biodiversidade local. Com o intuito de analisar a progressão dos focos de incêndios intencionais, foram processadas duas imagens orbitais do município de Currais (PI), obtidas pelo sensor OLI do satélite Landsat-8, estas sendo escolhidas entre os meses de maior incidência dessas atividades na região. Assim, para este estudo, o índice NBR mostrou-se realmente eficaz, uma vez que tornou possível destacar as áreas mais afetadas pelas queimadas de maneira satisfatória no processamento realizado.

Ademais, o período investigado é caracterizado por baixos índices pluviométricos e altas temperaturas, os quais muitas vezes potencializam os incêndios oriundos de ações antrópicas, considerando que propiciam o alastramento do fogo por áreas maiores e contribuem para que este perdure por mais tempo antes de cessar, motivo que contribui para tornar a região do município mais propensa à queimadas nesta época do ano, sendo também fatores que podem causar iniciar incêndios pontuais de causas naturais.

Por fim, apesar da diferença entre os valores de NBR para as imagens trabalhadas demonstrar a ocorrência de queimadas de baixa severidade conforme parâmetros discutidos em literatura, a intensificação dessa prática vem acontecendo de maneira preocupante, uma vez que no curto período de tempo estudado identificou-se um aumento considerável das manchas de incêndios. Essa percepção alarma para a importância de serem discutidas e realizadas de fato intervenções em prol da preservação do bioma, que além de estar sendo prejudicado quanto à perda de espécies da fauna e da flora por conta da retirada de sua vegetação nativa, também sofre com o empobrecimento dos nutrientes do solo, consequência inerente ao processo de queimadas.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, T. J. A., MONTEIRO, M. S. L. Modelo agrícola e desenvolvimento sustentável: a ocupação do Cerrado piauiense. **Ambiente & Sociedade**. v.08, n.02, 2005.

COUTINHO, M. A. N. et al. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI, SAVI, RATIO E IAF para identificação de queimadas. **Caderno Ciências Agrárias**, 8(1):70-81, 2016.

KOUTSIAS, N.; KARTERIS, M. Logistic regression modelling of multitemporal Thematic Mapper data for burned area mapping. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, p. 3499–3514, 1998.

MAGALHÃES, F. A. C. A ocupação do cerrado piauiense como expressão da questão social. In: JORNADA INTERNACIONAL DE POLÍTICOS PÚBLICAS, 6. **Anais...** São Luís, 2013.

MMA. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado - PPCerrado**. Brasília, 2009. 182 p.

MMA. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado**. Brasília, DF, 2011, 200 p.

MMA. **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite**. Brasília, 2015. 16 p.

OLIMPIO, J. A.; MONTEIRO, M. S. L. Impactos modernos da agricultura sobre o solo e a biodiversidade no Cerrado em Palmeira do Piauí e Currais. **Carta Cepro**, v. 23, p. 1-16, 2005.

ROSAN, T. M; ALCÂNTARA, E. Detecção de áreas queimadas e severidade a partir do índice espectral ΔNBR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais ...** João Pessoa: Inpe, 2015.

SILVA, C. R.; SOUZA, K. B.; FURTADO, W. F. Avaliação do avanço da agricultura intensiva no cerrado piauiense. **Engevista**, v. 16, n. 3, p. 432-439, 2013.

TEOBALDO, D.; BAPTISTA, G. M. M. Quantificação da Severidade das Queimadas e da Perda de Sequestro Florestal de Carbono em Unidades de Conservação do Distrito Federal (Measurement of Severity of Fires and Loss of Carbon Forest sink in the Conservation Units at Distrito Federal). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1, p. 250-264, 2016.

TIZADO, E. J. I. **LANDSAT. TOAR. Calculates top-ofatmosphere radiance or reflectance and temperature for Landsat MSS/TM/ETM+/OIL**. Dept. Biodiversity and Environmental Management, University of León, Spain, 2014.

DINÂMICA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO BIOMA AMAZÔNIA

CAMILA DE LIRA ALVES [1]
SABRINA DE OLIVEIRA GOMES[1]
VANESSA NUNES DE LIMA[1]
LIGIA ALBUQUERQUE DE ALCANTARA[1]

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
camiladlalves@hotmail.com, o.sabrina.gomes@gmail.com, vanessanunes275@gmail.com,
ligia.alcantara@yahoo.com.br

RESUMO – A Cartografia Dinâmica possibilita a análise de diversos temas de forma temporal, sendo um desses temas o uso e ocupação do solo, em que o seu monitoramento é essencial, principalmente para estudos ambientais, pois permite que se possa realizar um estudo dos impactos ambientais gerados pela utilização dos recursos naturais, resultante da ação antrópica. Ao aplicar o estudo para o Bioma Amazônia, o mais importante do mundo devido à diversificação da sua fauna e flora, e por possuir a maior bacia hidrográfica do planeta, verifica-se que qualquer mudança gerada neste bioma resultará impactos a níveis mundiais. Neste artigo serão apresentados mapas temáticos referentes às classes presentes no Bioma Amazônia, que foram gerados a partir de imagens Landsat-5 e Landsat-8 da coleção 2.0 da plataforma MapBiomas, de modo que esses mapas possam auxiliar na avaliação quantitativa e qualitativa das mudanças ocorridas durante os anos de 2010, 2012, 2014 e 2016 e assim relacionar com os impactos ambientais gerados.

ABSTRACT – Dynamic Cartography makes it possible to analyze several themes in a temporal way, one of these topics being the use and occupation of the soil, in which its monitoring is essential, mainly for environmental studies, since it allows to carry out a study of the environmental impacts generated by the use of natural resources resulting from anthropic action. When applying the study for the Amazon Biome, the most important in the world due to the diversification of its fauna and flora, and because it has the largest hydrographic basin on the planet, it is verified that any change generated in this biome will result in global impacts. In this paper we will present thematic maps related to the classes present in the Amazon Biome, which were generated from Landsat-5 and Landsat-8 images of the MapBiomas platform 2.0 collection, so that these maps can aid in the quantitative and qualitative evaluation of the changes that occurred during the years of 2010, 2012, 2014 and 2016 and thus relate to the environmental impacts generated..

1 INTRODUÇÃO

Com a disseminação da tecnologia, a forma de representar o espaço geográfico ganhou novos âmbitos, com o surgimento de programas computacionais específicos para a cartografia, as formas de representações foram sendo desenvolvidas e assim melhoradas. O conceito de Sistema de Informações Geográficas (SIG) veio como ferramenta de auxiliar nessas mudanças, sendo assim possível integrar informações em um único banco de dados, permitindo visualizações de sobreposições de informações que ajudam compreender e realizar uma análise de forma rápida de um objeto de estudo.

Segundo Gomes e Lima (2017), o SIG tem como objetivo produzir, armazenar, processar, analisar e representar informações sobre o espaço geográfico, enquanto o sensoriamento remoto possibilita obter imagens e dados da superfície terrestre, identificando aspectos de interesse, permitindo que seja visado o problema. Ambas as ferramentas quando utilizadas juntas, ajudam a cartografia e assim resultam em mapeamentos com dados precisos e acurados. Segundo Martinelli (1986), a produção de mapas temáticos tornou-se um importante ramo da cartografia, em que mapas constituem-se não apenas em meios de registro da informação, mas também são considerados instrumentos de pesquisa, onde os seus resultados são aplicados às ciências que estudam e desenvolvem as distribuições espaciais.

Desta forma a cartografia temática permite que sejam elaborados mapas com intuito de transmitir informações de diversas áreas de estudos, de forma que suas representações possam ser compressíveis e claras para o usuário, logo cumprindo sua função para passar a informação.

Para a realização de mapas independente da temática envolvida, a abordagem espacial não é uma grandeza

independente do tempo, pois a dinâmica da sociedade está sempre em mudanças no espaço, ou seja, o espaço está em constante mudança, dado a isso a cartografia dinâmica auxilia na representação temporal, de forma que visualmente e a partir de dados seja possível acompanhar essas mudanças no mapeamento.

Segundo Maceachren e Taylor (1994) o termo de cartografia dinâmica é especificamente a manipulação interativa da informação espacial, possível em tempo real, fruto dos grandes avanços tecnológicos, envolvendo a informática, e a cartografia.

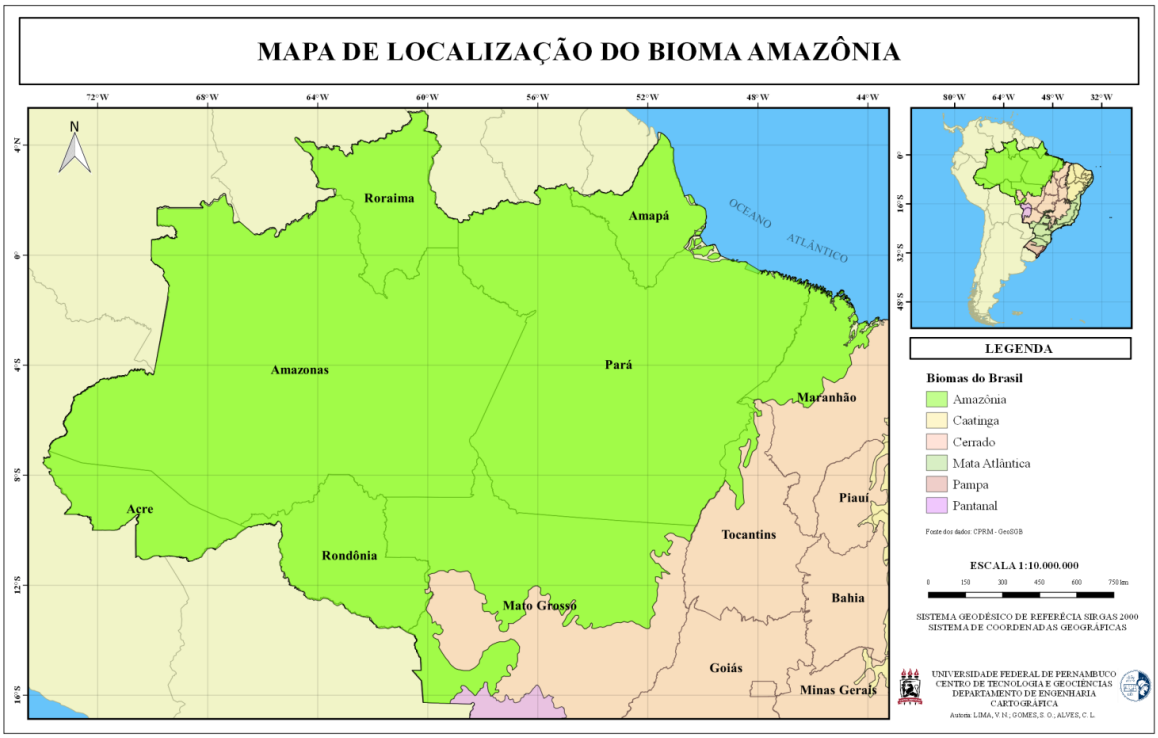
O uso e ocupação do solo está em constante mudança, dado a isso para que seja possível realizar seu estudo é importante utilizar como mecanismo a cartografia dinâmica, que como já apresentado auxilia no estudo temporal. O Bioma Amazônia é um tema diretamente ligado as questões de mudanças ambientais, as suas mudanças podem ser causadas por ações antrópicas ou naturais, porém é importante ressaltar que os principais impactos são causados por ações antrópicas, causando uma grande interferência na qualidade de vida, nos recursos naturais, na biodiversidade e entre outros. Logo, é importante realizar um estudo sobre as mudanças que ocorrem no bioma, pois, segundo o IBGE (2004), o bioma Amazônia corresponde ao maior bioma do Brasil ocupando 49,29% da área total do país.

A partir de uma análise temporal e aplicação da cartografia dinâmica, o objetivo do presente artigo é apresentar as mudanças ocorridas no bioma Amazônia realizando um monitoramento do uso e ocupação do solo do mesmo, apresentando as classes presentes no bioma: formações savanicas, mangue, floresta alagada, floresta degradada, floresta secundária, florestas plantadas, formações naturais não florestais, áreas úmidas naturais não florestais, outras formações não florestais, pastagem, agricultura, agricultura ou pastagem, praias ou dunas, infraestrutura urbana, corpos d'agua, mosaico de cultivos, para um período de seis anos, apresentando as mudanças ocorridas e os possíveis impactos que são causados, e gerar soluções que possam suavizar os impactos que são causados e auxiliar na gestão sustentável do bioma.

1.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde à região de ocorrência do bioma estudado, que compreende nove estados brasileiros, sendo a maior parte localizada na região norte do Brasil. A região engloba os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins, no norte, Mato Grosso, na região centro-oeste, e o estado do Maranhão na região Nordeste, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autoras.

O Bioma Amazônia possui uma extensão de aproximadamente 4.196.943 de km² (IBGE, 2004), caracterizado pelo clima do tipo A, sendo este o clima tropical segundo a classificação climática de Köppen, onde é possível perceber

que a região está sobre a influência das três subclimas Af-equatorial chuvoso, Am-tropical de Monção e Aw-Tropical Seco e Úmido, que são caracterizados respectivamente por período intenso de precipitação e sem presença de seca, por um período de intensa precipitação e com um pequeno período de seca e com um período de seca e chuva bem definido.

A vegetação característica é a floresta amazônica na qual é a maior floresta tropical do mundo, segundo a OTCA (Organização para o Tratado de Cooperação Amazônica), a extensão da Amazônia corresponde aproximadamente a 7,5 milhões de km² de acordo com o critério político-administrativo, fazem parte do território brasileiro aproximadamente 68% da floresta amazônica.

A Bacia Amazônica é a maior e mais importante bacia hidrográfica do mundo com área de 6 milhões de km² e tem 1.100 afluentes (Ministério do Meio Ambiente), em que seu principal rio o Amazonas possui uma contribuição hídrica nos oceanos, ao desaguar no oceano Atlântico cerca de 15% de volume de Água (MOLINIER et. al.,1995).

2 METODOLOGIA

Para o presente trabalho foram utilizados os dados do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (Mapbiomas), Figura 2, que é uma plataforma de mapeamento colaborativo que conta com diversos especialistas da área de usos da terra, biomas, sensoriamento remoto, sistema de informações geográficas (SIG) e ciências da computação e tem como objetivo "contribuir para o entendimento da dinâmica do uso do solo no Brasil e em outros países tropicais" fazendo a disseminação das metodologias utilizadas, dados, e produtos gerados. (MAPBIOMAS, 2018).

Os produtos e dados de cobertura e uso do solo, mudanças de uso e cobertura, mosaicos LANDSAT, e estatísticas das classes dos anos de 2000 a 2016 estão disponibilizados em uma plataforma web (http://mapbiomas.org/), onde é possível consultá-los, visualizá-los e baixá-los. Para o estudo realizado, obtivemos os mosaicos LANDSAT-5 e LANDSAT-8, que dão subsídios para mapeamentos temáticos na área de recursos naturais devido a sua resolução espectral que permite a realização de mapeamentos em mesma escala e com uma resolução melhor que os antecessores respectivamente. Foram utilizados os dados da coleção 2.0 que cobrem os anos de 2000 a 2016, sendo assim utilizou-se os anos de 2010, 2012, 2014 e 2016 para o estudo dinâmico das mudanças ocorridas no bioma.

Figura 2 - Plataforma MapBiomas.

Fonte: MapBiomas, 2018.

Posteriormente, com a obtenção dos mosaicos, utilizou-se o software Qgis 3.0.2 para fazer a classificação da imagem segundo o MapBiomas, que determina que cada valor de brilho do pixel equivale a um tipo de classe. Dado a isso fizemos uma padronização da cor para cada classe presente no bioma estudado, estas foram: Formações Savânicas, Mangue, Floresta Degradada, Floresta Secundária, Florestas Plantadas, Formações Florestais não Naturais, Áreas Úmidas Naturais não Florestais, Pastagem, Agricultura, Praias e Duna, Infraestrutura Urbana, Corpos D'água e Não Observado, para assim serem gerados os mapas temáticos de cada ano para a análise da dinâmica do uso e ocupação do solo. Logo, utilizando os mapas temáticos e os dados que a plataforma disponibiliza, serão analisados os dados qualitativos e quantitativos.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

Com os dados obtidos foram gerados mapas representativos do Bioma Amazônia dos anos de 2010, 2012, 2014 e 2016, da classificação utilizada pode ser observada na Tabela 1 os respectivos valores de cada uma delas em hectares, apenas os valores de duas classes, "Floresta Degradada" e "Floresta Secundária" não teveram seus valores disponibilizados. Logo, os mapas temáticos gerados de cada ano foram comparados com o valores disponibilizados desses anos na plataforma MapBiomas, ou seja, foi possível fazer análise qualitativa e quantitativa do uso e cobertura do solo do bioma estudado.

Tabela 1 – Quantitativo em área de cada classes do Bioma Amazônia em hectares.

Classes	2010 (ha)	2012 (ha)	2014 (ha)	2016 (ha)
Formações Naturais não Florestais	6574134.54	6524296.51	6598416.58	6273172.89
Áreas não vegetadas	171517.69	198372.63	195186.98	200561.55
Corpos Dágua	12215666.23	12440838.34	12652737.96	12472407.03
Não observado	170393.57	170179.73	170099.14	170259.25
Formações Savânicas	2871.06	1996.88	2786.17	2868.05
Mangue	951315.19	935712.67	846558.65	843762.06
Florestas Plantadas	3.43	3.43	41.65	38.33
Áreas Úmidas Naturais não Florestais	1.8	0.86	0.09	1.37
Pastagem	36899769.57	36748231.9	40249601.52	40901340.28
Agricultura	1522051.55	1755902.29	2634816.42	3725339.82
Praias e dunas	2092.48	2187.47	2093.81	2069.14
Infraestrutura Urbana	145741.32	163518.07	172181.1	179990.19
Formações Florestais	350509041.9	349535295.2	348770751.5	348617653.2
Formações Florestais Naturais	351463228.1	350473004.7	349620096.3	349464283.3

Fonte: Mapbiomas, 2018.

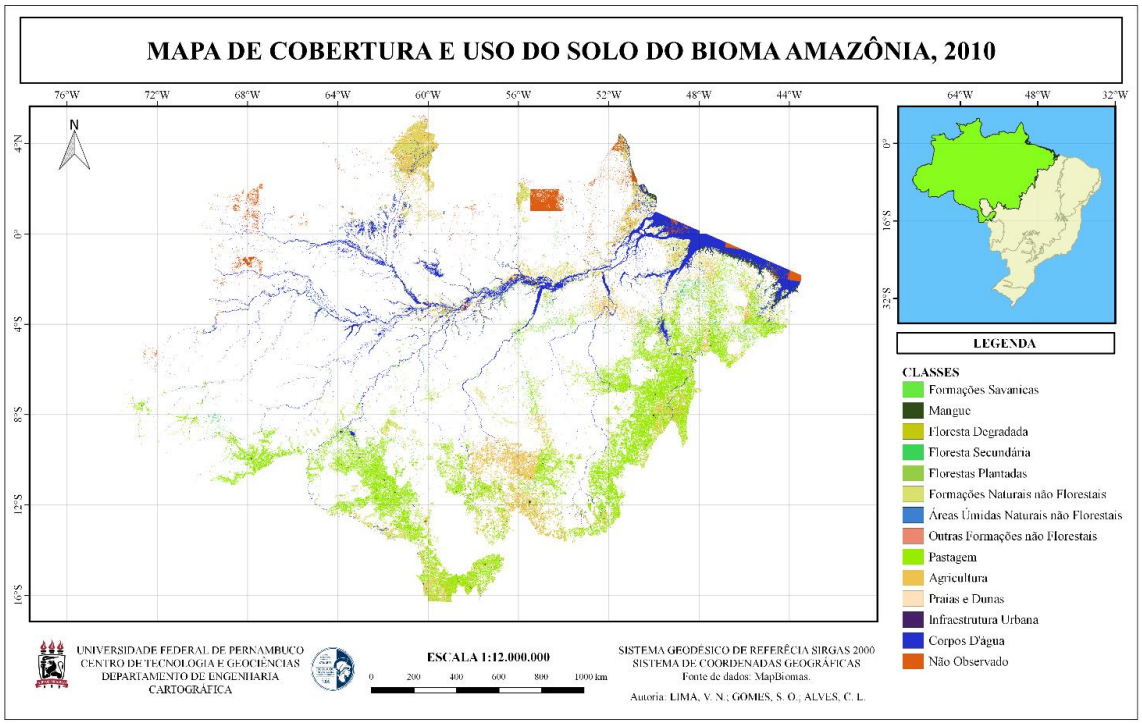
Tabela 2- Desmatamento da Floresta Amazônica em hectares.

Ano	Desmatamento (ha)
2010	700000
2012	457100
2014	501200
2016	789300

Fonte: INPE, 2018.

Os resultados de cobertura e uso do solo referente ao ano de 2010 pode ser observado no mapa da Figura 3, nele está contida nove classes que compõe este bioma.

Figura 3 - Mapa de cobertura e uso do solo do Bioma Amazônia no ano de 2010.



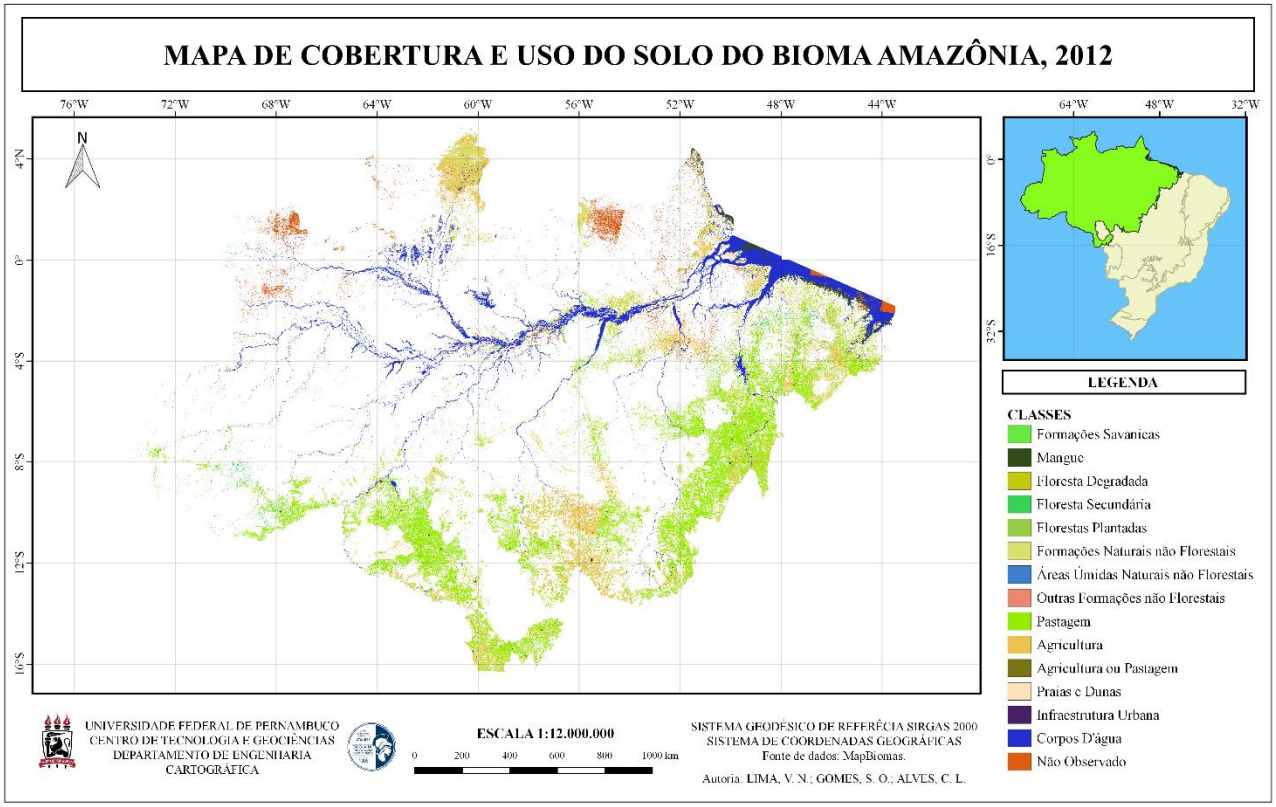
Fonte: Autoras.

Ao analisar a Figura 3 e a Tabela 1 pode-se verificar a predominância no ano de 2010 das classes “Pastagem” e “Corpos D’água”, pois apresentam uma maior distribuição ao longo do Bioma Amazônia, em que representa 8,79% e 2,91% respectivamente da área deste bioma. A presença destas classes, influência diretamente nas questões ambientais, pois a pastagem é um processo oriundo da derrubada de florestas seguida pela queimada, onde 700000 ha da floresta amazônica foram desmatadas neste ano, processo que ocorre à emissão de gases como CO2, contribuindo assim para o efeito estufa e a modificação da biodiversidade da região, tais modificações ocasionadas pela retirada da vegetação impacta diretamente o solo devido à nova cobertura vegetal. Decorrente do seu processo de formação, a pastagem apresenta um bom nível de produtividade ocasionada pela penetração das cinzas procedente da queima, situação que pendura durante os 3 a 5 primeiros anos, ocasionando inviabilidade bioeconômica da pastagem (TOWNSEND et. Al.,2009).

Os corpos d’água estão inteiramente interligados a bacia hidrográfica da Amazônia, considerada a maior do planeta como falado anteriormente, em que as vazões dependem do regime de precipitação que está relacionado com a evapotranspiração da floresta Amazônica, sendo importante a presença desta classe para a verificação dos impactos ambientais oriundos da ação antrópica. Desse modo quanto maior for o desmatamento resultará na diminuição dos corpos d’ água, gerando assim um desequilíbrio nas formações climáticas continentais.

A Figura 4 apresenta o mapa de cobertura e uso solo referente ao ano de 2012, que assim como o mapa representado na Figura 3 estão sendo analisadas as mesmas nove classes que caracteriza o Bioma Amazônia.

Figura 4 - Mapa de cobertura e uso do solo do Bioma Amazônia no ano de 2012.

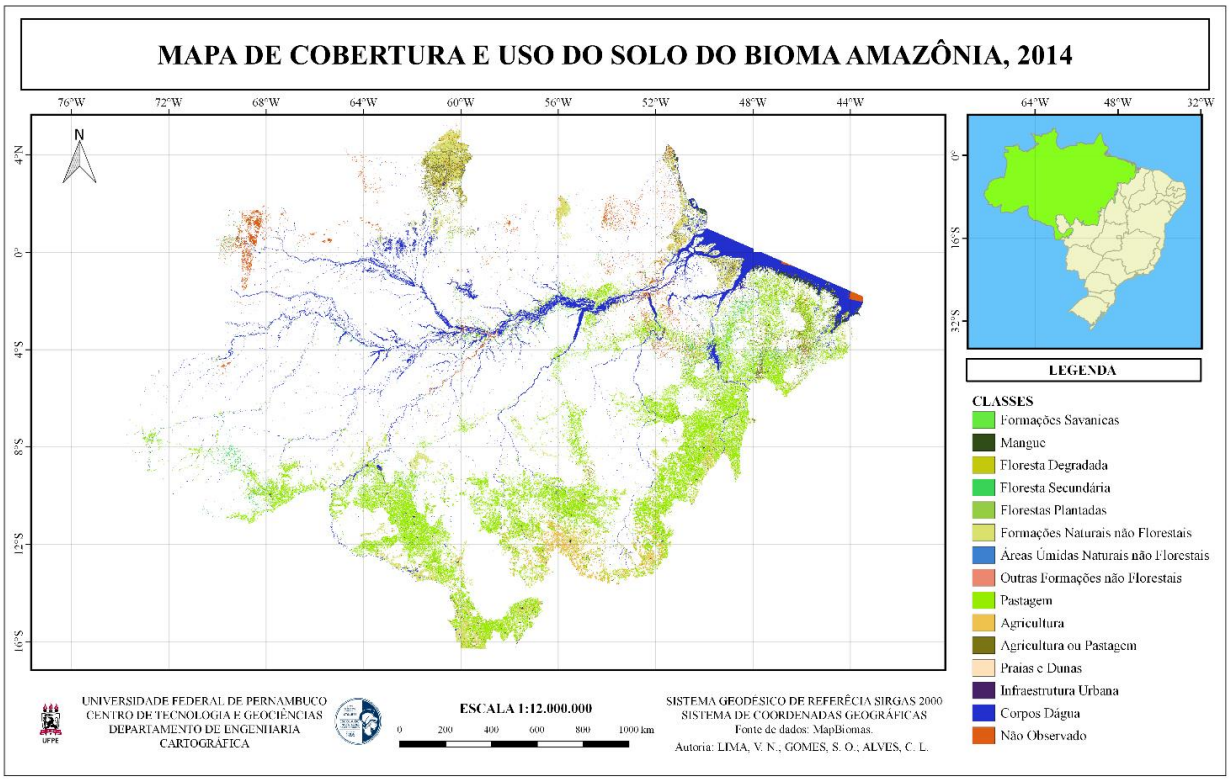


Fonte: Autoras.

De maneira semelhante ao analisar o mapa da Figura 4 e a Tabela 1, pode-se notar sutilmente que a classe de pastagem em relação ao ano de 2010 teve uma diminuição de 151537,67 ha, caracterizando uma diminuição de desmatamento da floresta Amazônica, onde percebe-se na Tabela 2 que houve uma diminuição de 242900 ha de área desmatadas comparando ao ano de 2010.

A classe referente à floresta plantada que corresponde a 0,000000875% de área deste Bioma, não teve visualmente uma variação significativa, que é confirmado pelos valores apresentados na Tabela 1, já a classe "Agricultura" que está presente em cerca de 0,418% no Bioma, teve um aumento de 233850,74 ha, sendo também classes importantes referentes às questões ambientais. As classes "Formações Florestais" e "Formações Florestais Naturais", classes estas as que apresentam a maior contribuição de área correspondendo a 83,28% e 83,50% respectivamente no Bioma Amazônia, apresentaram diminuição de área de 973746,69 ha e 990223,39 ha, respectivamente, o que já era esperado diante do crescimento da ocupação da região da Amazônia e uso contínuo dos recursos naturais que proporcionam à aceleração do desmatamento, que estão interligadas as políticas de desenvolvimento como o crescimento das cidades, e o aumento da pecuária e a da agricultura. O bioma Amazônia possui áreas que tem um potencial para desenvolver diversos tipos de culturas, sem agredir o meio ambiente.

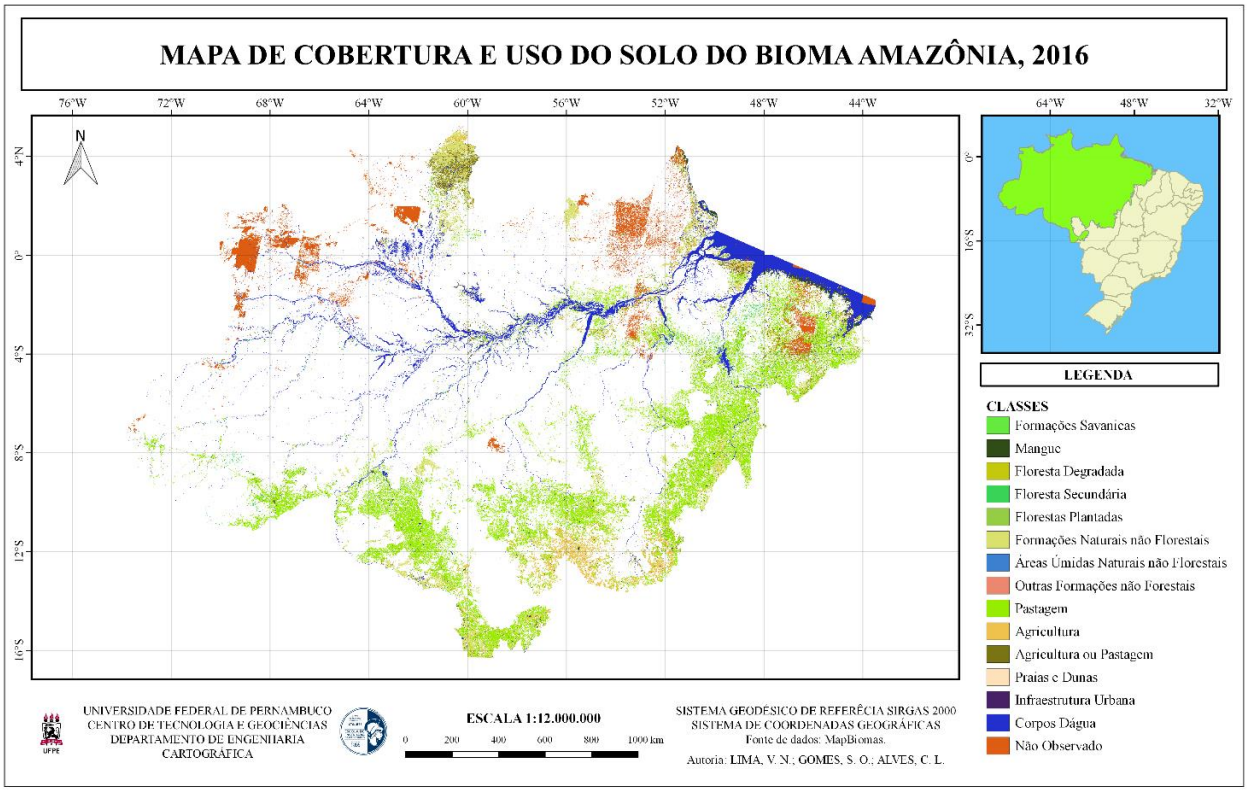
Figura 5 - Mapa de Cobertura e uso do solo no Bioma Amazônia no ano de 2014.



Fonte: Autoras.

Pode-se perceber que no ano de 2014 (Figura 5) a classe “Não Observado” teve uma diminuição visível, podemos levar em consideração a imagem selecionada e o dia que ela foi tomada, a presença de nuvens também contribui para esse caso. Referente às demais classes embora não seja possível perceber pela análise visual do mapa, é possível pela análise quantitativa (Tabela 1) que a “Uso Agropecuário” continuou crescendo apresentado o valor de 570116,80 ha a mais em relação ao ano de 2012, já a classes “Formações Florestais” e “Formações Florestais Naturais” ocorreu sua diminuição em relação ao mesmo ano anterior, caracterizando assim que ocorreram atividades de desmatamentos nesse intervalo de tempo, em que aumentou 44100 ha (Tabela 2) de área desmatada. Apesar disso a classe de “Florestas Plantadas” teve um aumento de 38,22 ha, porém torna-se insignificativo comparado as áreas de florestais perdidas.

Figura 6 - Mapa de Cobertura e uso do solo no Bioma Amazônia no ano de 2016.



Fonte: Autoras.

No ano de 2016 (Figura 6) a classe “Uso Agropecuário”, apresentou assim como o ano de 2014 um crescimento com valor de 655856,21 ha a mais em relação a esse mesmo ano, assim como também as classes “Formações Florestais” e “Formações Florestais Naturais” ocorram diminuição de área em 153098,25 ha e 155812,96 ha, respectivamente, em relação ao ano de 2014. Já a classe de florestas plantadas ocorreu uma diminuição de 3,32 ha em relação ao mesmo ano anteriormente analisado.

De modo a recuperar o uso excessivo do solo e amenizar os impactos gerados pela ação antrópica, um dos recursos utilizados para tal é a floresta plantada, que consiste em plantar as mesmas espécies existentes da região ou espécies novas, as florestas plantadas também podem estar voltadas para o comércio, em que para evitar a realização do desmatamento das florestas nativas, a fim de extração dos recursos desejados, são plantadas algumas espécies de florestas, um exemplo desse tipo de florestas são a de Eucalipto.

4 CONCLUSÕES

Diante dos mapas temáticos apresentados, verifica-se que a cartografia dinâmica juntamente com o uso do MapBiomas possuem uma grande importância para o desenvolvimento de pesquisas ambientais, possibilitando assim de forma precisa averiguar a distribuição das classes referente ao bioma, tais como floresta degradada, pastagens, cursos d’água, agricultura e outros aspectos ambientais, a fim de verificar os avanços que estas classes estudadas obtiveram durante o decorrer dos anos e assim averiguar quais os impactos gerados . A cartografia dinâmica deve ser utilizada nos estudos que pretendem alcançar conhecimento do meio ambiente e a sua preservação, de modo que permite a integração dos dados que são utilizados na avaliação das ações antrópicas no meio ambiente e assim auxiliar no gerenciamento dos recursos naturais.

De forma a melhorar o estudo referente às questões ambientais a utilização das imagens RapidEye fornece uma resolução espacial de 6,5 metros nas suas imagens ortorretificadas (Junior e Silva,2016), proporcionando que as identificações dos alvos sejam com mais clareza em relação as imagens procedentes de Landsat, então sugere-se integrar essas imagens ao MapBiomas onde resultaria em análises das classes dos Biomas com maior precisão. Uma das vantagens a integrar essas imagens no MapBiomas seria no monitoramento do desmatamento em região de floresta, em que as imagens RapidEye oferecem bandas espectrais que monitoram a atividade fotossintética da vegetação, sendo

assim possível analisar os avanços do desmatamento, principalmente da floresta Amazônica e assim planejar as possíveis ações para amenizar os efeitos causados pelo desmatamento.

REFERÊNCIAS

BOLETIM OTCA. Brasília: OTCA, n° 1, jun./ago. 2004ª.

GOMES, S. O; LIMA, V. N; CANDEIAS, A. L. B; SILVA, R. R. **Uso e Cobertura dos Solos de Petrolândia Utilizando MapBiomas.** Em Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Exposicarta, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, p. 805-808.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas de Biomas e de Vegetação**. 2004.

INPE. Disponível em: < http://www.inpe.br/>. Acesso: 11 maio de 2018.

JUNIOR, E. A. M.; SILVA, J. S. V. **Imagens de Alta Resolução (rapideye) para Elaboração de Mapas para Planejamento e Georreferenciamento: Estrada Parque do Pantanal, Ms**. Em Anais 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, MS, Brasil, p. 514 514 -522.

LIMA, V. N.; GOMES, S. O.; CANDEIAS, A. L. B; SILVA, R. R. **MapBiomas e Uso e Cobertura dos Solos do Município de Brejinho, Pernambuco.** Em Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Exposicarta, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, p. 947-951.

MACEACHREN, A. M. E TAYLOR, D. R. F. **Visualization in modern cartography**. Elsevier, Oxford, 1994.

MAPBIOMAS. Disponível em: < http://mapbiomas.org >. Acesso: 3 maio de 2018.

MARTINELLI, M. **A Cartografia da Geografia: Um Processo de Comunicação com a linguagem Gráfica**, Visual. In: VI Encontro Nacional de Geógrafos. Campo Grande, MS, julho de 1986.

MMA. **Ministério do Meio Ambiente: Amazônia.** Disponível em < http://www.mma.gov.br/biomas/amaz%C3%B4nia >. Acesso: 11 de maio 2018.

MOLINIER M, GUYOT JL, OLIVEIRA E, GUIMARAES V, CHAVES. A. **Hidrologia da Bacia do Rio Amazonas**. Revista de Ciência e Tecnologia, p. 31-36.1995.

Townsend, C. R; Pereira, R. G. de A.; Costa, N. de L. **Aspectos econômicos da recuperação de pastagens no bioma Amazônia**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2009.

ELABORAÇÃO DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS NA ESCALA1:10.000 PARA A REGIÃO DO CEMITÉRIO DA COLÔNIA JAPONESA DO MUNICÍPIO DE ÁLVARES MACHADO - SP

MAYARA COBACHO ORTEGA CALDEIRA[1]

CARLOS RODRIGO TANAJURA CALDEIRA [2]

HELOÍSA DA SILVA VICTORINO[3]

GABRIELA TAKAHASHI MIYOSHI [4]

[1, 2] Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA
Instituto Ciberespacial – ICIBE, Belém - PA
mayarac.ortega@mail.com, caldeiracrt@gmail.com

[3] Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR
Departamento de Agrimensura - DAAGR, Pato Branco - PR
hvictorino@utfpr.edu.br

[4] Universidade Estadual Paulista - FCT/UNESP
Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas, Presidente Prudente - SP
takahashi.gabi@gmail.com

RESUMO - Este trabalho tem como objetivo desenvolver um projeto cartográfico de mapeamento urbano, desde seu planejamento até sua conclusão, abrangendo assim as etapas de apoio de campo, processamento de dados *Global Navegation Satellite System* (GNSS), fototriangulação, geração e edição do Modelo Digital do Terreno (MDT), restituição e geração de ortofotos, ortofotocarta, carta topográfica e banco de dados geográfico. O bloco fotogramétrico abrange as cidades de Álvares Machado, Caiabu, Indiana, Pirapozinho, Presidente Bernardes, Presidente Prudente e Regente Feijó localizado no oeste paulista. Os produtos cartográficos gerados correspondem à articulação na escala 1:10.000 que abrange a região do Cemitério da Colônia Japonesa de Álvares Machado e a área próxima ao Balneário da Amizade em Presidente Prudente. Como resultado, foi obtida a carta topográfica PEC Classe A, com precisão planimétrica de 0,441 m, a ortofotocarta com precisão planimétrica de 0,863 m, ambos os produtos com precisão altimétrica de 1,292 m para as curvas de nível, e um banco de dados geográficos no formato digital

ABSTRACT - This work aims to develop a cartographic project since its planning to its completion, thus covering the stages of preparation of schedule, field surveying, GNSS data processing, phototriangulation, Digital Terrain Model (DTM) generation and edition, restitution and orthoimage and orthoimage map generation. The photogrammetric block covers the cities of Álvares Machado, Caiabu, Indiana, Pirapozinho, Presidente Bernardes, Presidente Prudente and Regente Feijó located in western São Paulo . The Cartographic products generated match sheet on 1:10,000 scale covering the region of the Alvares Machado Japanese Colony Cemetery and the area next to the Balneário da Amizade in Presidente Prudente. As a result it was obtained the topographic map with planimetric accuracy of 0,441 m and the orthoimage with planimetric accuracy of 0,863 m, both products having altimetry precision of 1,292 m to the level curves, and a geodatabase in digital format.

1 INTRODUÇÃO

A Cartografia preocupa-se com a representação espacial da superfície terrestre utilizando diversas técnicas (JOLY, 2004). A partir da aquisição, tratamento e análise de dados geográficos, o Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor extrai informações para a elaboração de produtos importantes para o planejamento, gestão e implantação de projetos para o desenvolvimento da sociedade (LIMA, THOMAZ e SEVERO, 2010).

Diversas ciências e técnicas como a Geodésia, a Fotogrametria, o Sistema de Informações Geográficas (SIG), o Sensoriamento Remoto e a Topografia podem ser empregadas para o desenvolvimento de projetos cartográficos. O projeto e a produção cartográfica iniciam-se com a análise de demanda do usuário, passam pela coleta, processamento e análise

de dados, e culminam na representação de informações relacionadas à realidade da superfície terrestre, cujo produto deve cumprir a função de fornecer informação georreferenciada de acordo com os requisitos da aplicação (SLUTER, 2008).

A escolha das técnicas adequada a serem aplicadas no mapeamento dependerá da precisão requerida e a finalidade do uso das informações, sendo esta uma das principais atribuições do Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor (LIMA, THOMAZ e SEVERO, 2010). Dentre as técnicas desenvolvidas, destaca-se a Fotogrametria, usualmente aplicada na realização do mapeamento básico, como o da Cartografia Sistemática adotada no Brasil, Mapeamento Urbano e Cadastral. A Fotogrametria, segundo Andrade (1998) baseia-se no conceito de extração de medidas de objetos a partir de imagens, sua aplicação no mapeamento da superfície terrestre utiliza fotografias obtidas tanto por sensores aerotransportados quanto terrestres, e se apoia em diversas outras técnicas de obtenção de informações espaciais.

Segundo Tommaselli (2004), a Fotogrametria apresenta uma série de vantagens sobre os processos diretos de medição (como por ex. Topografia e Geodésia), tanto para o mapeamento quanto para outras aplicações, dentre elas destacam: a aquisição dos dados rápida; grandes quantidades de informações e detalhamento que as imagens proporcionam; as fotografias são documentos legais relativos à época de sua tomada, e podem ser medidas a qualquer momento que se desejar, podendo-se repetir a medida várias vezes, dentre outras. Deste modo, a Fotogrametria é uma alternativa utilizada para a geração e atualização da cartografia no nosso país.

Considerando a atual situação do Brasil, onde há índices de crescimento significativos, obras de infraestrutura são essenciais no desenvolvimento de setores econômicos importantes como a construção civil, a indústria, a agricultura mecanizada, entre outros. Sabendo destas necessidades, o planejamento e organização dos serviços tanto públicos quanto privados devem ser elaborados de forma eficiente, exigindo modelos atualizados que representem a superfície terrestre de maneira precisa. Baseado nessa carência, este trabalho propõe-se a elaborar produtos cartográficos (classe A do Padrão de Exatidão cartográfica- PEC) atualizados, através de técnicas fotogramétricas, para região cuja articulação na escala 1:10.000 que abrange a região do Cemitério da Colônia Japonesa de Álvares Machado e a área próxima ao Balneário da Amizade em Presidente Prudente.

2 VARIAVÉIS INTERDEPENDENTES

No projeto cartográfico, são determinados os elementos necessários para a geração dos produtos de interesse, abrangendo a área geográfica de estudo, escala e precisão a serem atingidas, nomenclatura da folha, sistema de projeção, sistema de referência, *layout* e informações geográficas a serem mapeadas.

2.1 Escala

A escala do produto final foi definida a partir das equações de propagação de covariância, que estimam a precisão do produto em planimetria (σ_E, σ_N) e altimetria (σ_H) obtido a partir dos parâmetros das imagens utilizadas (KRAUS, 1993):

$$\sigma_E = \frac{Z}{f}\sqrt{\left(\frac{x'_p}{f}\frac{Z}{B}\sigma_{px}\right)^2 + (\sigma_{x'_p})^2} \quad (1)$$

$$\boldsymbol{\sigma_N = \frac{Z}{f}\sqrt{\left(\frac{y'_p}{f}\frac{Z}{B}\sigma_{px}\right)^2 + (\sigma_{y'_p})^2}} \quad (2)$$

$$\boldsymbol{\sigma_H = \frac{Z^2}{fB}\sigma_{px}} \quad (3)$$

onde:
Z - altura de voo no momento da tomada das fotos;
f - distância focal da câmara;
x'_p - coordenada fotogramétrica em x de um ponto localizado no canto do modelo;
y'_p - coordenada fotogramétrica em y de um ponto localizado no canto do modelo;
σ_{px} - precisão (desvio-padrão) resultante do tamanho do *pixel* para x e y;
$\sigma_{x'_p}$ - tamanho do *pixel* em x;
$\sigma_{y'_p}$ - tamanho do *pixel* em y; e
B - aerobase.

As imagens, adquiridas em outubro de 2010, foram fornecidas pelo IGC, com um GSD de 0,45 m. O GSD pode ser entendido como o tamanho equivalente de um *pixel* no terreno, sendo equivalente a 6 µm no sensor. A câmara utilizada para a aquisição das fotos foi a UltraCam Xp, da fabricante Vexcel Imaging. Deste modo, os valores utilizados para cada parâmetro mencionado anteriormente são respectivamente, 7537,500 m; 100,500mm; 32,234mm; 49,334mm; 8,485 µm; 6 µm, 6 µm e 2035,800m. Assim, aplicando tais valores nas equações (1) à (3) foram obtidas as seguintes tolerâncias em E, N e h, 0,880 m, 1,241m e 2,356m respectivamente.Sendo assim, baseando-se nos parâmetros as tabelas do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e estabelecendo-se a comparação entre os erros estimados e o Erro Padrão (EP) das especificações da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE, 2011), foi determinada a escala 1:10.000 para geração dos produtos cartográficos com curvas de nível equidistantes de 10 m, cujo EP admissível para a planimetria é

1,70 m (com base nas recomendações da INDE (2011)) e para altimetria, 3,33 m (baseado nas recomendações do Decreto Brasileiro nº 89.817 de 20 de junho de 1984).

2.2 Área geográfica de interesse

A área de interesse para a realização desta pesquisa foi selecionada a área que compreendesse o Cemitério da Colônia Japonesa de Álvares Machado –SP, que abrange a área urbana e rural. Definido o alvo de referência (Cemitério da Colônia Japonesa) e a escala do produto final (1:10.000), utilizou-se o desdobramento de folha nos padrões da Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo (CIM). Deste modo a nomenclatura da área de interesse segundo a articulação da CIM é SF-22-Y-B-III-1-NO-E, cujos limites são dados pela Tabela 1.

Tabela 1 – Coordenadas geodésicas que limitam a área de interesse.

Limite	Latitude (φ)	Longitude (λ)
1	22°05'00"S	51°30'00"W
2	22°05'00"S	51°26'15"W
3	22°07'30"S	51°26'15"W
4	22°07'30"S	51°30'00"W

Esta área de interesse, representada na Figura 1, abrange as regiões periféricas dos municípios de Presidente Prudente e Álvares Machado/SP, que engloba o Santuário Morada de Deus (A), o Balneário da Amizade (B), o câmpus II (C) da Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), dentre outras localidades e, como principais vias, a Rodovia Júlio Budiski e Raposo Tavares.

Figura 1 – Limites da área de interesse, folha SF-22-Y-B-III-1-NO-E.

Fonte: Google Earth ®

Para representação e manipulação dos dados cartográficos, foi utilizado para a planimetria o sistema de referência Sistema Geocêntrico de Referência para as Américas (SIRGAS2000), atualmente adotado pelo Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e que possui o *Geodetic Reference System 1980* (GRS80) como elipsoide de referência. Para altimetria, adotou-se como referência altimétrica para a altitude ortométrica (H) o marégrafo de Imbituba, localizado em Santa Catarina. Os dados foram projetados no sistema *Universal Transversa de Mercator* (UTM), fuso 22S, por ser o sistema de projeção utilizado para o Mapeamento Sistemático Brasileiro (IBGE, 2013).

3 PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA

A produção cartográfica abrange o desenvolvimento executado para cada uma das etapas propostas no projeto cartográfico, contemplando o conjunto programado de atividades de acordo com o cronograma estabelecido. Estas etapas abrangem coleta dos pontos de apoio, fototriangulação, restituição, MDT, ortofotocarta, carta topográfica e banco de dados geográficos.

3.1 Apoio de Campo

Pontos de apoio bem distribuídos no bloco fotogramétrico são necessários para a fototriangulação, uma vez que as injunções de suas posições materializam o sistema de referência no espaço objeto (ANDRADE, 1998). Os pontos de verificação, por sua vez, desempenham a função de avaliação da qualidade dos produtos gerados em cada etapa.

Primeiramente, foi determinada a quantidade de pontos a serem levantados para a fototriangulação a partir da Distância Máxima de Ponte, do inglês *Maximum Bridging Distance* (MBD), que considera os dados do voo realizado durante a aquisição das imagens e, a escala da carta a ser construída, 1:10.000.

Para o levantamento dos dados GNSS foram utilizados dois receptores GNSS de dupla frequência Hiper GGD da Topcon, que possuem precisão horizontal e vertical de 3 mm + 1 ppm * linha_de_base e 5 mm + 1,4 ppm * linha_de_base, respectivamente. Os receptores foram configurados no *software* PC-CDU, e para a aquisição dos dados em campo ainda foram utilizados acessórios relativos (bases nivelantes, tripé, rádios de comunicação, entre outros).

Considerando-se o comprimento aproximado das linhas de base igual a 20 km e devido à utilização da estação de referência (PPTE), pertencente à RBMC, e PRU2, pertencente à rede do projeto CIGALA/CALIBRA, ambas localizadas no câmpus da FCT/UNESP em Presidente Prudente, adotou-se o método de posicionamento relativo estático, que demanda tempo de coleta de cada estação de no mínimo 30 minutos e a maioria dos erros envolvidos são reduzidos ou eliminados neste posicionamento.

Deste modo, foram rastreadas as observáveis da fase e pseudodistância dos sinais L1 e L2 dos satélites GNSS, como pode ser observado no Quadro 1. Com base nas recomendações do INCRA (2010) a máscara de elevação foi configurada para 10 graus, com intervalo de gravação de 15 segundos. Essas configurações auxiliam na solução da ambiguidade, na atenuação do erro inerente ao multicaminho e eliminação do efeito de primeira ordem da principal fonte de erro sistemático no posicionamento por GNSS – Ionosfera (MONICO, 2008).

Quadro 1 – Características das sessões de rastreio para posicionamento relativo estático GNSS.

Linha de Base (Km)	Tempo de Observação (min)	Equip. Utilizado	Solução de Ambiguidade	Efemérides
0 – 10	20	L1 ou L1/L2	Fixa	Transmitidas ou Precisas
10 – 20	30	L1/L2	Fixa	Transmitidas ou Precisas
10 – 20	060	L1	Fixa	Transmitidas ou Precisas
20 – 100	120	L1/L2	Fixa ou Flutuante	Transmitidas ou Precisas
100 – 500	240	L1/L2	Fixa ou Flutuante	Precisas
500 – 1000	480	L1/L2	Fixa ou Flutuante	Precisas

Fonte: INCRA (2010).

Antes do processamento foi necessária a conversão dos dados coletados padrão dos receptores da Topcon(*.tps) para o formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*), utilizando o *software* Topcon Link. Assim os dados GNSS coletados foram processados utilizando as efemérides precisas disponibilizadas pelo *International GNSS Service* (IGS) e as estações base PRU2 e PPTE. A solução da ambiguidade foi fixa, com precisões médias, horizontal e vertical, de 0,032 m e 0,060 m, respectivamente.

No entanto, quando se realiza a determinação das coordenadas de um ponto (φ, λ, h) utilizando o posicionamento GNSS, a componente altimétrica não possui qualquer significado físico, ou seja, não está referenciada ao geoide, tornando-se necessáriaa transformação da altitude geométrica (h) para ortométrica (H) a partir da combinação GNSS/Nivelamento com um modelo geopotencial (ARANA, 2004). Para dar continuidade ao trabalho, foi necessário conhecer a ondulação geoidal de cada ponto e para tal utilizou-se o MAPGEO2010, *software* disponibilizado pelo IBGE. Contudo, ainda foi necessário determinar a precisão da altitude ortométrica dos pontos sendo imprescindível o conhecimento da precisão do MAPGEO2010 e a realização de propagação de covariâncias.

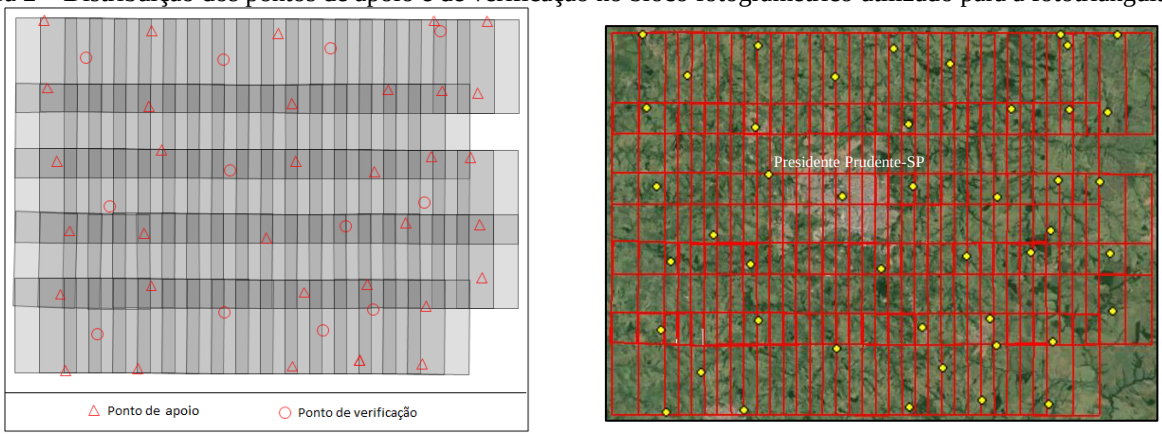
3.2 Fototriangulação

Nesta etapa do trabalho foram utilizadas todas as fotos do bloco fotogramétrico, sendo um total de 91 fotos divididas em 5 faixas. Para a etapa da fototriangulação foi utilizado o LPS (*Leica Photogrammetry Suite*), nos quais foram foram inseridos os parâmetros aproximados. Os POE (Parâmetros de Orientação Exterior) consistem nas coordenadas (X_0, Y_0, Z_0) do centro principal (CP) de cada foto juntamente com os ângulos de orientação (ω, φ, κ) entre o sistema de referência da imagem e o sistema de projeção, e seus respectivos desvios-padrão (PCI GEOMATICS, 2006), já os Parâmetros de Orientação Interior (POI), que consistem nos parâmetros para reconstrução do feixe perspectivo da câmara

utilizada, que são os coeficientes de distorção, distância focal calibrada e tamanho do *pixel*. Estes parâmetros podem ser obtidos no certificado de calibração da câmara.

Foi gerado 1371 tie points automáticos e além disso, foram inseridas as coordenadas dos pontos de apoio e verificação com suas respectivas precisões. Os pontos tiveram suas fotocoordenadas (coordenadas no espaço imagem) medidas em cada foto monoscopicamente, sendo um total de 12 pontos de verificação e 34 pontos de apoio. A Figura 2 mostra a disposição final dos pontos de apoio e verificação no bloco fotogramétrico.

Figura 2 – Distribuição dos pontos de apoio e de verificação no bloco fotogramétrico utilizado para a fototriangulação.



Ao final do processo foram obtidas as diferenças entre as coordenadas conhecidas e as calculadas pela da fototriangulação dos pontos de apoio e verificação. Ainda foram obtidos valores de média e desvio-padrão dos pontos de apoio, verificação e enlace resultando um sigma a posteriori da fototriangulação de 0,4098 m, valormenor do que 1 GSD (0,45 m). Os valores de RMSE dos pontos de apoio e verificação podem ser conferidos na Tabela 2, na qual sepode certificar que o RMSE destes pontos foi menor que 2 *pixels* (0,90 m).

Tabela 21 – RMSE das coordenadas (E,N,H) dos pontos de apoio e verificação.

	$RMSE_E$ (m)	**$RMSE_N$ (m)**	**$RMSE_H$ (m)**
Pontos de apoio	0,008	0,052	0,102
Pontos de verificação	0,482	0,638	0,739

Para a análise da qualidade da fototriangulação, foi utilizada a referência de Galo e Camargo (1994) que apresenta os testes para verificação de tendência e precisão utilizando a probabilidade de que 90% dos pontos devem estar dentro do erro estabelecido.Como o módulo de t amostral para E, N e H mostrou-se menor do que o valor teórico, verifica-se que a fototriangulação não apresentou resultados tendenciosos para tais coordenadas, sendo a hipótese alternativa rejeitada. No que concerne ao teste de precisão, verificou-se que a fototriangulação apresentou resultados precisos para as coordenadas (E, N, H) para atingir o EP desejado no produto final.

3.3 Restituição

O processo de restituição fotogramétrica constitui na representação de feições do terreno em um sistema de projeção cartográfica a partir de fotografias resultando em um mapa ou carta (ANDRADE, 1998). Esta etapa foi realizada no LPS, a partir do complemento PRO600 que faz a conexão com o *software* Microstation *V8*. Para tanto, foi elaborada uma biblioteca para os dados para a restituição com base no plano de camadas para o ambiente CAD.

Segundo Galo e Camargo (1994), uma das etapas fundamentais do processo de produção de cartas consiste no controle de qualidade geométrica. O procedimento de análise da exatidão cartográfica baseia-se na análise das discrepâncias entre as coordenadas dos pontos obtidas por meio das feições restituídas e as coordenadas ajustadas calculadas a partir de observações realizadas em campo, consideradas como coordenadas de referência.

Foram coletados 19 pontos de verificação, no entanto, utilizaram-se apenas 17 destes pontos, pois dois (18 e 10) sofreram alterações temporais, empecilhos observados após a coleta dos pontos, tornando-os inutilizáveis.

Para a análise da qualidade da restituição foram realizados testes de tendência e precisão, *t-Student*e Qui-Quadrado, respectivamente. Assim, o módulo de t amostral para cada uma das coordenadas foi menor do que o valor teórico, verifica-se que a restituição não apresentou resultados tendenciosos, a hipóstese alternativa foi rejeitada, com nível de significância de 10%. No que concerne a análise da precisão foi utilizado o valor nominal do EP, 1,70 m, pois

esta etapa fornece as feições que constituem a carta topográfica, deste modo, como a estatística χ^2 para cada uma das coordenadas mostrou-se coerente com nível de significância de 10%, verificou-se que a restituição atende à precisão pretendida para esta etapa e que a hipótese alternativa foi rejeitada.

3.4 Modelo Digital de Terreno

Segundo Andrade (1998), o MDT pode ser definido como uma representação digital da superfície terrestre a partir de um conjunto de pontos, desconsiderando feições antrópicas, como edificações, ou naturais, como árvores. Deste modo, a elevação é armazenada em estruturas de dados na forma de uma malha regular (espaçamentos em x e y são uniformes) ou em uma malha irregular, geralmente representada na forma de TIN(*Triangulated Irregular Network*), em que a superfície é representada por polígonos de faces triangulares, onde os vértices são amostrados irregularmente.

Embora a malha regular possua a vantagem de não necessitar armazenamento de coordenadas horizontais, por se tratar de uma estrutura regular, algumas irregularidades ou descontinuidades da superfície podem não ser representadas adequadamente por estes modelos. Dessa forma, para representar o terreno com uma determinada precisão, é necessário um número elevado de pontos. Portanto, optou-se por utilizar a representação do modelo digital por meio da estrutura irregular TIN, que possui a vantagem de gerar uma amostragem mais densa em regiões onde a superfície tem comportamento não regular.

O LPS utiliza a triangulação de *Delaunay* para geração do TIN, que consiste em uma rede de triângulos não sobrepostos, nos quais nenhum dos pontos da rede é interior às circunferências circunscritas a qualquer um dos triângulos.

A estrutura TIN foi gerada automaticamente pelo módulo *Classic* ATE (*Automatic Terrain Extraction*) do LPS. Na produção automática do MDT, são selecionadas as imagens que compõem a área, assim como seu retângulo envolvente, limitando a geração do MDT apenas para a área. Para evitar problemas de descontinuidades das curvas foi gerada uma única malha para os três modelos, com a opção *Single Mosaic*.

Segundo o ISM (1997), o espaçamento adequado para a geração de um MDT é da ordem de 3 a 4 mm na escala do produto final. No entanto, ao considerar esta recomendação, o espaçamento utilizado seria de 30 a 40 m, que exigiria do operador grande inserção de pontos, pois as complexidades da superfície poderiam não ser representadas adequadamente, resultando em um atraso na edição. Por este motivo foi utilizado para geração do MDT o espaçamento de 10 m, que corresponde a 1 mm na escala do produto final.

No processo de edição em ambiente estereoscópico, foram excluídos manualmente os pontos da malha irregular sobre árvores ou aglomerados de árvores (matas, bosques etc.) e construções, para manter apenas pontos sobre o relevo. Além disso, foram excluídos os pontos em áreas homogêneas como lagos, rios, gramados uniformes, areias, devido a má correlação radiométrica das imagens para estes alvos. Assim como pontos flutuantes, incoerentes com a representação da superfície.

Após a exclusão destes pontos, foi necessária a inserção de novos pontos em posições adequadas para garantir qualidade na representação da superfície, e inserção das *breaklines* de hidrografia, para modelar os fundos de vale em formato de "V" em direção à nascente. Deste modo, foi possível a geração de um MDT mais representativo do terreno, como sugere Andrade (1998).

Por fim, foram exportadas, em formato *shapefile*, as curvas de nível geradas neste processo para comporem a carta topográfica e a ortofotocarta.

3.5 Ortofoto e Mosaico

Segundo Wolf (1983), a ortofoto é uma fotografia que mostra imagens de objetos em suas posições cartográficas verdadeiras. As ortofotos são fotografias em projeção ortogonal, geometricamente equivalentes a mapas convencionais planimétricos de linhas e símbolos. Deste modo, possibilita a medição direta de ângulos, distâncias e áreas. Além disso, permite fácil interpretação devido à riqueza pictorial.

Nesse processo, têm-se como dados de entrada as imagens que abrangem a área de interesse, a fototriangulação e o MDT devidamente corrigido; e como dados de saída, a imagem da ortofoto.

No LPS, após a etapa de edição do MDT, geraram-se as ortofotos individuais, com mesma resolução das imagens originais, sendo que para o processo de reamostragem dos *pixels* foi utilizado o método de interpolação bilinear.

Após a geração das ortofotos, realizou-se a mosaicagem utilizando o aplicativo MosaicPro do *ERDAS* Imagine. Para obter coincidência geométrica das feições imageadas com poucas imagens, optou-se por fazer linhas de corte manualmente, adotando-se estratégias de percurso, que camuflam tais linhas, como arruamento, pastagem, entre outras. Além disso, elas foram geradas analisando qual a melhor área de cada imagem com a finalidade de se chegar a um melhor produto, sem arrastamento ou deslocamento. Para haver continuidade radiométrica entre as ortofotos, foi utilizada a opção *feathering* com valor de 1 m. A figura 3 apresenta o mosaico das ortofotos da área de interesse.

Figura 3 – Mosaico de ortofotos da área total de interesse.

Além disso, foi feita a análise da qualidade do mosaico de ortofotos em conjunto com a análise da altimetria obtida pelas curvas de nível.

4 PRODUTOS FINAIS

Concluídos os procedimentos de edição em cada processo, pôde-se gerar os produtos finais que consistem na geração da carta topográfica e ortofotocarta.

4.1 Carta Topográfica

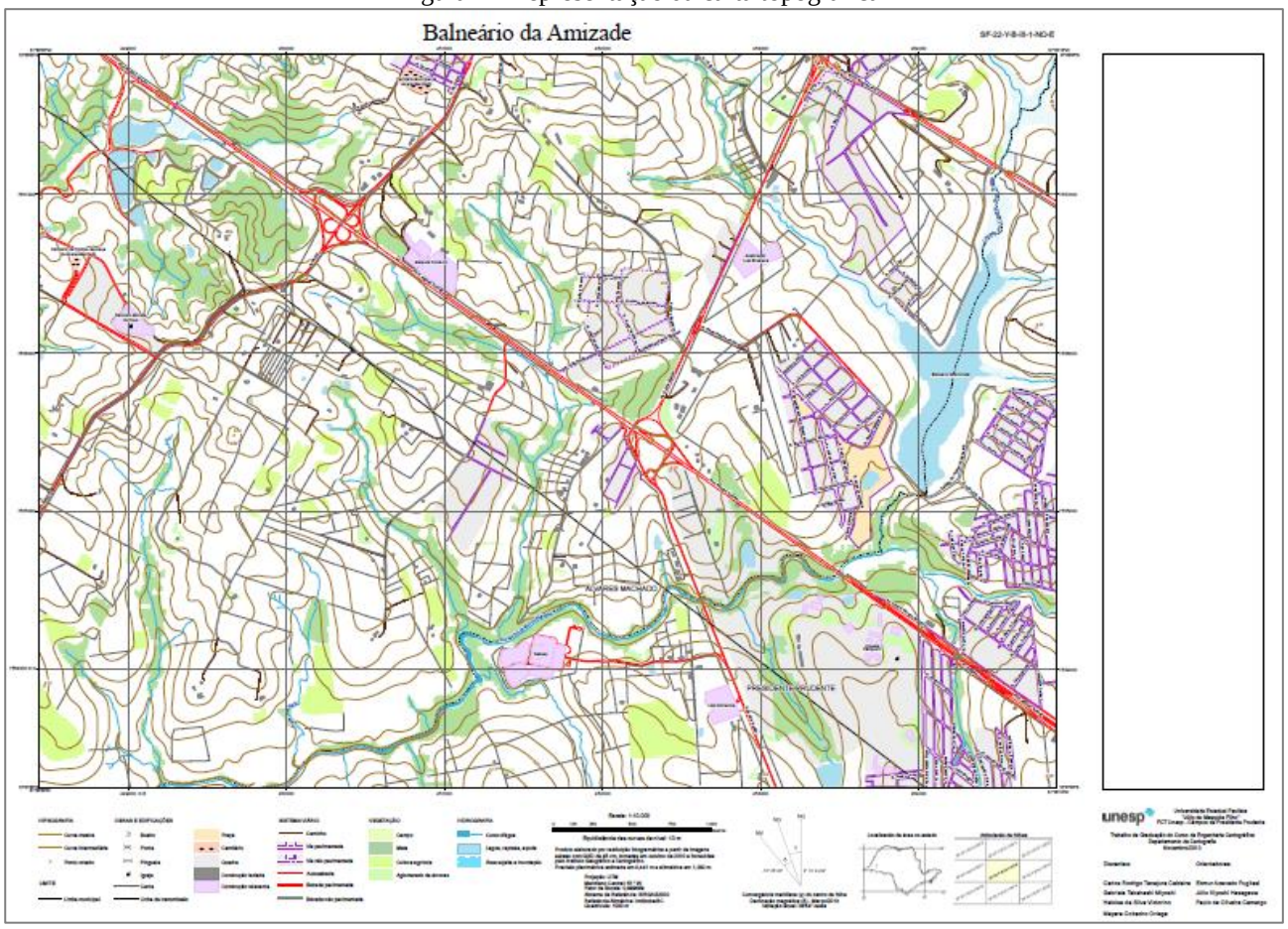
A partir da finalização do banco de dados ficaram disponíveis todas as feições de interesse, devidamente validadas, o que tornou possível a elaboração da carta topográfica, utilizando-se para isso o módulo *ArcMap* do ArcGIS. As feições foram inseridas no *layout* elaborado, ajustando-se parâmetros necessários, como legenda, grade de coordenadas e outras informações relevantes.

Devido ao fato de a projeção UTM apresentar característica conforme, a área de representação das feições foi delimitada pelas coordenadas geodésicas de canto da área de interesse, evitando assim a representação de uma área incompatível com as delimitadas pela CIM.

Para que o produto de escala 1:10.000 seja enquadrado na Classe A, conforme INDE (2011), é necessário que 90% dos pontos de verificação possuam exatidão planimétrica abaixo de 1,70 m. Para que o mesmo produto seja enquadrado na Classe A em altimetria, com equidistância de curvas de nível de 10 m, é necessário que 90% dos pontos de verificação possuam exatidão planimétrica abaixo de 3,33 m (Decreto Brasileiro nº 89.817/84).

O produto final possui precisão relativa de 0,441 m para a planimetria e 1,292 m para a altimetria logo, é enquadrado na Classe A. A Figura 4 ilustra a carta topográfica construída.

Figura 4 - Representação da carta topográfica

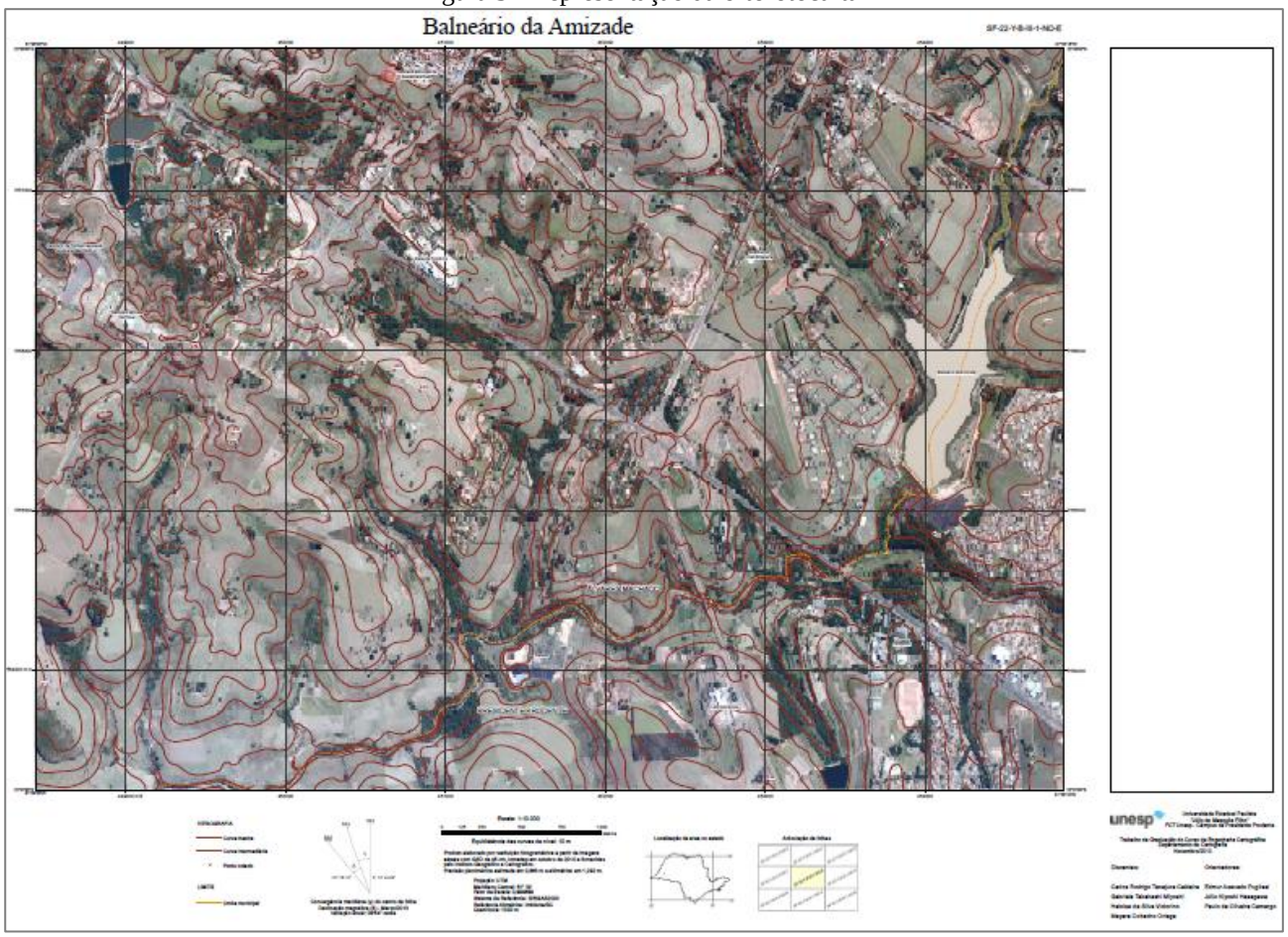


4.2 Ortofotocarta

De modo semelhante à geração da carta topográfica, o mosaico de ortofotos foi inserido no *layout* elaborado no módulo *ArcMap* do ArcGIS e a área de representação e impressão das feições também foi delimitada pelas coordenadas geodésicas de canto da CIM.

O critério de classificação do produto foi o mesmo adotado para a carta topográfica, sendo 1,70 m para a planimetria e, 3,33 m para a altimetria. A Figura 5 ilustra a ortofotocarta construída e sua precisão planimétrica relativa foi de 0,863 m e de 1,292 m para a precisão altimétrica relativa.

Figura 5 - Representação da ortofotocarta



5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve como objetivo a elaboração de produtos cartográficos para a região do Cemitério Japonês de Álvares Machado a partir de imagens aéreas de áreas urbanas e rurais entre os municípios de Presidente Prudente e Álvares Machado, do estado de São Paulo, a partir de processos geodésicos, fotogramétricos e cartográficos.

Para atingir o objetivo, o planejamento de atividades consistiu em uma etapa fundamental para o desenvolvimento das demais, uma vez que considerou os possíveis imprevistos, cronogramas e passos a serem adotados requerendo, entretanto, o monitoramento constante à medida que se cumpriam as etapas.

Houve grande dificuldade na determinação de pontos de apoio fotoidentificáveis na área rural, que ocupa grande parte da região de interesse. As precisões planimétrica e altimétrica alcançadas na fototriangulação foram essenciais para a adequação das etapas seguintes às tolerâncias pré-estabelecidas.

Considerando a pouca experiência dos operadores no processo de estereoscopia para edição do MDT e restituição das feições, estes dois processos foram bastante árduos e duradouros, uma vez que se buscou a melhor qualidade possível para estes produtos, assim como para os resultantes das demais etapas.

O controle de qualidade final, tendo sido preliminarmente executado em cada etapa intermediária, atingiu os parâmetros desejados, podendo, dessa forma, concluir que os produtos finais obtiveram classificação “A” referente ao Padrão de Exatidão Cartográfica da INDE (2011), validando, dessa forma, o conjunto de métodos e procedimentos operacionalizados nas etapas desenvolvidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AETESP (Associação das Empresas de Topografia do Estado de São Paulo). **Composição de preços unitários referenciais de serviços de topografia de acordo com a NBR 13133**. Janeiro/2011.

ANDRADE, J. B. de; **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 258p. 1998.

ARANA, J. M. **Elaboração da carta de ondulação do geóide de Presidente Prudente**. Relatório de Pesquisa Trienal. Departamento de Cartografia FCT/UNESP.Presidente Prudente, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, maio. 1994.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. **O uso do GPS no controle de qualidade de cartas**. In.: COBRAC - 1994, 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Tomo II, p. 41-48, Florianópolis - SC, 1994.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Disponível em:< http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/>. Acesso em: 12 jul. 2013.
MAPGEO2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo _geoidal.shtm>. Acesso em: 14 ago. 2013.

INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária). **Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais.** Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2010.

INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais). **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais**. Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, 2011.

ISM – International Systemap Corp. **The Fundamentals of Digital Photogrammetry**. Vancouver, Canada, 1997.

JOLY, F. A Cartografia. Tradução Tânia Pellegrini. 6. ed. Campinas: Papirus, 2004

KRAUS, K. **Photogrammetry: fundamentals and standard processes**. Bonn: Dummler, 1993, v.1, 291p

ELEN MARTEN DE LIMA, E. M.; THOMAZ, T.A.M; SEVERO, T.C. **Mapeamento Aerofotogramétrico Digital Utilizando Fotografias de Médio Formato.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Do Rio Grande do Sul. Porto Algre, 2010.

MATOS, A. C. O. C.; BLITZKOW D.; GUIMARÃES, G. N; LOBIANCO M. C. B; COSTA, S. M. A. **Validação do MAPGEO2010 e comparação com modelos do geopotencial recentes,** Boletim de Ciências Geodésicas vol.18 no.1 Curitiba Jan./Mar. 2012

MONICO, J. F. G. **Posicionamento por GNSS:**descrição, fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo: UNESP, 2008.

Observatório Nacional. **Declinação Magnética.** Disponível em <http://obsn3.on.br/jlkm/magdec/index.html>. Acesso em 28 de outubro de 2013.

PCI Geomatics. **Comparing Heading, Pitch, Roll with Omega, Phi, Kappa.** Disponível em <http://www.pcigeomatics.com>. Acesso em 02 de setembro de 2013.

SLUTER, C. R. **Uma Abordagem Sistêmica para o Desenvolvimento para o Projeto Cartográfico como Parte do Processo de Comunicação Cartográfica.** UFPR. Curitiba, PR, 2008.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica.** 2004. 181 p. Digitado.

UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). **Cálculo da Convergência Meridiana.**Disponível em <http://www.ufrgs.br/engcart/Teste/conv_mer.php>. Acesso em 28 de outubro de 2013.

WOLF, P. R. **Elements of Photogrammetry with Air Photo Interpretation and Remote Sensing**. Singapore: McGraw-Hill Book Company: 1983. 628p.

EMPREGO DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) NO MONITORAMENTO E CONTROLE DE OBRAS

LEANDRO LUIZ SILVA DE FRANÇA

Diretoria de Serviço Geográfico - DSG
3º Centro de Geoinformação – 3º CGEO, Olinda, PE
franca.leandro@eb.mil.br

RESUMO - Este artigo faz um estudo sobre o estado da arte dos recentes recursos tecnológicos e suas potencialidades de emprego no acompanhamento de obras. Quando esses recursos são utilizados para coletar, armazenar, processar ou analisar dados georreferenciados, então são denominados de geotecnologia. O Sistema de Informações Geográficas (SIG) consiste em um sistema que integra todos esses recursos geotecnológicos. Na indústria de construção, principalmente nas grandes obras de infraestrutura, o uso de técnicas de monitoramento baseados em SIG tem se tornado essencial. As geotecnologias elencadas neste trabalho são: VANT, fotografias georreferenciadas, rastreio GNSS a partir de dispositivos móveis, Banco de Dados Geográficos integrado à *software* de SIG e *Webmapping*. Esses recursos foram levantados devido ao baixo custo de operação e a possibilidade de emprego de *softwares* livres. Para o monitoramento e controle, a coleta de dados geográficos do progresso de uma obra, de forma contínua e em tempo real, possibilita a visualização de discrepâncias entre o que é feito e o que foi planejado, auxiliando a tomada de decisões em ações corretivas quando necessárias. Além disso, a coleta periódica de dados e seu armazenamento permite realizar consultas no registro histórico da obra, análises cronológicas das atividades e, consequentemente, verificação da evolução espaço-temporal da construção.

ABSTRACT - This paper studies the state of the art of recent technological resources and their potential employment in the monitoring of construction works. When these resources are used to collect, store, process or analyze georeferenced data, then they are called geotechnology. The Geographic Information System (GIS) consists of a system that integrates all these geotechnical resources. In the construction industry, especially in major infrastructure works, the use of GIS-based monitoring techniques has become essential. The geotechnologies listed in this work are: UAV, georeferenced photographs, GNSS tracking from mobile devices, Geographic Database integrated to GIS software and Webmapping. These resources were raised due to the low cost of operation and the possibility of using free software. For monitoring and control, continuous and real-time geographic data collection of the progress of a work allows the visualization of discrepancies between what is done and what was planned, helping to make decisions in corrective actions when necessary. In addition, the periodic collection of data and its storage allows queries in the historical record of the work, chronological analysis of the activities and, consequently, verification of the spatial-temporal evolution of the construction.

1 INTRODUÇÃO

Diversos estudos sobre o emprego de novas tecnologias na indústria da construção vêm sendo abordadas na atualidade, podendo ser citadas: *Light Detection and Ranging* (LiDAR), processamento de imagens, *Building Information Modeling* (BIM), *Machine Learning*, *Global Navigation Satellite System* (GNSS), Sistema de Informações Geográficas (SIG), *Radio Frequency Identification* (RFID), Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), *Wireless Network*, Modelagem 3D, robótica, realidade virtual e realidade aumentada (ASNAFI, 2016; OLIVEIRA & SERRA, 2017; ANTUNES & POSHDAR, 2018).

Quando essas tecnologias são utilizadas para coleta, armazenamento, processamento, análise e disponibilização de informação com referência geográfica, elas são denominadas de geotecnologias (ROSA, 2005).

Segundo Rosa (2005) as geotecnologias já são empregadas na gestão municipal, meio ambiente, planejamento estratégico de negócios, agronegócios e prestação de serviços públicos (saneamento, energia elétrica, telecomunicações, etc.). Swann (1999) também aborda a importância em aplicações militares.

Recentemente as potencialidades de emprego de geotecnologias na construção civil tem ganhado relevância (GIUDICE et al., 2014), muito embora venham sendo empregadas de forma pouco eficiente. Segundo Antunes & Poshdar (2018), a indústria de construção ocupa a última posição em produtividade. Eles apontam como motivos a demora em

adotar as recentes inovações, o pouco rigor e consistência nos processos de execução, a pouca transferência de conhecimento de um projeto para outro, o fraco monitoramento, a pouca cooperação entre funções, a baixa colaboração entre fornecedores, a cultura conservadora das empresas, a deficiência de jovens talentos e capacitação de pessoal.

De acordo com Slade (2017), o monitoramento é considerado como um dos elementos chaves para o sucesso de um projeto de construção. A avaliação contínua e rigorosa do progresso de uma obra possibilita a chance de visualizar as discrepâncias entre o que é feito e o que foi planejado, apoiando o gerente do projeto na tomada decisão quando for necessário ações corretivas (ASNAFI & DASTGHEIBIFARD, 2018).

Antunes & Poshdar (2018) afirmam que os sistemas de monitoramento como, por exemplo, dados em tempo real vindo de dispositivos remotos (sensores e câmeras) funcionam bem em fábricas, entretanto, o emprego em construção é mínimo e limitado a equipamentos isolados devido à grande mobilidade dos elementos envolvidos.

Uma tecnologia que vem se destacando na indústria da construção é o *Building Information Modelling* (BIM), a qual modela e integra em um ambiente virtual 3D todas as informações do projeto possibilitando uma melhor transição do desenho para a construção (Magalhães et. al., 2018). Quando há a integração do modelo 3D BIM com tempo e cronograma, conectando cada parte com as respectivas tarefas, seus relacionamentos e sequências (progressão no tempo) na fase de planejamento, o modelo é classificado como 4D BIM (Asnafi, 2016; Slade, 2017; Magalhães et. al., 2018).

Segundo Hamed (2015), o emprego do 4D BIM possibilita o melhor controle e detecção de problemas, além de auxiliar nos complexos replanejamentos que ocorrem durante o curso de um projeto de construção. O 4D BIM também serve de ferramenta para a visualização de informações de status da construção, bem como de apoio a comunicação entre várias tarefas relacionadas. Os benefícios do 4D são, portanto, a otimização do planejamento e coordenação das equipes.

Entretanto, para obras de grande vulto como por exemplo de infraestrutura, o BIM necessita ser complementado com informações geoespaciais (ZHU et. al., 2018), possibilitando realizar análises baseadas no espaço físico (ambiente exterior) onde a construção será localizada (LIU et. al., 2017). Além disso, o desenho georreferenciado do que será construído vem sendo uma demanda comum, tendo papel importante na seleção de localização, avaliação de impactos e tomada de decisões em um projeto (SHIMONTI, 2018).

2 SIG PARA CONTROLE DE OBRAS

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) é compreendido como a integração de programas, equipamentos, metodologias, dados e pessoas aplicados a coleta, armazenamento, processamento e análise de dados georreferenciados (TEIXEIRA et. al., 1995), destinados à produção de geoinformação.

Na indústria da construção, o SIG amplia o valor do BIM, pois possibilitam que os envolvidos no ciclo de vida do projeto se tornem espacialmente mais eficientes através da fácil localização dos elementos em mapas. Além disso, a integração do BIM e SIG com os dados de tempo (4D BIM) permite um melhor entendimento espacial dos impactos de decisões antes, durante e depois a execução da construção (SHIMONTI, 2018).

O SIG é adequado a análises espaciais baseadas nos relacionamentos funcionais do projeto com o espaço físico do meio-ambiente exterior em escalas adequadas a grandes áreas. Entretanto, é compreensível perdas em detalhes nas informações da construção originadas dos repositórios digitais (LIU et al., 2017).

BIM e SIG originaram-se de diferentes vertentes. O primeiro veio da arquitetura e engenharias relacionadas à construção, já o segundo veio das disciplinas relativas às geociências. Sendo um mais focado no detalhamento de modelagem 3D dos elementos da construção (estrutura, materiais, aparência, etc.) e outro mais dedicado ao gerenciamento e análise de dados geoespaciais (ZHU et. al., 2018).

Outra diferença entre BIM e SIG é o sistema de coordenadas. O BIM usualmente utiliza sistema de coordenadas local, já o SIG considera a curvatura da Terra tomando sistemas de coordenadas geodésicos, muito comuns para modelos regionais ou maiores.

Os SIG são mais focados em dados planimétricos (2D) e suas capacidades altimétricas são limitadas se comparados ou uso do BIM, entretanto análises baseadas em medições no terreno como, por exemplo, a distância do fornecedor de material até a obra, são calculados mais facilmente em um ambiente de SIG (ZHU, 2018).

Ademais, os dados da evolução espaço-temporal de uma obra podem ser armazenados através de um SIG, detalhando informações do projeto relativos ao cronograma e, até mesmo, aos custos, de modo similar ao BIM.

Este trabalho, portanto, sugere uma estrutura de processos de SIG que, endereçados ao monitoramento e controle de produção nas obras, permitem o compartilhamento de informações em tempo real que otimizam o gerenciamento de projetos de engenharia.

3 RECURSOS DE SIG PARA ACOMPANHAMENTO DE OBRAS

No início das atividades de construção, o trabalho de topografia é essencial para a correta locação da obra. Procedimento de controle dimensional e geométrico garantem que as estruturas sejam corretamente locadas de acordo com o planejamento do projeto (SILVA & SEIXAS, 2016).

O levantamento topográfico possibilita também a coleta de coordenadas tridimensionais de pontos de controle, sejam eles marcos geodésicos pré-sinalizados ou pontos de apoio naturais visíveis nas imagens (interseção de cercas e muros, mourões, etc.) (LEMES et al., 2016).

Os pontos de controle garantem o correto georreferenciamento das imagens aéreas que serão geradas no acompanhamento da obra, além de atestar por métodos estatísticos (acurácia e precisão) a qualidade posicional dos produtos geoespaciais.

Silva & Seixas (2016) e Lemes et al. (2016) recomendam para obtenção dos pontos de controle o método relativo estático com receptores GNSS multifrequência, sendo o tempo de rastreio determinado pela linha de base (distâncias entre o par de receptores).

De porte dos dados de locação da obra, bem como dos pontos de controle, o emprego sistemático das seguintes geotecnologias: Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), fotografias georreferenciadas, rastreio GNSS de dispositivos móveis, Bancos de Dados Geográficos integrado a *software* de SIG e Webmapping, permitem acompanhar detalhadamente a evolução espaço-temporal da obra, possibilitando rápidas diagnoses e predições no gerenciamento do projeto (FRANÇA et al., 2017).

3.1 Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs)

O VANT (Figura 1) é também denominado de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e Departamento de Controle de Espaço Aéreo (DECEA), entretanto o termo Drone é comercialmente mais comum (BARROS et. al., 2017).

Figura 1: Exemplos de VANT (drone)

O VANT é um recurso tecnológico de baixo custo operacional que possibilita obter produtos de alta resolução espacial e temporal (NIEMANN, 2017) para monitorar as mudanças no ambiente de construção. Dentre os diversos produtos cartográficos oriundos de aerofotogrametria com drones, destacam-se o Modelo Digital do Terreno (MDT), Modelo Digital de Superfície (MDS), ortoimagens e nuvem de pontos.

Na indústria de construção, o mapeamento com drones fornece grande vantagem no monitoramento do progresso de obras, avaliação de danos, levantamento topográfico, verificação de segurança e modelagem 3D (ASNAFI & DASTGHEIBIFARD, 2018; ASNAFI, 2016).

A tecnologia de imageamento por VANT permite a criação de modelos 3D de superfícies a partir de várias imagens de alta resolução tomadas por diversos ângulos. Esses modelos podem ser aplicados em medições topográficas de distância, área e volume, bem como monitorar a variação dessas medições com transcorrer do tempo.

O emprego de VANTs podem contribuir na segurança do canteiro de obras, considerado por Asnafi e Dastgheibifard (2018) como o lugar de trabalho mais arriscado no mundo. Drones podem voar sobre o ambiente de construção coletando imagens e vídeos em tempo real de diferentes pontos de vista, incluindo os pontos cegos e, consequentemente, identificando condições perigosas antes que acidentes aconteçam (ASNAFI & DASTGHEIBIFARD, 2018).

Até mesmo em condições de desastres, o drone pode ser empregado na detecção de edificações avariadas e reconhecimento do local de acidente, auxiliando no planejamento de resgate das vítimas.

3.2 Fotografias Georreferenciadas

Recentemente o registro fotográfico ganhou um significado mais abrangente. Os sistemas de câmeras digitais vêm seguido o padrão *EXchangeable Image File Format* (EXIF) para armazenamento de seus metadados. O EXIF é amplamente suportado nos formatos JPEG e TIFF de acordo com o padrão internacional para câmeras digitais (JIAYUAN et al., 2011).

O EXIF pode armazenar dados sobre a câmera, configurações e situação espaço-temporal no momento de aquisição da foto. A Tabela 1 apresenta os principais metadados (*tags*) de uma fotografia.

Tabela 1: Principais metadados (*tags*) do EXIF.

Descrição e Origem	**Imagem**	**Câmera**	**Foto Avançada**	**GPS**	**Arquivo**
Título	Dimensões	Fabricante	Fabricante da lente	Latitude	Nome
Assunto	Largura	Modelo	Modelo da lente	Longitude	Tipo
Autor	Altura	Tempo de exposição	Fabricante do flash	Altitude	Caminho da pasta
Tirada em	Resolução	Velocidade ISO	Número de série	Azimute	Data de criação
Data de Aquisição	Intensidade de bits	Distância focal	Zoom digital		Data de modificação
Direitos autorais	Compactação	Modo do flash	Versão de EXIF		Tamanho
	Representação de cores				Proprietário

Para que a fotografia armazene as informações de posicionamento (X, Y, Z) e ângulos de atitude da câmera (*pitch, yaw, roll*), o equipamento fotográfico deve ser munido de receptor GNSS e Sistema de Navegação Inercial (INS), contanto com acelerômetro, giroscópio, bússola e barômetro, características comuns aos dispositivos móveis de comunicação comercializados atualmente.

A Figura 2 mostra a tela (*screenshot*) do aplicativo para Android chamado GeoS Camera a partir de um *smartphone*. Nela é possível identificar as coordenadas (latitude, longitude, altura elipsoidal) e os ângulos de atitude da câmera no momento de captura da foto.

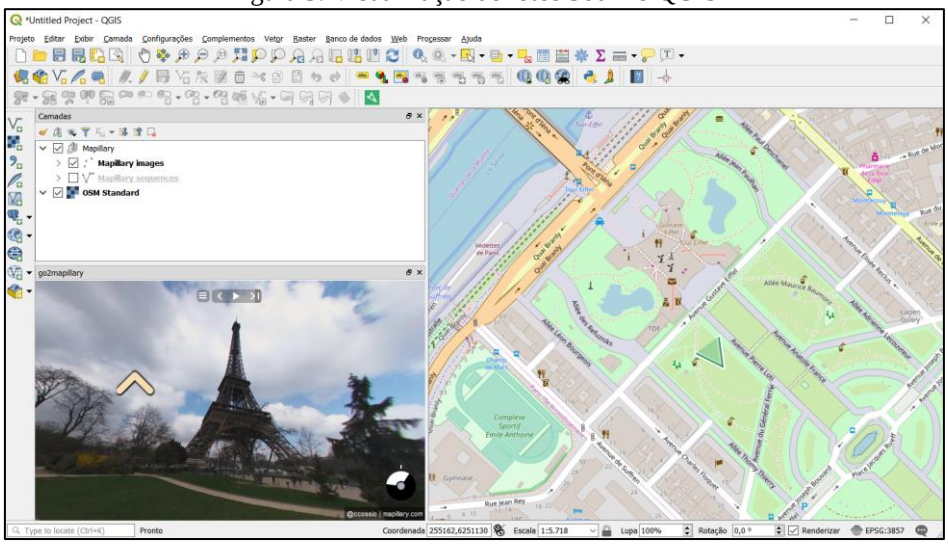
Figura 2: Informações de posicionamento e ângulos de atitude de uma fotografia adquirida por dispositivo móvel

Fonte: Autor

Outro tipo de recurso que pode ser empregado na indústria de construção é a foto 360 graus (também denominada de fotografia esférica) (DIGPIX PRO, 2018). A foto 360° corresponde à cena completa (onidirecional) preferencialmente obtida a partir de uma única captura, possibilitando que todo o ambiente seja visualizado quando interativamente rotacionado em torno de um ponto central.

Embora esta tecnologia esteja sendo bastante usada para vendas imobiliárias (DIGPIX PRO, 2018), ela também pode ser explorada no acompanhamento de obras. Essas fotos podem ser visualizadas de maneira georreferenciada em *softwares* de SIG como, por exemplo, o QGIS (Figura 3) ou aplicações web como o Google Street View.

Figura 3: Visualização de fotos 360º no QGIS



Fonte: Autor

3.3 Rastreio GNSS a partir de dispositivos móveis

O rastreamento e a coleta de dados sobre os equipamentos ao longo da cadeia produtiva da construção é um trabalho desafiador. Os métodos usuais são baseados em anotações manuais em papel (OLIVEIRA & SERRA, 2017). Cita-se como problemas no monitoramento o extravio de componentes e materiais, o descontrole na manutenção e a ineficiência logística.

O monitoramento de localização dos equipamentos e dos trabalhadores de forma dinâmica e em tempo real pode garantir maior eficiência no controle dos recursos. Além disso, quando os dados de rastreio são armazenados, o seu registro histórico pode ser analisado para tomada de decisões no controle da produção.

Os modernos dispositivos móveis de comunicação (*smartphones*, *tablets*, entre outros) conseguem rastrear os deslocamentos e compartilhá-los através de arquivos em formatos abertos como o *GPS Exchange Format* (GPX). Neste tipo de arquivo cada percurso é armazenado em um *track*, uma linha constituída de *track points*.

Os *track points* armazenam os dados de localização (latitude, longitude e altura elipsoidal) e tempo (data e hora em GMT). A partir desses dados é possível extrair diversas informações como a velocidade instantânea, velocidade média, declividades, áreas de atuação, tempo parado e horários de deslocamento.

A Figura 4 apresenta um mapa das velocidades de um veículo transitando em área rural. As maiores velocidades possuem coloração tendendo ao vermelho, já as menores velocidades são representados pelo verde mais forte.

Figura 4: Monitoramento de velocidade com dados de rastreio

Fonte: Autor

Segundo Oliveira & Serra (2017), a combinação das tecnologias avançadas de posicionamento GPS com redes de sensores inteligentes RFID, tecnologia que considera a utilização de um dispositivo eletrônico via radiofrequência e

variação do campo magnético para a transmissão de dados por meio de comunicação sem fio, potencializa a capacidade de gestão e controle da obra, principalmente no aspecto de segurança dos trabalhadores.

3.4 Banco de Dados Geográficos

Um Banco de Dados Geográfico (BDGeo) consiste em um repositório de dados sobre o espaço geográfico (FRANÇA, 2018). O BDGeo diferencia-se de um banco de dados comum por armazenar dados geográficos vetoriais e matriciais, além de possibilitar operações de consulta espacial e geoprocessamento.

O *software* responsável pelo funcionamento de um banco de dados é chamado de Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD), sendo alguns exemplos: PostgreSQL, MySQL, Oracle e Access.

No caso do PostgreSQL, a extensão espacial PostGIS permite que os objetos de SIG sejam armazenados, consultados e processados em um BDGeo. Sua eficiência é aumentada quando utilizado a indexação espacial (GiST e R-Tree).

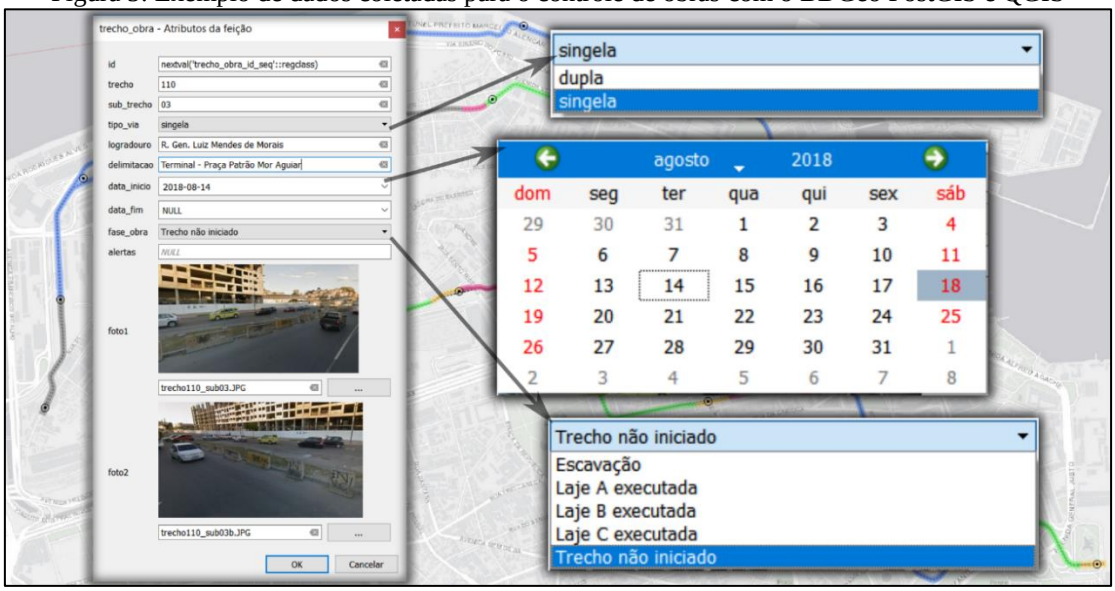
A vantagem na utilização de um BDGeo no controle de obras é a adoção de um modelo padronizado (descrição detalhada de como os dados são armazenados), garantindo a interoperabilidade entre os produtores e usuários de geoinformação e racionalizando os recursos relacionados à construção.

Na indústria da construção, muitos controles ainda são realizados de forma manual registrados em papel ou planilhas. Além disso os registros fotográficos e dados geoespaciais são normalmente desorganizados, carecendo de técnicas de processamento que possam lidar eficientemente com esses dados (SLADE, 2017).

Nesse contexto, o BDGeo, aliado às tecnologias de coleta de dados, torna possível o controle dos processos de construção de acordo com o que foi planejado, permitindo a identificação de erros e rápida correção, do ponto de vista que as informações geradas são periódicas, confiáveis e atuais (tempo real).

A Figura 5 apresenta uma situação de dados coletados para um trecho de obra na construção das linhas da rede do Veículo Longo sobre Trilhos (VLT) no Rio de Janeiro (SLADE, 2017). Dentre os dados, constam a identificação do trecho e subtrecho, data inicial e final, endereço, delimitações, tipo de via, fase da obra, alertas e fotografias. A interface de obtenção dos dados corresponde ao *software* de SIG, QGIS 2.18.

Figura 5: Exemplo de dados coletadas para o controle de obras com o BDGeo PostGIS e QGIS



Fonte: Autor

3.5 *Software* de SIG

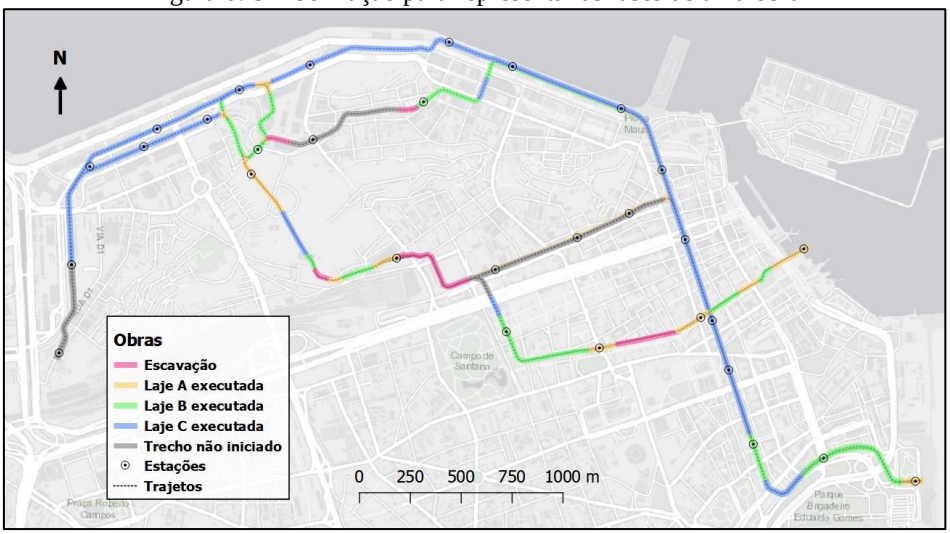
O *software* de SIG é uma ferramenta para a visualização e manipulação dos diversos tipos de dados geoespaciais com o objetivo de se extrair informações geográficas através de operações de geoprocessamento ou medição. Dentre os diversos *softwares* de SIG da atualidade, destaca-se o QGIS, um *software* livre e de código aberto que funciona nos principais sistemas operacionais.

O QGIS possibilita a visualização e conversão entre diferentes formatos de dados geoespaciais e possui diversas soluções automáticas para geração de documentação relativas a área do projeto (plantas, memoriais descritivos, inventários, etc.). Servindo também de base para o planejamento e orçamentação da obra.

No QGIS, o emprego de estilos (simbolização e rotulação) possibilitam a fácil visualização das fases da obra através de mapas, explorando todos os dados de cada trecho ou parcela de execução da construção (datas, fotos, alertas, endereços, descrições, delimitações e últimas ações realizadas).

A Figura 6 apresenta o exemplo de um mapa produzido no QGIS para representar as fases em cada trecho e acompanhamento geral das obras do VLT (SLADE, 2017).

Figura 6: Simbolização para representar as fases de uma obra



Fonte: Autor

3.6 Webmapping

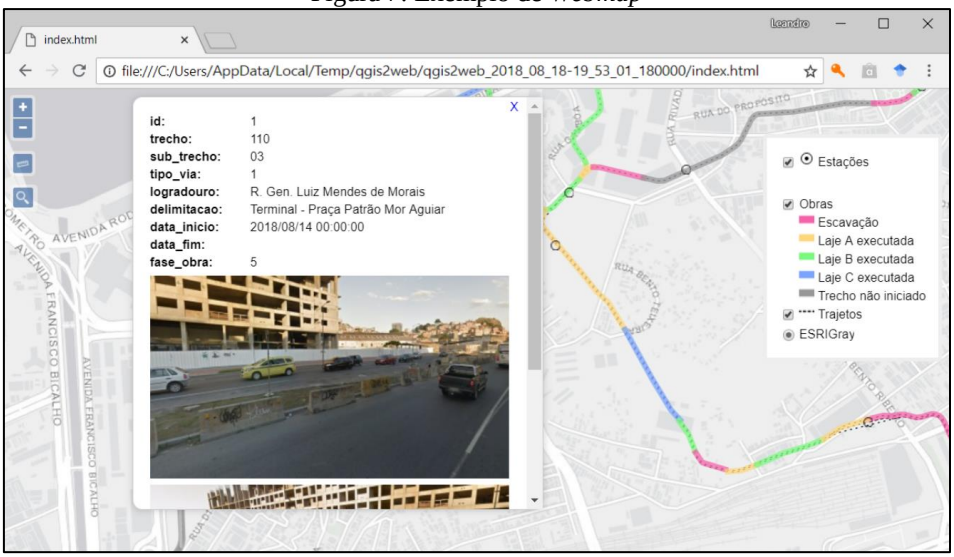
A divulgação de mapas interativos com dados de SIG através da internet é conhecido como *webmapping*. A interação entre usuário e mapa se dá, na maioria dos casos, através de ferramentas de visualização, como movimentação, zoom, definição das camadas que serão apresentadas, consultas a atributos da base de dados, entre outras (MATTA et al., 2017).

O *Webmapping* pode ser empregado em obras fornecendo aos usuários do sistema o estado mais atualizado da construção e o progresso do projeto. O controle é realizado em tempo real e as decisões gerenciais são tomadas de forma imediata por meio de monitoramento remoto.

A partir das ferramentas de um *Webmap* é possível executar diversas análises, utilizando recursos de gerenciamento utilizando os vários tipos de representações gráficas dos resultados.

A Figura 7 apresenta um *Webmap* para visualização dos dados coletados (Figura 5) de forma iterativa através da internet.

Figura 7: Exemplo de *Webmap*



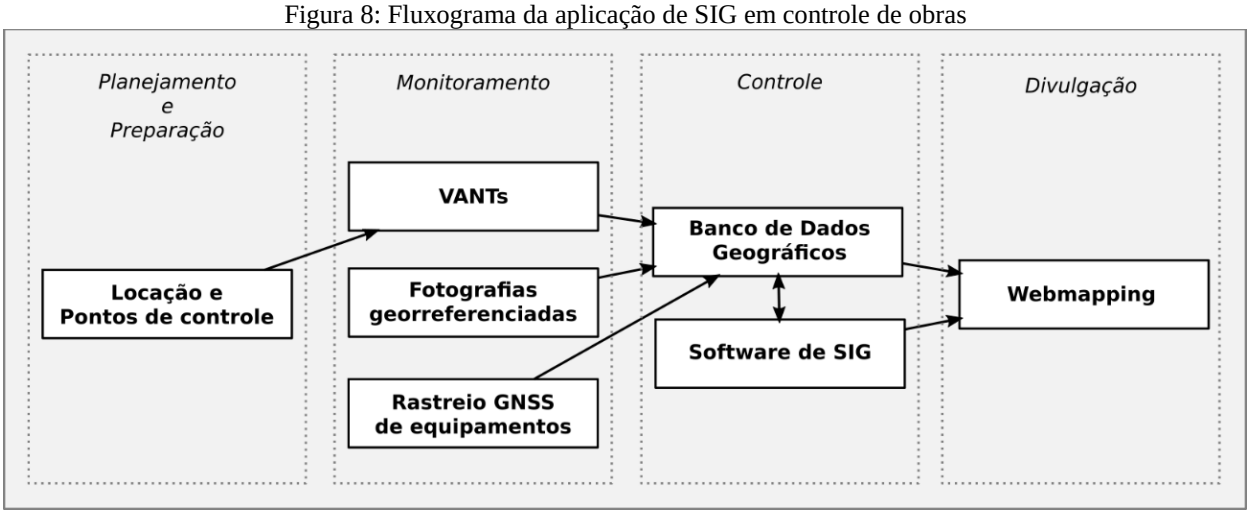
Fonte: Autor

O compartilhamento de mapas e dados geoespaciais através da internet pode ser realizado através do GeoServer, um *software* servidor livre e de código aberto com grande flexibilidade e segurança para criação de mapas e compartilhamento de dados (GEOSERVER, 2014).

4 INTEGRAÇÃO DAS GEOTECNOLOGIAS

A Figura 8 apresenta uma proposta de fluxograma de emprego dos recursos de SIG aplicados diretamente a o controle e monitoramento em obras de engenharia.

Figura 8: Fluxograma da aplicação de SIG em controle de obras



Fonte: Autor

As atividades se iniciam com a locação e coleta de pontos de controle com técnicas precisas de topografia na área da obra. Em seguida o monitoramento com VANTs e fotografias georreferenciadas em campo são realizados em intervalos determinados, sendo o rastreio GNSS de equipamentos e outros veículos realizado de forma mais constante (pelo menos diariamente), devido, principalmente, aos custos associados ao consumo de combustível e as manutenções programadas.

Esses dados são alimentados em um BDGeo, sendo os seus metadados armazenados automaticamente em tabelas que registrem o histórico de cada atividade. Com os dados coletados, o *software* de SIG permite o preparo de mapas de visualização de acordo com as necessidades do projeto.

O emprego do webmapping permite que os envolvidos no projeto e seus patrocinadores acompanhem o andamento da obra sem a necessidade de estar in loco, realizando consultas sobre as geoinformações geradas e, consequentemente, auxiliando no gerenciamento dos trabalhos de forma mais eficiente.

5 CONCLUSÃO

Embora existam várias tecnologias que possam ser empregadas na indústria da construção, a sua aplicação de forma eficiente ainda é rara (ANTUNES & POSHDAR, 2018). Slade (2017) comenta que os métodos de coleta de dados são dispendiosos, tanto em termos de tempo quanto de custos, por isso, o registro de dados recebem pouca importância, principalmente aqueles obtidos em tempo real.

No entanto, o monitoramento sistemático do progresso da obra através da rápida identificação e visualização das discrepâncias do progresso entre o que é feito e o que foi planejado é de suma importância para o sucesso no gerenciamento do projeto (SLADE, 2017).

Nesse contexto, o SIG apresenta várias aplicações para o acompanhamento geográfico de grandes obras, contando atualmente com recursos de baixo custo baseados em *softwares* livres que podem ser empregados na automação do monitoramento e controle da produção.

Além disso, a coleta periódica de dados e seu armazenamento em BDGeo possibilita realizar consultas no registro histórico da obra, análises cronológicas das atividades (ANTUNES & POSHDAR) e, consequentemente, verificação da evolução espaço-temporal da construção (FRANÇA et al., 2017).

REFERÊNCIAS

ANTUNES, R.; POSHDAR, M. Envision of an Integrated Information System for Project-Driven Production in Construction. In: **Proc. 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction** (IGLC), Chennai, India, pp. 134–143. 2018.

ASNAFI, Mahsa. **3D/4D BIM-Based Hazard Identification, Safety Regulations and Safety Monitoring of Construction Projects in Pre-construction and Construction Phases**. 2016. Dissertação de Mestrado. Eastern Mediterranean University (EMU)-Doğu Akdeniz Üniversitesi (DAÜ).

ASNAFI, Mahsa; DASTGHEIBIFARD, Soroush. A Review on Potential Applications of Unmanned Aerial Vehicle for Construction Industry. **Sustainable Structures and Materials, An International Journal**, v. 1, n. 2, p. 44-53, 2018.

BARROS, E. R. O., MAFRA FILHO, F. H. M. G., ANDRADE, M. D. O., & SATO, S. S. As potencialidades e limitações do uso do VANT no monitoramento de faixas de domínio de rodovias federais. **Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Exposicarta**. SBC, Rio de Janeiro - RJ, p. 1102-1106. 2017.

DIGPIX PRO. **Fotografia 360 graus: saiba tudo sobre a tendência**. 2018. Disponível em: < http://blog.digipixpro.com.br/2018/02/06/tudo-sobre-fotografia-360-graus/ >. Acesso em: 15 de agosto de 2018.

FRANÇA, Leandro Luiz Silva; FERREIRA DA SILVA, Luiz Felipe Coutinho Ferreira; SILVA, Wagner Barreto. Mapping of the spatial-temporal change for vegetation canopy in rough relief areas. **Brazilian Journal of Geomatics**, v. 5, n. 3, p. 343-360, 2017.

FRANÇA, Leandro Luiz Silva. **QGIS: Teoria e Prática**. Udemy. 2018. Disponível em: < https://www.udemy.com/curso-basico-de-qgis >. Acesso em: 16 de agosto de 2018.

GEOSERVER. **What is Geoserver?** Open Geospatial Foundation. 2014. Disponível em: < http://geoserver.org/about/ > Acesso em: 16 de agosto de 2018.

GIUDICE, M.; OSELLO, A.; PATTI, E. BIM and GIS for district modeling. In: **ECPPM 2014 Conference, Vienna**. 2014.

HAMED, Luciano. **BIM do 3D ao 7D**. HASHTAGBIM. Disponível em: < https://hashtagbim.wordpress.com/2015/10/12/bim-do-3d-ao-7d/ > . Acesso em: 10 de agosto de 2018. Out. 2015.

JIAYUAN, Fan; HONG, Cao; FAROOK, Sattar. Modeling the EXIF-image correlation for image manipulation detection. In: **IEEE International Conference on Image processing**. 2011. p. 1945-1948.

LEMES, I. R., AMORIM, A., GALO, M., OLIVEIRA CAMARGO, P. Influência do uso de pontos pré-sinalizados na qualidade de ortofotos geradas por imagens obtidas por RPAS. **Anais do COBRAC 2016** – Florianópolis. 2016.

LIU, X., WANG, X., WRIGHT, G., CHENG, J. C., LI, X., LIU, R. A state-of-the-art review on the integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS). **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 6, n. 2, p. 53, 2017.

MATTA, J. P. A.; CUNHA, M. M.; SILVA, P. L.; SANTOS, A. P. Desenvolvmento de um webmap, através de softwre livre, para disponibilização da base cartográfica do campus Viçosa da Universidade Federal de Viçosa. **Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Exposicarta**. SBC, Rio de Janeiro - RJ, p. 1201-1205. 2017.

NIEMANN, R. S., GROHMANN, C. H., MORELLATO, L. P. C., SILVA, T. S. F. Métodos para filtragem e geração de modelos digitais de terreno a partir de imagens obtidas por veículos aéreos não tripulados. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** - SBSR. 2017

OLIVEIRA, Victor Hugo Mazon; SERRA, Sheyla Mara Baptista. Controle de obras por RFID: sistema de monitoramento e controle para equipamentos de segurança no canteiro de obras. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 4, p. 61-77, 2017.

ROSA, Roberto. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81-90, 2005.

SILVA, G. P.; SEIXAS, A. de. Abordagem Geodésica/Topográfica para a Definição do Sistema de Referência para a Locação de Edificações Prediais. **V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife. 2014.

SLADE, Maria Fernanda Nunes. **Monitoramento de obras utilizando um SIG: Construção do VLT no Rio de Janeiro**. 2017. Tese de Doutorado. PUC-Rio.

SWANN, David. Military applications of GIS. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 2, n. 2, p. 889-899, 1999.

SHIMONTI, Paul. **BIM vs GIS or BIM and GIS – Why are we still in doubt?** 2018. Disponível em: <https://www.geospatialworld.net/blogs/bim-vs-gis-or-bim-and-gis/ >. Acesso em: 10 de agosto de 2018.

TEIXEIRA, A., MATIAS, L., NOAL, R., & Moretti, E. Qual a melhor definição de SIG. **Fator GIS**, v. 3, n. 11, p. 20-24, 1995.

ZHU, Junxiang et al. A critical review of the integration of geographic information system and building information modelling at the data level. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 7, n. 2, p. 66, 2018.

ESTUDO DAS FERRAMENTAS LIVRES PARA A DISPONIBILIZAÇÃO DOS DADOS GEOGRÁFICOS NA WEB PARA O MUNICÍPIO DE CAMARAGIBE

SYLVIA IZABELLA SANTOS VASCONCELOS [1]
CEZARIO DE OLIVEIRA LIMA JUNIOR [2]

[1] Engenheira Cartografa
sylvia.vasconcelos@gmail.com

[2] Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
cezario5@yahoo.com.br

RESUMO – O presente trabalho tem como objetivo principal, fazer um estudo das ferramentas livres de geotecnologia para que possibilite a publicação dos dados cadastrais de prefeituras de pequeno e médio porte na internet, com estudo de caso no município de Camaragibe. De modo geral as ferramentas utilizadas estão disponíveis de forma gratuitas na internet, sendo necessário, entretanto, um estudo das linguagens de programação como HTML e JavaScript para auxiliar na utilização dessas ferramentas. Na metodologia foi efetuada uma revisão bibliográfica sobre o Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM), sobre a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), sobre o OpenLayers 3, HTML (Hyper Text Maekup Language) bem como do JavaScript. Dando prosseguimento ao trabalho, mostrar-se-á a instalação dos softwares livres MapServer, Quantum Gis e Notepad++. O site gerado apresenta os arquivos shapefile devidamente tratados, com duas opções de mapas base, mais imagens de satélite da Bing Maps. No mapa é possível fazer pesquisas por endereços, ter informações a cerca de dados presentes na tabela do arquivo shapefile, apresenta ainda coordenadas geográficas, geolocalizador e escala gráfica.

ABSTRACT – This academic work aims to make a study of free geospatial tools to make it possible the online publication of registered data of small to medium-size cities, based on the case study of the city of Camaragibe. The tools used are broadly available on the internet for free. However, it's necessary to learn some programming languages such as HTML and JavaScript to use those tools properly. The methodology brings a bibliographic review about the Multipurpose Land Register (CTM), the Spatial Data National Infrastructure (INDE), the OpenLayers 3, HTML (Hyper Text Markup Language) and JavaScript. Further in this work, will be present the installation process of the following free applications: MapServer, Quantum Gis and Notepad++. The generated website shows the shapefile files properly built, with two base map options and satellite images from Bing Maps. It's possible to search by address and obtain information about the results from the shapefile files table. It will also offer geographic coordinates, geolocalization and graphic scale.

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo principal, fazer um estudo das ferramentas livres de geotecnologia para auxílio na divulgação online dos dados cadastrais, pelas prefeituras de pequeno e médio porte. A escolha do município de Camaragibe, localizado na Região Metropolitana do Recife, deveu-se a disponibilidade de dados para exemplificar o Estudo das Ferramentas de Geotecnologias Livres para o Cadastro Multifinalitário, objeto de nossa pesquisa.

O Cadastro Territorial é tratado, em muitos municípios, apenas de modo fiscal. Em muitos casos a base cartográfica do município é desatualizada, se restringindo muitas vezes a meios analógicos dificultando assim, a tomada de decisões na gestão municipal. Com o crescimento desordenado que ocorre em muitas localidades brasileiras, a falta de uma base cadastral que tenha atualizações constantes, dificulta o gerenciamento dessas cidades prejudicando, inclusive, a arrecadação municipal.

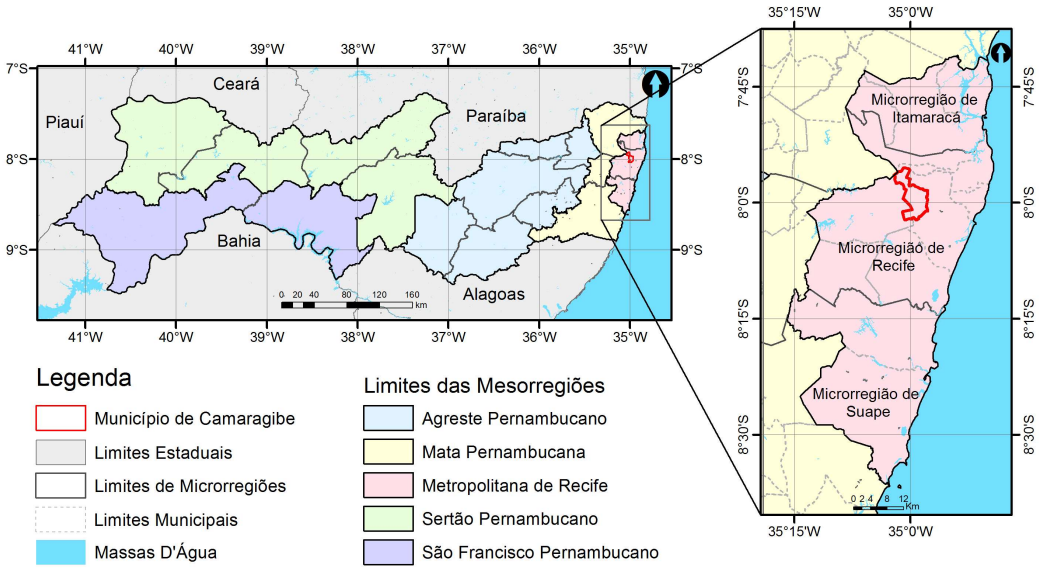
Faz parte também dos objetivos, auxiliar a integração dos dados cadastrais das prefeituras de pequeno e médio porte, através da disponibilização na web, usando softwares gratuitos, permitindo aos usuários maior acesso aos dados cadastrais de seu município.

De modo geral as ferramentas utilizadas estão disponíveis de forma gratuitas na internet, sendo necessário, entretanto, um estudo das linguagens de programação como HTML e JavaScript para auxiliar na utilização dessas ferramentas.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho tomou como parâmetro a natureza das atividades a serem desempenhadas, o estudo foi dividido em etapas: trabalho de gabinete onde foi efetuado uma revisão bibliográfica sobre o Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM), sobre a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), sobre o OpenLayers 3, HTML (Hyper Text Maekup Language) bem como do JavaScript.

A área de trabalho é Camaragibe um município brasileiro do estado de Pernambuco e encontra-se na Mesorregião Metropolitana do Recife e na Microrregião de Recife (Figura 1). Fazem divisa com Camaragibe, na porção norte, os municípios de Paulista e Paudalho, a cidade do Recife nas porções sul e leste, e nas porções sul e oeste o município de São Lourenço da Mata. Camaragibe possui uma área de unidade territorial igual a 51,257 km². A distância linear entre as sedes dos municípios de Recife e Camaragibe é de cerca de 11km.



Sistema de Referência: SIRGAS2000
Elipsóide: GRS80
Parâmetros: 6.378.137,00 m e 1/298,25
Sistema de projeção: Coordenadas Geográficas (lat, long)
Fonte: IBGE, 2015
Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2015/Shapefile/>
Acesso em: 15/06/2016

A Figura 1 – Mapa de Localização do Município de Camaragibe na Mesorregião e Microrregião Pernambucana

3. MATERIAIS E SOFTWARES UTILIZADOS

Todos os softwares utilizados para a construção do site são do tipo Open Source ou softwares grátis. Não é do escopo desse trabalho a aprendizagem do funcionamento de todos esses programas. O que será visto aqui é o processo de cada um deles e será explicado o funcionamento das ferramentas necessárias para a disponibilização dos dados geográficos na web.

3.1 Mapserver e Instalação do pacote MS4W

O MapServer é um projeto Open Source popular que tem por propósito apresentar na internet mapas dinâmicos.

Para que o usuário possa desenvolver aplicações webmapping no ambiente Windows, se faz necessária a instalação do pacote do MapServer para Windows (MS4W), a fim de transformar o computador em um servidor web (apenas local). O que é uma grande vantagem, uma vez que a instalação desse pacote deixará o computador pré-configurado com todas as dependências do MapServer já em funcionamento, o que inclui o PHP, Apache, além das bibliotecas Proj4, DDAL e OGR. O passo a passo dessa instalação está descrito a seguir:

- 1º Passo: Fazer o download do arquivo executável do MS4W na página indicada: http://www.ms4w.com/download.html#download (Figura 2);

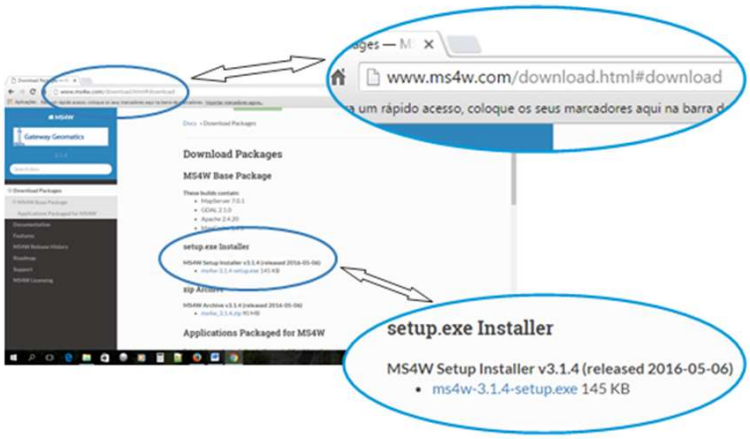


Figura 2 – Site oficial para instalação do MapServer para Windows

- 2º Passo: Executar o programa de instalação (Figura 3);

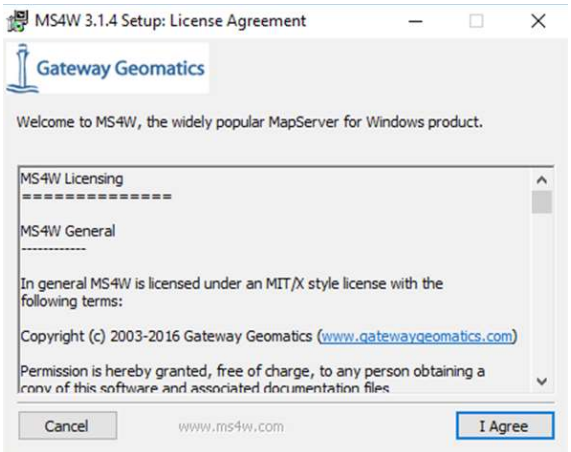


Figura 3 – Janela inicial da instalação do MS4W

- 3º Passo: Escolher o que será instalado. Como sugestão, verificar na Figura 4 os programas que foram instalados;

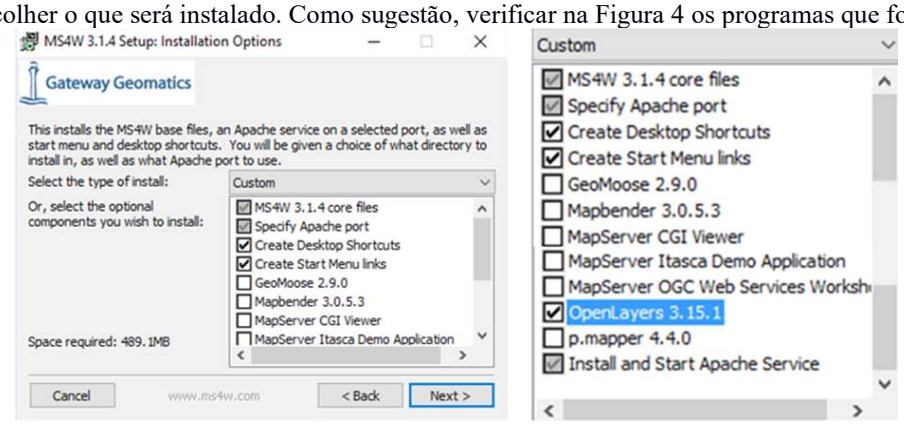


Figura 4 – Componentes instalados no MS4W

- 4º Passo: Escolher a pasta de destino. Usar a raiz do computador (C:\) (Figura 5);

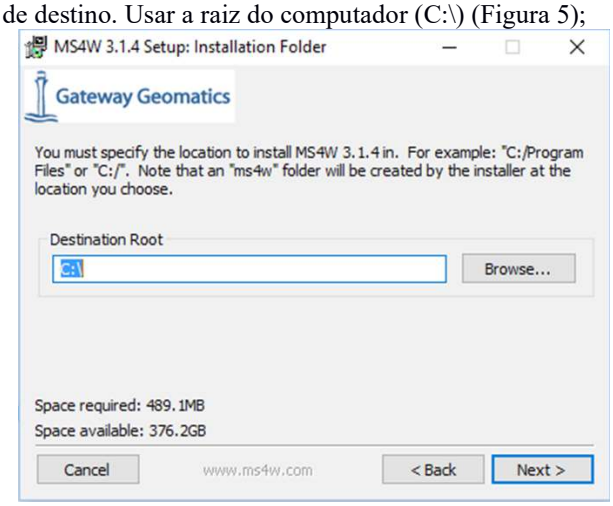


Figura 5 – Caminho de instalação do MS4W

- 5º Passo: A porta do Apache deve ser 80 (Figura 6);

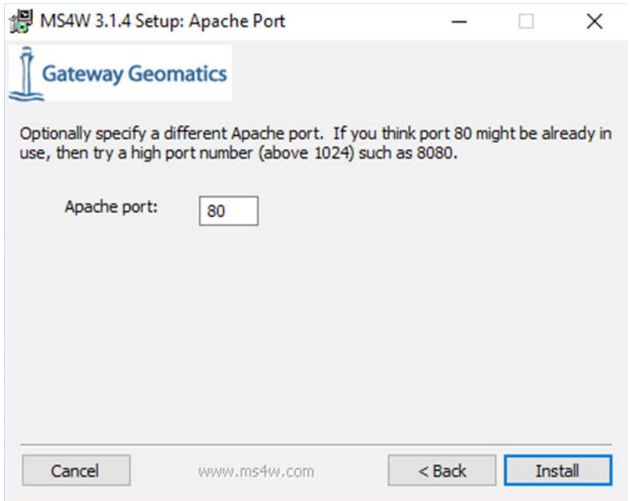


Figura 6 – Indicativo da porta de instalação do Apache

- 6º Passo: Depois do fim da instalação (Figura 7), executar o arquivo apache-install.bat (Figura 8);

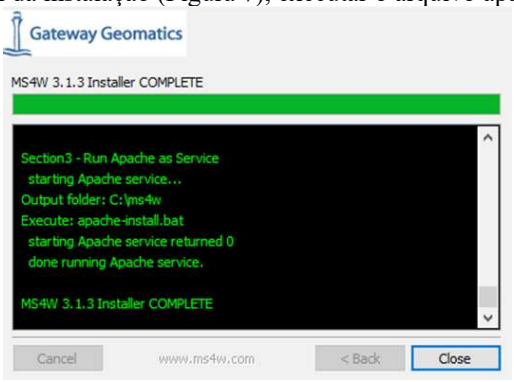


Figura 7 – Janela mostrando o fim da instalação do MS4W

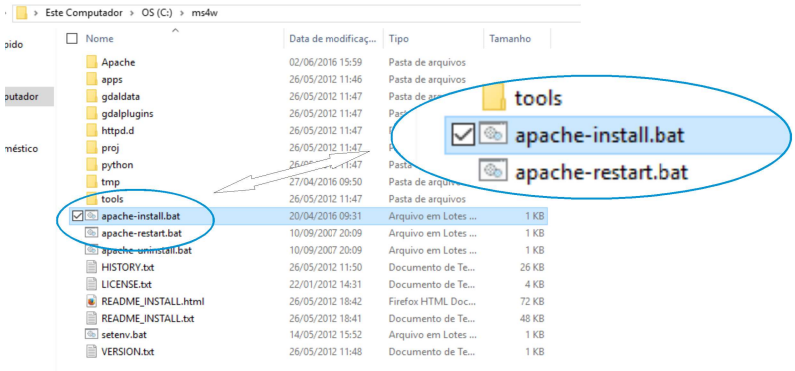


Figura 8 – Conteúdo da pasta C:\ms4w

- 7º Passo: Para verificar se a instalação foi executada corretamente, digitar em um navegador de internet "http:\\ localhost". Deverá aparecer uma tela conforme a Figura 9.

Figura 9 – Janela do teste de instalação do MS4W

Durante a experiência de instalação desse pacote no Windows 8, ocorreu um erro ao instalar o apache-install.bat. O erro informava que não era possível a instalação do Apache. Caso isso ocorra, deve-se reiniciar o computador. Caso o problema persista, para corrigir esse problema, sempre que for usar o apache é necessário executar o arquivo httpd.exe, localizado em C:\ms4w\Apache\bin, e deixar a janela aberta durante o trabalho. A janela pode ser fechada ao concluir o uso do Apache.

Após concluída toda a instalação estará disponível a pasta htdocs, cuso caminho é C:\ms4w\Apache\htdocs\, onde deverão estar as pastas e arquivos do site que será criado.

Para editar códigos em HTML, CSS e JavaScript é necessária a instalação de um editor de textos. O que foi utilizado no trabalho foi o software gratuito Notepad ++.

3.2 Quantum Gis (Qgis)

O Quantum Gis é um SIG (Sistema de Informação Geográfica) que possui código aberto e está licenciado segundo a Licença Pública Geral (GNU). O QGIS é um projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). É um programa multiplataforma funcionando no Windows, Linux, Mac OSX, entre outros, suportando o formato vetorial, raster, banco de dados e outras funcionalidades. Possibilita que novas ferramentas sejam implementadas através da instalação de complementos.

Um desses complementos será utilizado para montagem do site. Em outro momento será mostrado como instalar esse plug-in e como utilizá-lo.

3.2.1 Instalação do complemento qgis2web

Para a instalação do complemento qgis2web é necessário abrir o programa e seguir para a aba complementos (Figura 10), e depois clicar em 'gerenciar e instalar complementos'.

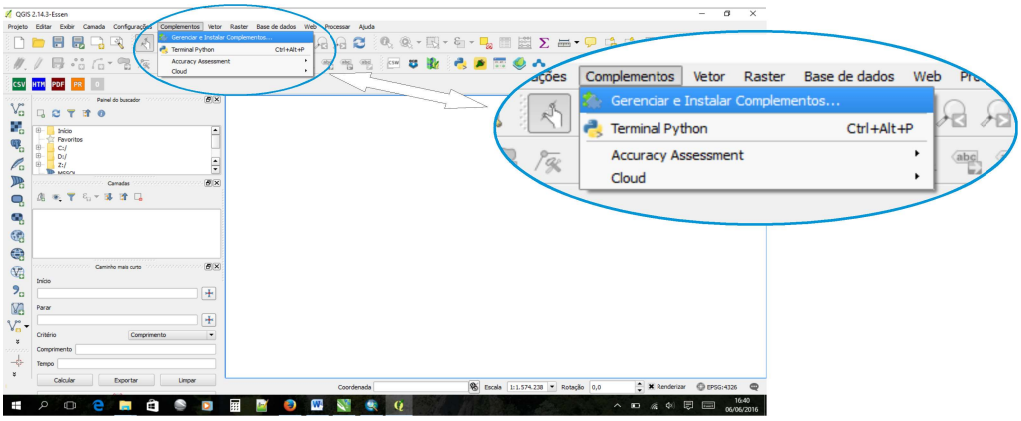


Figura 10 – Processo de instalação do complemento no QGis

Digitar o nome do complemento desejado, qgis2web (Figura 11). Essa ferramenta permite que seja gerado um arquivo HTML com os shapes desejados em formato do OpenLayers 3. Será a partir desse aplicativo que será feito o site final.

Figura 11 – Processo de instalação do complemento qgis2web

Após a conclusão da instalação, a ferramenta estará disponível na aba 'Web', conforme Figura 12.

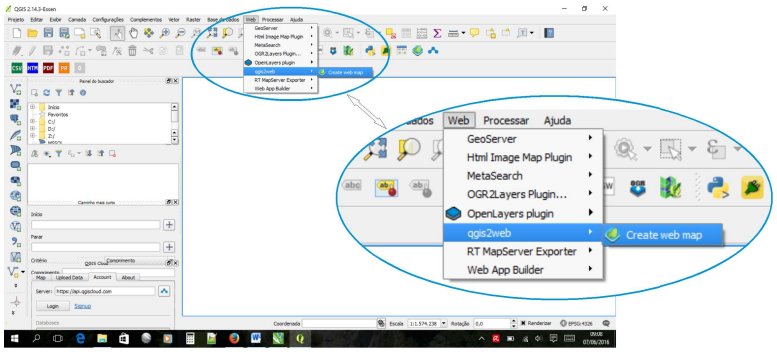


Figura 12 – Indicação do caminho do aplicativo qgis2web

3.3 Interface Integrada para Internet de Ferramentas de Geoprocessamento (i3Geo)

O sistema pode ser incorporado e utilizado por qualquer órgão interessado, sem qualquer custo. Apresenta padrões internacionais de interoperabilidade, e também funcionalidades que tornam possível o acesso remoto aos dados, podendo ser utilizado em redes corporativas. Ainda é possível, a partir desse software, gerar gráficos, analisar dados tabulares, além de outras operações espaciais.

Foram criados pacotes com códigos de instalação compatíveis com os sistemas Windows e Linux, contendo apenas os códigos do i3Geo, por isso, é necessário o estabelecimento de um ambiente de funcionamento com os programas Apache, PHP5, MapServer, entre outros. O pacote MS4W visto no item anterior, proporciona este ambiente. Para que se faça o download dos dados do i3Geo, basta obter os arquivos do software armazenando-os na pasta 'htdocs' no caminho <c:\ms4w\Apache\htdocs>.

3.3.1 Experiência com o I3Geo

O primeiro sistema a ser testado foi o I3Geo, que já apresentou problemas logo após a instalação. Seguindo o manual do Administrador, e também o manual do usuário, ambos disponibilizados na pasta de documentação, dentro da pasta do I3Geo, as ferramentas de envio de arquivo para o servidor apresentava erros independente do tamanho do arquivo.

Em pesquisas em sites relacionados na internet, viu-se que usuários do Windows 8, que era o sistema usado na confecção desse trabalho até então, estavam enfrentando problemas com o funcionamento correto do I3geo. Então, a partir de uma máquina virtual instalada no computador, com versões antigas do Windows, foi feito o teste no Windows XP. Os erros apresentados foram os mesmos.

Após a atualização do computador para o Windows 10, mais uma vez foi instalado o pacote MS4W e o i3geo, mas ainda assim, não foi possível trabalhar com o mesmo, uma vez que era preciso que a ferramenta de importação de arquivos do tipo shapefile funcionasse corretamente, o que não aconteceu.

Outros erros também puderam ser observados. O mais frequente foi o erro de leitura dos shapes já presentes nos arquivos base do I3Geo. Muitas vezes esses arquivos não eram reconhecidos pelo software e não eram mostrados na tela de visualização. No lugar do arquivo correto mostrava uma imagem rosada sobre o mapa impedindo a visualização do mesmo. Esse problema não ocorria em todos os acessos, e por todos esses motivos, o software foi abandonado.

3.3.2 Experiência com Google Maps API

A ferramenta testada para a criação do site foi a API do Google Maps, que apresenta módulos gratuitos e pagos. Essa API, baseada integralmente em JavaScript, possibilita uma interface de desenvolvimento de mapas, que serão disponibilizados na web, e que são baseadas no próprio Google Maps. Essa ferramenta permite integrar mapas com conteúdo georreferenciado que podem ser disponibilizados em qualquer navegador de internet.

Para acessar essa API basta solicitar ao Google uma chave de acesso. Essa chave pode ser adquirida no link <https://developers.google.com/maps/?hl=pt-br>, onde é possível escolher para qual plataforma se deseja a chave. Entre as disponíveis estão a Android, IOS, Web e Web Services (Figura 13).

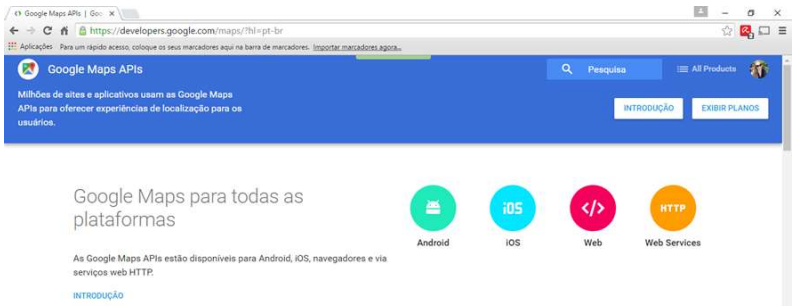


Figura 13 – Página inicial do API Google Maps

A versão atual da API Google Maps oferece uma imensa gama de recursos. Estre eles destacam-se:

- A visualização do aplicativo é possível em qualquer meio com suporte a HTML5 e JavaScript;
- Não é necessário conhecimento do código de cada dispositivo em que será implementada a API;
- Quando a API é atualizada, as aplicações que as utilizam são automaticamente corrigidas;
- O usuário precisa apenas atualizar a página do navegador no caso de atualização da aplicação.

3.3.3 Experiência com o Google Maps

Dois problemas foram identificados ao se trabalhar com o Google Maps.

No primeiro teste executado com um arquivo shapefile, convertido para o formato CSV, o georreferenciamento não se mostrou preciso. Foi utilizado o sistema de referência WGS84, o mesmo que o Google Maps utiliza.

O segundo teste foi feito com outro arquivo, esse em formato KML. Mas não foi possível executar o upload do mesmo. O erro apresentado foi referente ao tamanho do arquivo, pois o mesmo era superior aos 5MB, limite aceito pelo aplicativo. Por esses motivos não foi possível utilizar o aplicativo para desenvolver o site.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado do trabalho é o site mostrado na Figura 14. Como a publicação de um site na internet demanda custos, o mesmo não foi publicado, ficando apenas como exemplo. O protótipo funciona digitando o endereço 'http://localhost/camaragibe/' no navegador de internet. Mas, caso se quisesse publicar dados semelhantes, os arquivos estariam prontos para publicação.

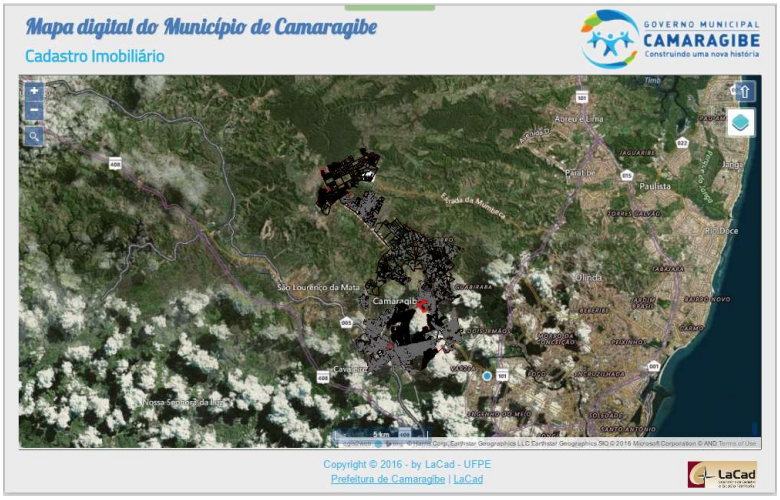


Figura 14 – Visão geral do site com imagem Bing Maps como mapa básico

A visualização inicial mostra o município de Camaragibe centralizado.

Outros dois tipos de mapa base estão disponível. O MapQuest OSM e o OSM, ambos escolhidos no aplicativo do QGis, qgis2web. A visualização do MapQuest OSM pode ser vista na Figura 15.

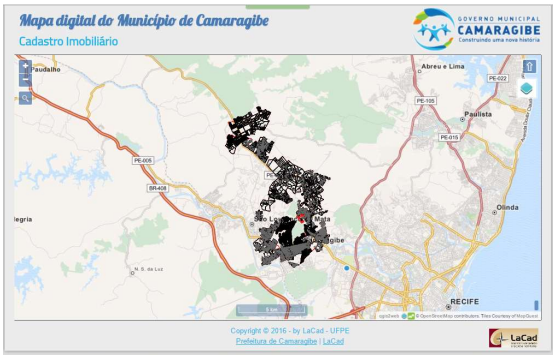


Figura 15 – Visão geral do site com o MapQuest OSM como mapa básico

A pesquisa por endereços se mostrou correta; o geolocalizador foi mostrado na forma de ponto sobre a localização do usuário e está sempre presente na visualização do site.

Um dado importante é que mapa gerado no site não apresenta rigor cartográfico.

Com a opção do popup no tema Edificações foi possível mostrar em tela as informações presentes na tabela do referido tema. Um exemplo pode ser visto na Figura 16.

Figura 16 – Exemplo da ferramenta popup no tema Edificações

5 CONCLUSÕES

Assim, constatamos a partir do trabalho exposto, o quão difícil foi entender o funcionamento das ferramentas disponíveis na internet, que serviriam de apoio à construção do site através das ferramentas de geotecnologias livres para disponibilização de dados do cadastro multifinalitário, do município de Camaragibe-PE.

Alguns cursos foram necessários para o desenvolvimento deste trabalho. Os cursos de HTML5, algoritmo e PHP foram feitos, por videoaulas online, e estão disponíveis de forma gratuita no site <http://www.cursoemvideo.com/>, sendo ministrado pelo professor Gustavo Guanabara.

Vários municípios já fazem uso dessa tecnologia para divulgar suas informações. Os sites dessas prefeituras são muito mais complexos do que o apresentado nesse trabalho. Devido à complexidade da ferramenta utilizada, o curto espaço de tempo para manuseio da mesma, além do pouco e recente conhecimento de temas alheios ao curso de Engenharia Cartográfica, ficou claro que, desenvolver um site tão completo, como alguns vistos durante pesquisas sobre o tema, deve ser um trabalho que envolve pessoas de áreas distintas, onde cada profissional esteja responsável pela área que lhe compete.

6 REFERÊNCIAS

BRASIL - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Download do i3geo. **Ministério do Meio Ambiente**, 2016. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/governanca-ambiental/geoprocessamento/download-do-i3geo>. Acesso em: 30 nov. 2015.

BRASIL. **Decreto n.º 6.666 de 27 de novembro 2008. Infra-Estrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE.** [S.l.]: [s.n.]. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6666.htm>. Acesso em: 01 dez. 2015.

CANALTECH. O que é API? - Software, 2 jul. 2014. Disponível em: <http://canaltech.com.br/o-que-e/software/o-que-e-api/>. Acesso em: 01 jun. 2016.

GRATIER, T.; SPENCER, P.; HAZZARD, E. OpenLayers 3: Beginner's Guide. 2ª. ed. Birmingham: Packt Publishing, 2015. p. Free Sample. ISBN 9781782162360. Disponível em: <https://www.packtpub.com/packtlib/book/Web%20Development/9781782162360/1>. Acesso em: 02 jun. 2016.

JUNIOR, R. D. M. N. **Implantação do Software i3Geo no Parque Nacional do Iguaçu**. Foz do Iguaçu: Centro Universitário Dinâmica das Cataratas, 2013. Disponível em: <http://www.udc.edu.br/monografia/monoamb189.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2015.

MEDEIROS, A. M. L. D. Por Dentro do MapServer. **FOSSGIS Brasil**, n. 3, p. 44-48, set. 2011.
MEDEIROS, A. M. L. D. Aplicativos Internos ao MapServer. **Anderson Medeiros Consultor em Geotecnologias**, 2014. Disponível em: <http://andersonmedeiros.com/aplicativos-executaveis-internos-ao-mapserver>. Acesso em: 02 jun. 2016.

MORETTI, E. **i3Geo 5.0:** Manual do Usuário. [S.l.]: gvSIG Association, 2010. 98 p. Disponível em: <http://www.gvsig.com/pt/produtos/i3geo/documentacao>. Acesso em: 30 nov. 2015.

PHILIPE, T. Tableless. **API Google Maps V3 - Tableless**, 2014. Disponível em: <http://tableless.com.br/api-google-maps-v3/>. Acesso em: 05 jul. 2016.

QUADRO, F. OpenLayers. **Blog do Fernando Quadro**, 2010. Disponível em: <http://www.fernandoquadro.com.br/html/openlayers/>. Acesso em: 02 jun. 2016.

SCHMITT, P. R. M. **Aplicação WEB Utilizando API Google Maps**. Medianeira: Universidade tecnológica Federal do Paraná, 2013. 39 p. Disponível em: <http://docplayer.com.br/11277681-Universidade-tecnologica-federal-do-parana-utfpr-curso-superior-de-tecnologia-em-analise-e-desenvolvimento-de-sistemas-peterson-ricardo-maier-schmitt.html>. Acesso em: 01 jun. 2016.
SIG BRASIL. A INDE - Apresentação, 2008. Disponível em: <http://www.inde.gov.br/a-inde/apresentacao.html>. Acesso em: 02 mar. 2016.

FERRAMENTAS DE WEBSIG APLICADAS A GESTÃO DE OBRAS E SERVIÇOS

IARA DE ARAÚJO MAGALHÃES 1
PATRICIA LUSTOSA BRITO 2

Universidade Federal da Bahia - UFBA
Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia. Salvador, BA
iaramagalhaes.pro@gmail.com, britopatricia@hotmail.com

RESUMO - Este trabalho tem como objetivo realizar um levantamento na literatura sobre aplicações das ferramentas de webSIG como suporte no gerenciamento de obras e serviços, para facilitar no processo de tomada de decisões. Como exemplo, serão indicadas possibilidades de utilização dessa ferramenta na gestão de obras e serviços de manutenção das edificações pela Superintendência de Meio Ambiente e Infraestrutura (SUMAI) da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

ABSTRACT - This work aims to perform a survey in the literature on applications of webSIG tools as support in the management of works and services, to facilitate in the decision making process. As an example, possibilities of using this tool in the management of works and maintenance services of the buildings by the Superintendency of Environment and Infrastructure (SUMAI) of the Federal University of Bahia (UFBA) will be indicated.

1 INTRODUÇÃO

Recentemente, as geotecnologias - técnicas matemáticas e computacionais para obtenção do tratamento da informação geográfica vêm influenciando de maneira crescente as mais diversas áreas no âmbito de infraestrutura, gestão de recursos naturais, transporte, segurança, planejamento urbano e regional e mobilidade, por exemplo. Dentre as geotecnologias aplicadas, pode-se destacar os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que incorporaram outras áreas do conhecimento para tratar, analisar e apresentar os dados espaciais.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é aquele baseado em computador, que permite ao usuário coletar, manusear e analisar dados georreferenciados. Um SIG pode ser visto como a combinação de hardware, software, dados, metodologias e recursos humanos, que operam de forma harmônica para produzir e analisar informação geográfica. É formado por vários planos de informações sobrepostos, sendo cada plano composto por entidades representadas por pontos, linhas ou polígonos às quais são vinculados atributos. Com isto, integra dados espaciais como os cartográficos, cadastrais, de sensores remotos, de redes de infraestrutura, modelos numéricos do terreno e dados descritivos como os demográficos, socioeconômicos, corporativos entre outros, objetivando basicamente três funções: produção de mapas, armazenamento e recuperação da informação espacial e análise espacial (NAKAMURA, GUIDARA JUNIOR, 2010).

Atualmente, por conta da disseminação de grande quantidade de dados via internet, foram integrados ao ambiente web os Sistemas de Informações Geográficas como meio de adquirir e processar dados geográficos digitais para gerar conhecimento e informações úteis.

A internet tornou-se uma importante ferramenta de difusão da informação espacial, porém integrar os SIG's ao ambiente web não é uma tarefa fácil. Para tanto, é necessário o cumprimento satisfatório de todas as etapas envolvidas no processo do resultado da informação, que é desde a coleta, armazenamento e manipulação, inclusão e por último a visualização espacial dos mais diversos tipos de dados. Além disso, essa integração deve contemplar a função de processamento, análise e síntese dos dados.

O webSIG é mais intensamente utilizado em áreas como as de meio ambiente, urbanismo, geografia e cartografia. Porém, pode ser aplicado na área da construção civil, como parte do processo da realização de uma obra, que compreende desde os estudos iniciais, anteprojeto, projeto, planejamento, execução, fiscalização e posteriormente nos procedimentos de manutenção.

A utilização de ferramentas de webSIG, quando corretamente aplicadas pode produzir efeitos positivos, quanto a maximização da qualidade e produtividade, pois auxilia na fiscalização da execução dos serviços e consequente

minimização nos custos de uma obra, por permitir a visualização das informações e identificação de problemas que podem acarretar em custos adicionais.

A aplicação desta técnica na construção civil ainda não é atualmente muito utilizada no Brasil, necessitando de maiores pesquisas para se obter a máxima produtividade, através de um direcionamento adequado na gestão de obras e serviços de manutenção com a utilização de geotecnologias compatíveis com os níveis de precisão e qualidade da obra.

Assim, a presente pesquisa indica para melhoria do processo de gestão de obras e serviços de manutenção na Universidade Federal da Bahia (UFBA), através do órgão Superintendência de Meio Ambiente e Infraestrutura (SUMAI), o uso de ferramentas de webSIG.

A SUMAI foi criada formalmente e aprovada no novo Regimento da Reitoria e é fruto da reunião dos setores do Planejamento do Espaço Físico, Prefeitura de Campus, do chamado Grupo Reuni (que na verdade é um grupo de profissionais dedicados às rotinas administrativas e jurídica das obras do Programa Reuniu) e da recém-criada Coordenação de Meio Ambiente, que tem entre suas funções, planejar, coordenar e controlar o desenvolvimento da infraestrutura e patrimônio físico da universidade. (SUMAI, 2018)

A escolha deste órgão na UFBA se deu pela percepção da necessidade que a SUMAI tem em planejar as obras e manter as edificações com agilidade, eficiência e eficácia. A SUMAI enfrenta dificuldades em gerenciar suas obras e serviços de manutenção, uma vez que tem um déficit de recursos especializados, o que impulsiona para a utilização de tecnologias em webSIG na tentativa de solucionar esta questão.

Dessa maneira, para atender questões de operação e manutenção da infraestrutura da UFBA são necessárias soluções eficazes de controle, gestão, processos e procedimentos. E, para isso, indica-se o uso de ferramentas webSIG de fácil uso e acesso, como forma de solucionar eficientemente o controle e o gerenciamento das obras e serviços de manutenção, na tentativa de minimizar retrabalhos e consequentemente custos de manutenção de operação.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

A presente pesquisa tem uma abordagem qualitativa, na qual as análises foram feitas a partir de descritivos oriundos de observações diretas, análise de dados da pesquisa bibliográfica em artigos, dissertações e teses,na base de dados do Portal de Periódicos da CAPES e no *Google Schoola*r, além de informações provenientes da SUMAI e coletadas em campo, no Campus da UFBA.

É do tipo exploratória, com intuito de criar maior familiaridade em relação aplicação de ferramentas de webSIG no processo de gestão de obras e serviços de manutenção, investigando o estágio em que se encontram as informações já disponíveis a respeito de um assunto, com vistas a torná-lo mais explícito.

Neste trabalho foi feita uma pesquisa bibliográfica em artigos eletrônicos e documentos para elucidar sobre aplicações gerais de ferramentas em webSIG e a sua relação com o gerenciamento de obras na Construção Civil. Foi elaborado um quadro síntese demonstrando as principais aplicações e funcionalidades do webSIG encontradas na literatura. Após, foram feitas entrevistas com gestores e técnicos da SUMAI, para entender como funciona e quais são as principais demandas do setor de gestão de obras e manutenção do espaço físico na UFBA.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Aplicações diversas das ferramentas de webSIG

Atualmente as geotecnologias são aplicadas mais intensamente no âmbito da gestão do meio ambiente, pois o histórico da abordagem do geoprocessamento tem forte relação com ações desta área (LONGLEY apud SOUZA e CANDEIAS, 2017).

De maneira geral, na literatura foram encontradas diversas abordagens sobre essa temática, com destaque para alguns trabalhos que trazem exemplos de aplicações do uso ferramentas de webSIG e da Cartografia Digital, conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1: Quadro Resumo da Revisão Bibliográfica sobre webSig e suas aplicações gerais

Tema	Ferramenta/Aplicativo	Aplicação	Referência
Proposta de uso de computação em nuvem em aplicações de zoneamento.	Geocloud Google Earth Enginee Arc Gis Online	Zoneamento do Cultivo da Soja	CRUZ *et al* (2016)
Geoinfo e MaToPiBa: Um Webgis para a disseminação de informações Geoespaciais.	Plataforma WebGis Geoinfo Arc Gis 10.1	Agricultura	ALCÂNTARA *et al.* (2015)

Webgis aplicado a Gerenciamento Costeiro Integrado.	Plataforma WebGis SIGBP	Gerenciamento Costeiro	MARTINS (2013)
Aplicação de um Sistema WebGIS na Agricultura de Precisão.	Plataforma WebGIS Labeco Embrapa	Agricultura de Precisão Gestão do Espaço Agropecuário	ROCHA et. al. (2015)
WebGis na Embrapa Monitoramento por Satélite: integração de arquitetura e tecnologia da informação para disseminação da geoinformação na internet.	Mapserver Ikonos II Arc Gis Erdas	Gestão Ambiental	CARVALHO et. al. (2004)
Sistema de Informações Geográficas aplicado à Gestão Territorial da Fazenda Experimental da Embrapa Florestas em Colombo/PR	Gvsig Postgis Geoserver	Gestão Territorial	FRANCISCON (2012)
Softwares Livres e Planejamento Urbano: Estudo e aplicação de uma Plataforma WebGis no Município de Alfenas.	QGIS OSGeo PostgreSQL.	Planejamento Urbano	SANTOS E BONONI (2016)
Sistema de Informação Geográfica na Internet para apoio à gestão de Infra-estruturas, baseado em ferramentas Open Source.	Open Source (Chameleon) PostgreSQL PostGIS Mapserver	Gestão da Informação	VERA-CRUZ (2011)
Desenvolvimento de Aplicações de Sistemas de Informação Geográfica Web para Gestão de Resíduos Urbanos: o caso dos serviços intermunicipalizados de Águas e Resíduos dos municípios de loures e Odivelas.	LizMap QGIS	Gestão de Resíduos Urbanos	SILVA (2015)
Proposta de Sistema de Informações Territoriais e Urbanas para as políticas de Urbanismo, Habitação e Regularização Fundiária do DF.	Siturb PostgreSQL PostGiS ArcGIS Server 10.0 API (software Application Programming Interface) Adobe Flex - ESRI Oracle 9iR2.	Gestão do Território	SANTOS (2015)
Análise espacial do sistema de ônibus urbanos mediante uma plataforma SIGWEB: estudo de caso do Bairro de Tambaú, João Pessoa- PB.	I3GEO Servidores de mapas: Swiss Trains - API Google Maps	Gestão de Transportes	PEREIRA (2014)
Desenvolvimento de um WebSIG para apoio à decisão na escolha de residência.	Servidor Apache PostgreSQL GeoServer	Gestão Habitacional	SERRANO e BENTO (2017)
Estudo de Estabelecimento do Sistema de Informações de Gestão de Recursos Florestais baseados em WebGIS.		Gestão de Manejo e Recursos Florestais	WU SU-LI et. al. (2003)

Mapas do Usuário e do Terreno da Europa: Uma Plataforma WebGIS.	Geoserver Bootstrap	Gestão Ambiental	BROVELLI et. al. (2016)
Um WebGis para o conhecimento e conservação dos Edifícios Históricos da Sardenha (Itália).	PostgreSQL PostGiS	Gestão das Estruturas - Edifícios Históricos	VACCA et. al. (2017)
Uma plataforma integrada de gerenciamento baseada em WebGIS do Geopark.	ArcGIS MapServer	Gestão Ambiental	LUO (2015)

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Para Cruz, et al. (2016) o uso do webSIG pode ser aplicado para viabilização da realização de atividades relacionadas com o zoneamento de cultivo de soja de forma remota, conseguindo trabalhar-se com grande volume de dados e de esforço computacional por usuários em computadores de baixo custo.

Outros exemplos, são trabalhos que mostram plataformas em webSIG, que servem para disseminar a informação geoespacial onde o usuário tem acesso às informações vetoriais e matriciais que a plataforma online disponibiliza (quando não há uma restrição) podendo realizar o download das mesmas para a utilização.

Assim, seguindo essa linha de aplicação, Alcântara, et al. (2015) trouxe uma abordagem proposta pela Embrapa tendo como exemplo a região do MATOPIBA (compreende os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) no Brasil. Já Rocha, et al. (2015) trataram de uma plataforma webGis com aplicação na Internet utilizada como uma potente e acessível ferramenta de gestão agropecuária que disponibiliza informações geográficas de camadas que estão sob a responsabilidade da Embrapa, permitindo aos usuários a visualização e a realização de pesquisas e operações de análise espacial típicas de um SIG convencional, promovendo a visualização multiescalar e o uso sustentável dos sistemas de estratégias de manejo para gerenciamento de alta produção.

Outras aplicações realizadas pelo Emprapa, discorridas em trabalhos elaborados por Carvalho et al. (2004) e Franciscon (2012) mostram aplicações na gestão ambiental e territorial, envolvendo integração de aplicativos webSIG, para disseminação da geoinformação na internet.

Além desses, Martins (2013) trouxe a proposta de uma plataforma webSIG livre e de acesso Universal pela Internet que permite a visualização, manipulação, download, upload, geração de planos de informação, elaboração de mapas e figuras para gerenciamento costeiro integrado com enfoque na Bacia Sedimentar de Pelotas; e Santos e Bononi (2016) utilizou processos que estruturam uma plataforma webSIG a partir do uso exclusivo de tecnologias livres e/ou de código aberto no planejamento urbano do Município de Alfenas.

Além destas aplicações, existem pesquisas em gestão da informação, cuja proposta feita por Vera-Cruz (2011) é de implementação de um SIG que permite o seu manuseio e sua disponibilização na Internet, com normas e especificações, permitindo o acesso facilitado para partilha e troca de informação geográfica de forma aberta e transparente.

Outra aplicação que também envolve a relação SIG e Tecnologias da Informação (TI) tratada por Silva (2015) é uma proposta possível de modelo conceitual e metodológico assentado em TI e em SIG, para gestão do sistema de resíduos urbanos, em particular, dos equipamentos de deposição e circuitos de recolha e transporte nos Municípios de Loures e Odivelas.

Além destas, verificou-se pesquisas desenvolvidas no âmbito da gestão de acidentes, em que Chaves (2014) propõe, por meio de métodos e técnicas da cartografia, a visualização espacial dos dados de acidentes rodoviários por um sistema de informações para o livre acesso de usuários que queiram ou necessitem de informações acerca dos setores ou locais de maior risco de acidentes, baseado em webSIG.

Já na gestão do território, Santos (2015) propõe um Sistema de Informações Territoriais e Urbanas para as Políticas de Urbanismo, Habitação e Regularização Fundiária do DF, para dar auxílio à tomada de decisão dos gestores do Governo do Distrito Federal, bem como transparência para a sociedade quanto às políticas públicas de urbanismo, habitação e regularização fundiária.

Outras propostas da utilização de ferramentas em webSIG encontradas na literatura estão relacionadas a gestão de Transportes, em que Pereira (2014) aborda o planejamento do sistema de ônibus urbanos em Tambaú - João Pessoa - Paraíba, através de um SIG, permitindo a organização destes dados em camadas que juntas constituíram um mapa interativo, facilitando a detecção de problemas e proporcionando soluções para o sistema de ônibus.

Na gestão da habitação, por exemplo, Serrano e Bento (2017) trazem uma proposição de um webSIG interativo usando apenas dados gratuitos e programas de código aberto de apoio à decisão do local de residência, a partir de dados diversos que podem ser traduzidos espacialmente.

No cenário internacional, verifica-se por exemplo pesquisas na China, França, República Checa, que tratam sobre ferramentas de SIG na Web envolvendo, sobretudo, questões atreladas à gestão ambiental.

O trabalho desenvolvido por WU SU-LI et al. (2003) explora a função, estrutura e método de desenvolvimento do Sistema de Informação de Gestão de Recursos Florestais baseado no WEBGIS.

Já a pesquisa de BROVELLI et. al. (2016) trata de métodos e processos de implementação de uma plataforma WebGIS projetada para publicação de mapas de uso da terra e cobertura da terra.

LUO (2015) traz uma plataforma de gerenciamento de um Parque Geológico, baseada em WebGIS, onde todas as informações relacionadas possam ser gerenciadas localmente e acessadas remotamente.

VACCA et. al. (2017) mostra nas suas pesquisas a possibilidade de construir um webSIG para gerenciar os dados coletados durante as fases de verificação e estudo das estruturas de edifícios históricos.

Verifica-se, então, a partir de todas estas aplicações, que a tecnologia baseada em SIG na web apresenta-se como alternativa para gestores, nos processos de tomada de decisões, podendo ser utilizadas como ferramenta de apoio para visualização da informação geográfica para análise espacial.

3.1 Aplicações das ferramentas de webSIG no gerenciamento de obras e serviços

Além dessas aplicações, as ferramentas de webSig podem ser aproveitadas de diferentes maneiras na gestão e controle de obras e serviços de manutenção. As aplicações nesta área são mais escassas na literatura (Quadro 2), com destaques para o trabalho desenvolvido por Belfort (2013) que discorre sobre a aplicação de uma ferramenta webSIG (Geo-Obras) para o controle e transparência dos gastos públicos, e sua contribuição para a efetivação do controle social sobre as obras e serviços de engenharia realizados dentro do Estado do Espírito Santo, abordando a experiência de implantação pelo Tribunal de Contas – TCE ES.

Verifica-se também os trabalhos de Daltio et al. (2013) que trouxe a abordagem de uma ferramenta de webSIG (GeoPAC) aplicado ao monitoramento e agregação informações espaciais sobre os empreendimentos do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), tais como localização dos empreendimentos e imagens de satélite e de Souza et al. (2017) que dá ênfase ao SIG, como suporte às auditorias de obras públicas, realizadas pelos Tribunais de Contas do Brasil. Já Holler et al. (2010) mostra uma ferramenta para o cadastro e gestão de metadados de obras de infraestrutura e imagens de satélite de projetos do PAC.

Quadro 2: Quadro Resumo da Revisão Bibliográfica sobre webSig e suas aplicações em obras e serviços

Tema	Ferramenta/Aplicativo	Aplicação	Referência
Geo-Obras ES:Instrumento de transparência e fiscalização em Obras Públicas.	Geo-Obras	Fiscalização de Obras Públicas	BELFORT (2013)
GeoPAC: Sistema de monitoramento de Obras do PAC.	GeoPAC	Acompanhamento de Obras	DALTIO et. al. (2013)
Geotecnologias aplicadas às auditorias de Obras Públicas no Brasil: Panorama Geral e Perspectivas.	Geo-Obras GeoPAC	Fiscalização de Obras Públicas	SOUZA et. al. (2017)
Uma ferramenta para o cadastro e gestão de metadados de obras de infraestrutura e imagens de satélite do projeto PAC 10.	Microsoft SQL Server 2008 ArcGIS Server	Acompanhamento de Obras	HOLLER et. al. (2010)
Geotecnologias aplicadas à construção civil.		Gestão de Obras	NAKAMURA e GUIDARA JR. (2010)
Monitoramento e Mitigação dos Impactos causados à fauna pelas Obras de Duplicação da BR-116/RS com auxílio do	Infoambiente: Geoserver PostgreSQL Apache Tomcat.	Gestão Ambiental e Avanço de Obras	PANAZZOLO et. al. (2015)

Infoambiente.			

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Outras aplicações encontradas na literatura trazem uma abordagem mais ampla sobre as utilização das geotecnologias no setor da Construção Civil, sendo tratado em trabalho elaborado por Nakamura, Guidara Junior (2010), o qual traz uma discussão sobre os possíveis usos das geotecnologias nas diversas áreas da construção civil (rodovias, ferrovias, pontes e viadutos, barragens, infraestrutura e incorporação imobiliária) nas suas diversas fases (desde o anteprojeto até a manutenção), bem como conceitos e as vantagens decorrentes; e por PANAZZOLO et. al. (2015) que propõe um sistema que proporciona o acompanhamento das ações de gestão ambiental e avanço das obras, através de informações georreferenciadas disponíveis em qualquer local que tenha acesso a internet.

Constata-se, a partir do conhecimento das aplicações elucidadas, que ferramentas baseadas em webSIG apresenta-se como alternativa para gestores, no setor da construção civil, podendo ser utilizadas como apoio no planejamento, execução, fiscalização de obras e manutenção de serviços.

3.1 Indicação das ferramentas de webSIG no gerenciamento de obras e serviços da SUMAI - UFBA

O vasto campo de aplicação das geotecnologias na gestão de obras encontra-se ainda inexplorado na maioria de cidades do Brasil. Porém, não é tão recente o uso das ferramentas de geoprocessamento, uma vez que empresas públicas de saneamento ambiental, abastecimento de energia elétrica, por exemplo, as utilizam em aplicações como monitoramento da qualidade da água, mapeamento de áreas degradadas, mapeamento do potencial energético, escolha da melhor locação para obras de saneamento, entre outras formas de aplicação.

No contexto da construção civil, sobretudo na gestão de obras e serviços de manutenção, as ferramentas utilizadas para apresentação dos dados de forma espacializada são os softwares SIG na web. Esses dados referenciados no espaço geográfico de forma *online,* requer um tratamento no computador e, quando necessário, a checagem de campo das informações que estão sendo obtidas.

Georreferenciar dados de projetos de Obras Civis, utilizando ferramentas de SIG na web, auxilia na coordenação de atividades de campo, tanto pela possibilidade da análise das informações por fotos e relatórios das obras localizadas e identificadas no mapa. Além disso, possibilita aos gestores a visualização dos locais em que está ocorrendo às obras e ter conhecimento sobre o andamento dos serviços.

Em projetos de reforma de edificações, por exemplo, a ferramenta pode servir para o acompanhamento da execução dos serviços nas reuniões de gestão junto a SUMAI e às demais empresas contratadas responsáveis pela obra.

Nas reuniões de acompanhamento, a ferramenta de webSIG pode ser usada para mostrar a localização espacial das tratativas em questão. Dessa forma, serve tanto para localização, como de apoio com os dados do banco (avanço físico, dimensão das obras, status de liberação, etc) quando solicitado. Serve também para que os colaboradores da empresa consigam visualizar as informações remotamente e em tempo real, através de usuários com acesso de permissão para leitura.

O uso das ferramentas em webSIG, neste caso, gera um fluxo da informação de forma imediata. O setor de planejamento realiza o cadastramento dos pontos de obra. As equipes de campo acessam o software e verificam o local em que está ocorrendo as atividades. Assim são feitos os registros de obra. Quando ocorre algum problema, estes são cadastrados. Esse cadastro é disponibilizado ao construtor para que ele consiga saber a localização, as fotos e a descrição das causas. Assim que ele resolve, o registro é feito, com o apontamento da solução por meio de relatórios e fotos.

É possível que a equipe de obras e a parte administrativa consultem e alimentem o sistema. Os dados ficam disponíveis para quaisquer usos de análise espacial mais elaborada.

Assim, a utilização dos dados geográficos, neste cenário, está relacionada com a necessidade de trabalhar com uma integração perfeita entre dados dos mais variados tipos (físicos, cartográficos, econômicos etc.), além de uma série de manipulações entre dados e modelos, com vistas a atender às mais diversas análises, sobretudo nas etapas de levantamento de dados, diagnóstico do problema, tomada de decisão, planejamento, projeto, fiscalização, execução de ações e medição dos resultados de uma obra ou serviço.

Como cada vez mais esses dados são apresentados de forma digital e difundidos pela internet, as ferramentas de SIG na WEB tem sido muito utilizadas. Dessa maneira, os softwares de SIG na WEB permitem uma visualização mais clara da obra, possibilitando o acesso rápido às informações e análise integrada dos dados.

Já na fase de manutenção, o webSIG pode se tornar uma ferramenta crucial no processo de gerenciamento, não só pela facilidade na visualização dos dados (locais que precisam de manutenção, plantas, dados técnicos), mas principalmente pela possibilidade de análises espaciais, podendo levar a conclusões sobre a existência de correlações espaciais e auxiliando não só nas decisões sobre a manutenção, bem como para se determinar aspectos técnicos para melhorar o projeto.

A utilização eficiente de um webSIG depende de vários fatores, sendo imprescindível que primeiro se defina quais as perguntas que serão feitas ao sistema, para, a partir dessa informação, iniciar a modelagem do sistema, levando em consideração fatores como a precisão da base cartográfica e a granularidade dos dados.

Não são necessários grandes investimentos em geoprocessamento para conseguir os primeiros resultados, uma vez que pode ser suficiente a obtenção de softwares livres em webSIG, uma base digital, cadastros e dados alfanuméricos, dois ou três técnicos e um treinamento mínimo. Mapas precisos e atualizados em tempo real, dados consistentes, assessoria especializada, softwares e equipamentos adequados, capacitação e treinamento são fundamentais na implantação de informações geográficas, mas sua falta não deve ser o pretexto para nunca efetivamente utilizar.

Dessa forma, é importante que uma abordagem da gerência e controle de obras e de serviços de manutenção tenha o planejamento e acompanhamento espacializado das atividades prioritárias em execução, através de mapas temáticos via web e outras formas de saída de informações de acordo com a demanda do gestor e técnico, usuário do sistema.

No entanto, apesar da relevância da utilização de ferramentas em webSIG, sobretudo por apresentar maior impacto quando aplicadas em áreas onde o aspecto localização dos eventos e utilização dos dados para tomada de decisão são cruciais, verifica-se que estas não são aproveitadas em seu potencial.

Na SUMAI, verifica-se que existem demandas que requerem informações específicas, espacializadas e imediatas das edificações, por exemplo, para atender tanto aos requisitos exigidos pelo Ministério da Educação (MEC) quanto ao planejamento de grandes eventos realizados na UFBA. Porém, essas informações estão dispersas e não organizadas espacialmente. Assim, a indicação proposta de gestão para atender ao gestor da SUMAI é o uso de ferramenta de webSIG, onde os dados e informações das edificações da UFBA poderão ser disponibilizados de forma organizada, com intuito de otimizar as atividades demandadas dentro da Universidade no que diz respeito a organização do espaço.

4 CONCLUSÃO

Infere-se que a utilização de uma ferramenta webSIG auxilie a gestão dos tomadores de decisão na SUMAI, uma vez que facilita a espacialização das informações necessárias à gestão de obras ou manutenção do Campus da UFBA.

Dessa maneira, foram levantadas informações sobre aplicação de ferramentas webSIG em obras e serviços de manutenção para dar subsídio teórico a hipótese da possibilidade de implementação destas na SUMAI, adequadas a suas demandas e funcionalidades.

Além disso, para que a indicação da utilização de ferramentas de webSIG seja eficaz se faz necessário que o levantamento de dados na SUMAI e pesquisa de campo, sejam estruturados e simulados num protótipo que permitam saídas de gráficos e mapas para o gestor da SUMAI.

E, por fim, são necessários testes de usabilidade, para que um Modelo Conceitual de webSIG seja eficaz em sua aplicação na SUMAI e que seja utilizado pelo gestor para intervir de forma efetiva quanto a alocação dos investimentos em obras e serviços de manutenção, levando em consideração os recursos disponíveis, ou na justificativa de qualquer captação de financiamentos, visando manter o valor patrimonial, garantindo o conforto e a segurança aos usuários, estudantes e professores.

Espera-se que esta pesquisa contribua para o aprofundamento do debate sobre as potencialidades das geotecnologias no controle de obras e serviços de manutenção em Universidades Federais.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA Gustavo Casteletti de; SILVA, Gustavo Bayma Siqueira da; DRUCKER, Débora Pignatari; VICTÓRIA, Daniel de Castro; BOLFE, Édson Luis. Geoinfo e MaToPiBa: Um Webgis para a disseminação de informações Geoespaciais. I Simpósio Internacional de Águas, Solos e Geotecnologias, SASGEO, 2015. Eixo temático: Cartografia, banco de dados geográficos e geoprocessamento.

BELFORT, Jane de Araujo Baptista. Geo-obras Es: Instrumento de Transparência e Fiscalização em Obras Públicas. XV SINAOP - III Oficina Internacional, Vitória-ES, 2013. Disponível em: <http://www.ibraop.org.br/blog/artigos/xv-sinaop-iii-oficina-internacional-vitoria-es/> Acesso em: 20/08/2018.

CAMARGOS, Breno Diogo de Carvalho. Arquitetura para Coleta de Opinião sobre Serviços Públicos em um Sistema de Informação Geográfica Móvel com Participação Popular. Brasília: UnB, 2015. 139 p.

CHAVES, Mariana Dias. Desenvolvimento de um sistema de informações georreferenciadas de segurança viária. 2014. 161 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/108684>

CRUZ, Sérgio Aparecido Braga da; SILVA, João dos Santos Vila da; NEVES, Sandra Mara Alves da Silva. Proposta de uso de computação em nuvem em aplicações de zoneamento. Anais 6º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Cuiabá - MT, 22 a 26 de outubro 2016 - Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 133 133 -140.

DALTIO, Jaudete; CARVALHO, Carlos A. de; MARTINHO, Paulo R. R., MAGALHÃES, Lucíola A.; MIRANDA, Evaristo E. de; TRAJANO, Sâmara R. da S., TOSCHI,Hugo; SANTOS, Beatriz B. O.; LISBOA, Flávia S. GeoPAC Sistema de Monitoramento de Obras do PAC. Publicações EMBRAPA, 2013. <Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/981235/geopac-sistema-de-monitoramento-de-obras-do-pac> Acesso em: 20/08/2018.

FRANCISCON, Luziane. Sistema de Informações Geográficas Aplicado à Gestão Territorial da Fazenda Experimental da Embrapa Florestas em Colombo/PR. Acervo Digital UFPR, 2012. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/32502> Acesso em: 20/08/2018.

HOLLER, Wilson A.; CUSTÓDIO, Davi O.; NIEMANN, Rafaela S.; RÔVERE, Sophia D.; MIRANDA, Evaristo; SPADOTTO; Claudio A. Uma ferramenta para o cadastro e gestão de metadados de obras de infraestrutura e imagens de satélite do projeto PAC 10. Publicações EMBRAPA, 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/882551/uma-ferramenta-para-o-cadastro-e-gestao-de-metadados-de-obras-de-infraestrutura-e-imagens-de-satelite-do-projeto-pac-10> Acesso em: 20/08/2018.

MARTINS, Eduardo Marques. Webgis aplicado a Gerenciamento Costeiro Integrado. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós Graduação em Geociências, Porto Alegre-RS, 2013. 163f. Repositório Digital LUME - UFRGS. <Disponível em: https://lume.ufrgs.br/handle/10183/72095> Acesso em: 20/08/2018.

PANAZZOLO, Adriano Peixoto; TEIXEIRA Chaiana; VIEGAS Daniela; SARTORI Débora, FRANTZ Letícia; SILVIA Aurélio; BAZZAN Thiago. Infoambiente: Acesso às informações de Gestão Ambiental de Rodovias. Anais 14º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://infoambiente.stesa.com.br/ste116/biblioteca/files/infoambiente_14cbgea_2013.pdf> Acesso em: 20/08/2018.

PANAZZOLO, Adriano Peixoto; VIEGAS, Daniela; SCHEN, Natália; SAMPAIO, Elisabeth; DÁVILA, Guillermo. Monitoramento e Mitigação dos Impactos Causados à Fauna pelas Obras de Duplicação Da BR-116/RS com o auxílio do Infoambiente. VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Porto Alegre-RS, 2015. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/VI-030.pdf> Acesso em: 20/08/2018.

PEREIRA, Estéfanny Dhesirée Paredes. Análise espacial do sistema de ônibus urbanos mediante uma plataforma SIGWEB: estudo de caso do Bairro de Tambaú, João Pessoa- PB. João Pessoa, 2014. Repositório UFPB. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/668> Acesso em: 20/08/2018.

ROCHA, Danilo Serra da; PEREIRA, Rudiney Soares, TRINDADE, José Pedro Pereira; VOLK, Leandro Bochi da Silva; PINHO, Leonardo Bidese de. Aplicação de um Sistema WebGIS na Agricultura de Precisão. Revista Ciência e Natura. Publicação EMBRAPA, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1025275/aplicacao-de-um-sistema-webgis-na-agricultura-de-precisao> Acesso em: 20/08/2018.

SANTOS, Isabela; BONONI, Cezar. Softwares Livres e Planejamento Urbano: Estudo e Aplicação de uma Plataforma WebGis no Município de Alfenas. 4° Jornada Científica da Geografia. Anais da 4ª Jornada Científica da Geografia UNIFAL-MG, 2016. Disponível em: <http://www.unifal-mg.edu.br/4jornadageo/system/files/anexos/cezar461_464.pdf> Acesso em: 20/058/2018.

SANTOS, Michele Urcine dos. Proposta De Sistema de Informações Territoriais e Urbanas para as Políticas de Urbanismo, Habitação E Regularização Fundiária do DF. Monografia de Especialização em Gestão da Tecnologia da Informação Departamento de Engenharia Elétrica.

SERRANO, Lino de; BENTO Fonseca. Desenvolvimento de um WebSIG para apoio à decisão na escolha de residência. Dissertação de Mestrado em Ciência e Sistema da Informação Geográfica. NOVA IMS. 2017. Paris-França. Disponível em: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/32130/1/TSIG0122.pdf> Acesso em: 20/08/2018.

SILVA, Eduardo Silverio da. Métodos de Compartilhamento de Processos Geoespaciais em Infraestrutura de Dados Espaciais. Acervo Digital UFPR, 2017. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/49383> Acesso em: 20/08/2018.

SILVA, Ricardo Morgado . Desenvolvimento de Aplicações de Sistemas de Informação Geográfica Web para Gestão de Resíduos Urbanos: O Caso dos Serviços Intermunicipalizados de Águas e Resíduos dos Municípios de Loures e Odivelas. Dissertação de Mestrado em Gestão do Território, Universidade Nova de Lisboa - Portugal, 2015. Disponível em:<https://run.unl.pt/bitstream/10362/15277/1/RSilva%20APLICA%C3%87%C3%95ES%20SIG%20WEB.pdf> Acesso em: 20/08/2018.

SOUZA, André Delgado de; SOBRAL, Maria do Carmo; CANDEIAS, Ana Lúcia Bezerra. Geotecnologias Aplicadas às Auditorias de Obras Públicas no Brasil: Panorama Geral e Perspectivas. Revista da Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto - SBC, v. 69, n. 8, 2017. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/1747> Acesso em: 20/08/2018.

VERA-CRUZ, Deborah Cristina Ramos de Pina. Sistema de Informação Geográfica na Internet para apoio à gestão de Infra-estruturas, baseado em ferramentas Open Source. Universidade de Cabo Verde. Dissertação de Mestrado em Ciência e Sistemas da Informação Geográfica da Universidade de Cabo Verde, Cabo verde, 2011. Disponível em: <http://www.portaldoconhecimento.gov.cv/bitstream/10961/1634/1/Tese_Mestrado_C%26SIG_UniCV_UNL_Deborah_Vera_Cruz_2012.pdf> Acesso em: 20/08/2018.

WU Su-li, LOU Quan-sheng, QUAN Zhi-jie, LI Xiao-jun. *Study of Setting Up The Forest Resources Management Information System Based on Webgis.* *Chinese Geographical Science*, *March 2003*, Volume 13, Issue 1, pp 56–61. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11769-003-0085-5> Acesso em: 20/08/2018.

M. A. Brovelli, F. C. Fahl, M. Minghini, M. E. Molinari. *Land User and Land Cover Maps of Europe: A Webgis Platform. INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, 2016.* Disponível em: <http://hdl.handle.net/11311/1009699> Acesso em: 20/08/2018.

G. Vacca, D. R. Fiorino, D. Pili. *A Webgis For The Knowledge And Conservation Of The Historical Buildings In Sardinia (Italy).* I*nt. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-4/W2*, 171-178, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W2-171-2017> Acesso em: 20/08/2018.

Xingxian Luo. *An Integrated WebGIS-Based Mangement Platform of Geopark.* *The Open Construction and Building Technology Journal*, *2015, 9: 287-291*. Disponível em: https://benthamopen.com/ABSTRACT/TOBCTJ-9-287> Acesso em: 20/08/2018.

GEOCODIFICAÇÃO DOS ATROPELAMENTOS DE PEDESTRES NA CIDADE DO RECIFE: UMA ESPACIALIZAÇÃO ATRAVÉS DO ESTIMADOR DE INTENSIDADE KERNEL.

GABRIELA DAYSE DA SILVA MONTEIRO 1
LUCILENE ANTUNES CORREIA MARQUÊS DE SÁ 2

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
gabrielladayse@gmail.com, lacms@ufpe.br

RESUMO - Este trabalho apresenta um estudo da aplicação de análise espacial através do estimador de intensidade Kernel para representação espacial dos dados de atropelamentos de pedestres na Cidade do Recife. Tal região de estudo é marcada por sérios problemas relacionados ao tráfego e mobilidade urbana decorrentes da falha no planejamento urbano e no controle da ocupação do solo, aonde vem observando a ampliação de riscos para a qualidade do deslocamento dos pedestres. O estudo tem como objetivo analisar espacialmente as áreas mais propensas a atropelamentos e validar a importância dos registros receberem referência de coordenadas. Para isso, iniciou-se a coleta dos dados de acidentes nos anos de 2014 e 2016 da Prefeitura da Cidade do Recife e a realização da discriminação das ocorrências de atropelamento de pedestres. Em seguida, elaborou-se a geocodificação por meio do plugin MMQGIS, a partir da definição do endereço, cidade, estado e país desses dados, foi possível a distribuição desses eventos no espaço geográfico e avaliá-los, através do software QGIS. O estimador Kernel foi utilizado para gerar o mapa de calor que representa o valor estimado da densidade de ocorrência de atropelamentos. A análise espacial permitiu a visualização das concentrações de acidentes envolvendo pedestres nos anos estudados.

ABSTRACT - This work presents a study of the application of spatial analysis through the Kernel intensity estimator for spatial representation of pedestrian pedestrian data in the city of Recife. This region of study is marked by serious problems related to traffic and urban mobility due to the failure in urban planning and land occupation control, where the increase in risks for the quality of the pedestrians' displacement has been observed. The study aims to analyze spatially the areas most prone to run over and validate the importance of records receiving coordinate reference. To this end, the accident data was collected in the years 2014 and 2016 of the City Hall of Recife, and the occurrence of pedestrian overhangs occurred. Next, the geocoding was done by means of the MMQGIS plugin, from the definition of the address, city, state and country of these data, it was possible to distribute these events in the geographic space and to evaluate them through the QGIS software. The Kernel estimator was used to generate the heat map that represents the estimated value of the occurrence density of run over. The spatial analysis allowed the visualization of the concentrations of accidents involving pedestrians in the studied years.

1 INTRODUÇÃO

O crescente número de acidentes de trânsito no Brasil exige estudos e medidas eficazes para a redução de sua frequência e severidade. O conflito entre pedestres e veículos tende a agravar-se a partir do momento que as cidades brasileiras crescem cada vez num ritmo mais acelerado e, nem sempre, de forma organizada e sustentável. A expansão da cidade e a melhoria dos níveis sócio-econômicos, inevitavelmente, levam a uma expansão da frota veicular nos centros urbanos, principalmente dos veículos leves. Portanto, o usuário que caminha na cidade tende a ficar mais exposto a acidentes e com maior possibilidade de envolver-se numa colisão com veículo – o atropelamento. No Brasil, a morte frequente de pessoas, vítimas de colisões ou atropelamentos, já se configura numa banalidade estatística pela falta de atenção do poder público para esta questão. Segundo dados do DATASUS em 2014, na cidade do Recife – Pernambuco perde-se tantas vidas em decorrência de incidentes de trânsito quanto em decorrência de homicídios. Os dados mostram 560 mortes no trânsito, indicando 34,6 mortes para cada 100 mil habitantes, sendo que a média do Brasil é de 23,4 mortes para cada 100 mil habitantes (OBSERVARECIFE, 2016).

De acordo com Bastos et al. (2005) o aumento do número de veículos circulantes e a alta frequência de comportamentos inadequados, aliados a uma vigilância insuficiente leva ao acidente de trânsito, constituindo ele uma causa importante de traumatismos, especialmente na população brasileira, onde o mesmo é considerado um dos mais perigosos. Para o autor, o alto índice de motorização reflete-se no perfil de morbimortalidade, pois, além de serem responsáveis por importante parcela de mortes, os acidentes de trânsito são também os segundos maiores responsáveis pela perda de anos potenciais de vida, sendo superados, atualmente, apenas pelos homicídios.

Os pedestres tem maior probabilidade de sofre graves ferimentos, com maior chance de lesões internas e maiores risco de óbito. No Brasil, a maioria das vítimas de trânsito que morrem são pedestres, e estes correspondem por cerca de 50,0% do total das hospitalizações por lesões causadas por esses acidentes (TRESISOL, BOHM e VINHOLES, 2012). O atropelamento é um mecanismo muito frequente de trauma na população urbana, as lesões por atropelamentos são mais graves, pois o pedestre tem menos proteção do que o ocupante de um veículo, onde a carroceria absorve parte da energia cinética da colisão (FIGUEREDO, MANNARINO, PRATES, et al., 1996).

Esta pesquisa tem como objetivo principal analisar a acidentalidade envolvendo atropelamentos de pedestres e sua possível analise espacial através das Tecnologias da Geoinformação, como o Sistema de Informações Geográficas - SIG e métodos geoestatísticos.

1.1 Acidentes de trânsito e sua geocodificação

Os acidentes de trânsito são uma das principais causas de mortes no mundo, estando na 9ª posição, e podem chegar à 6ª se prosseguirem os atuais níveis de crescimento, até 2020. É uma das maiores causas de mortes da era moderna. Aproximadamente 15 milhões de pessoas ficam feridas em acidentes de trânsito por ano nos países em desenvolvimento. Na maioria destes países, inclusive o Brasil, foram construídas grandes redes viárias, orientando seus modelos ao uso de automóveis. Entretanto, a falta de planejamento e investimentos adequados para a manutenção destas vias levou-as a uma rápida deterioração física propiciando condições inseguras no trânsito (SANTOS & RAIA JR., 2007).

O desenho urbano é o estruturador dos deslocamentos dentro das cidades. Em virtude disso é importante que planejadores e administração pública comprometam-se com um planejamento urbano, que considere o zoneamento, vias e calçadas dimensionadas pela previsão de fluxo de veículos e pedestres e legislação condizente com essas premissas. A aplicação e fiscalização destas ações também são relevantes.

A alta ocorrência de atropelamentos observado e percebido das vias de Recife fornecer indicativos para o gerenciamento da segurança dos pedestres. Por isso, é importante a adoção de medidas de segurança viária que visem prevenir e mitigar os riscos de acidentes envolvendo pedestres. Para que essas medidas sejam eficazes, as informações sobre onde, como e porque os atropelamentos acontecem devem ser embasadas em dados espaciais georreferrenciados a uma base cartográfica, porém como em sua maioria os registros de acidentes de trânsitos não são relacionados com posicionamento geográficos, mas ao logradouro referente ao evento. Como o uso da geocodificação desses registos é possível converter textos em dados geoespaciais válidos, latitude e longitude, por exemplo. Assim, o endereço geocodificado pode ser georreferenciado em um mapa terrestre, sendo caracterizado por uma informação espacial explicita ou informação geográfica (DANIELI, 2015).

Um dos Sistemas de informação geográfico muito utilizado é o QGIS, onde existem diversos complementos que auxiliam no georreferenciamento de pontos, entre eles o de geocodificação MMQGIS que podem ser instalado e permite geocodificar vários endereços ao mesmo tempo por meio de uma planilha em formato CSV com a codificação UTF-8. O plugin MMQGIS possui um algoritmo que envia os endereços para a base de informação do Google e retorna o resultado em shapefile. Com efeito, todos os endereços vão possuir coordenadas XY e podem ser considerados como informação geoespacial.

1.2 SIG na analise espacial de ocorrência de acidentes

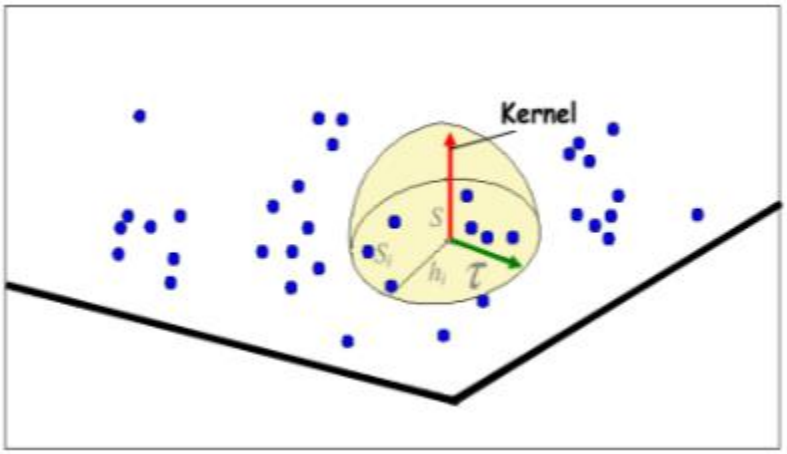
A utilização de SIG tem importância fundamental no estudo dos acidentes de trânsito, pois permite associar os atributos de cada acidente com suas respectivas localizações espaciais. Isto possibilita compreender as relações existentes entre os acidentes e o ambiente onde eles ocorreram. Levine & Kim (1996) afirmam que são várias as razões para a utilização de SIG no planejamento de transportes e segurança viária, destacando-se o desempenho e a segurança que o sistema proporciona na análise dos dados em relação aos sistemas anteriores, visto que esses sistemas podem oferecer novos conceitos para a manipulação dos dados. O uso do solo exerce grande influência nos eventos ocorridos no sistema viário, inclusive nos acidentes de tráfego. Portanto, ao se analisar os acidentes de trânsito, recomendável levar em consideração a componente espacial (localização) dos dados analisados, e que suas ocorrências representam eventos espaciais.

Na análise das mortes por acidentes de trânsito, a informação sobre o local de ocorrência do acidente assume importante destaque pela própria natureza do evento, já que se trata de acidentes que necessariamente acontecem na via pública. Com isso, o SIG torna-se uma importante ferramenta na visualização, gerenciamento e análise das tomadas de decisões de acidentes, através dos pontos, trechos ou áreas críticas na rede de mobilidade urbana, com um par de coordenadas geográficas ou de um endereço previamente definido pelo órgão gestor. Devido a essa natureza espacial, os acidentes de trânsito podem ser analisados por um sistema que permite a ligação entre seus atributos (tipo de acidente, hora, local, vítimas, etc.) e dados espaciais.

1.3 Estimador de intensidade kernel

O "Kernel Estimation" ou estimador de núcleo, é um método bastante simples na busca de se representar e analisar o comportamento de padrões de pontos e estimar a densidade pontual do processo em toda a região de estudo. Este se ajusta por uma função bidimensional sobre os eventos considerados, compondo uma superfície cujo valor é proporcional à densidade de amostras por unidade de área. A função Kernel, realiza uma contagem de todos os pontos dentro de um raio de influência (Figura 1), ponderando-se pela distância de cada um à localização de interesse (BERGAMASCHI, 2010).

Figura 1 - Estimador de intensidades de distribuição de pontos.



Fonte: Jesus & Miura (2009).

A função que o representa é dada por:

$$\lambda_\tau(u) = \sum_{h_i \le \tau} \frac{3}{\pi\tau^2}\left(1 - \frac{{h_i}^2}{\tau^2}\right)^2 \quad (1)$$

Onde:
τ é o raio de influência;
h é a distância entre o ponto S e o ponto observado S_i

O mapa de calor, conhecido como Mapa de Densidade, usa a Estimativa de Densidade Kernel para criar um raster de densidade (mapa de temperatura) a partir de uma camada de pontos vetorial. A densidade calculada é baseada no número de pontos em uma localização, com um conjunto largo de pontos agrupados resultando em valores altos. Os mapas de temperatura permitem facilmente identificar "pontos quentes" e agrupar pontos.

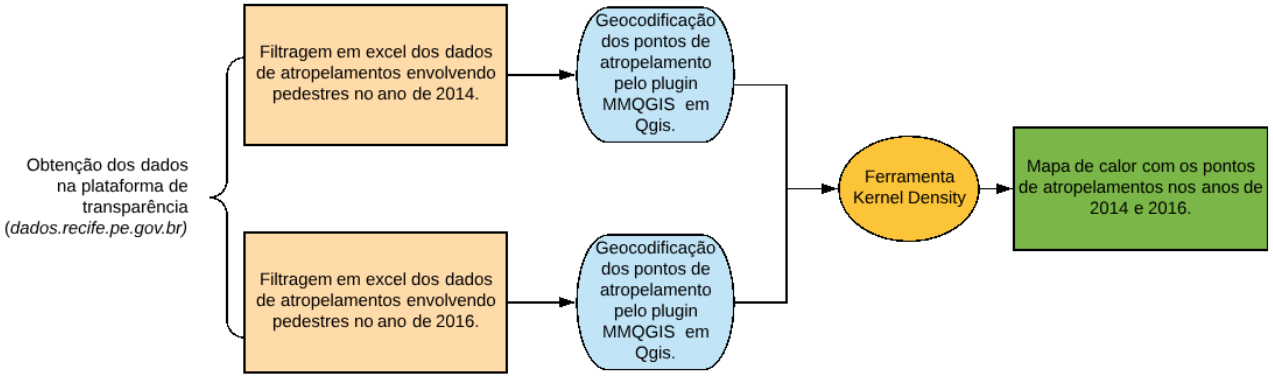
2 METODOLOGIA DO TRABALHO

Foram utilizados dados abertos de acidentes de trânsitos nos anos de 2014 e 2016 da Prefeitura da Cidade do Recife – PCR, disponíveis na plataforma de transparência *dados.recife.pe.gov.br* (PCR, 2016).

A metodologia deste estudo considera os acidentes de trânsito como eventos espaciais e cartograficamente dependentes da aferição da geocodificação de endereços, que surge como um facilitador, uma vez que, é capaz de transformar um conjunto de textos – strings, representativos de um lugar (logradouro, número, bairro, cep, cidade, estado, país) em coordenadas (latitude e longitude). Essa transformação acaba por permitir a análise dos dados, uma vez espacializados, através de uma nova perspectiva de localização espacial dos acidentes.

Para aplicação da metodologia, utilizou-se o software Qgis 2.14.22 utilizando a análise dos dados de atropelamentos registrados na cidade do Recife - Pernambuco durante os anos de 2014 e 2016. Foram identificados 252 atropelamentos no ano de 2014 e 167 atropelamentos em 2016. Essa análise parcial dos acidentes incluiu a coleta de dados e a validação da geocodificação, a partir dessa espacialização é possível empregar as futuras analises espacial. Após montagem do banco de dados, pôde-se aplicar o estimador Kernel para avaliar o fenômeno em questão. Optou-se como parâmetros para a estimação usar o raio de 600m. O esquema exposto na Figura 2 ilustra os procedimentos metodológicos utilizados desde a aquisição dos dados até a elaboração do mapa de calor.

Figura 2 – Procedimentos metodológicos.

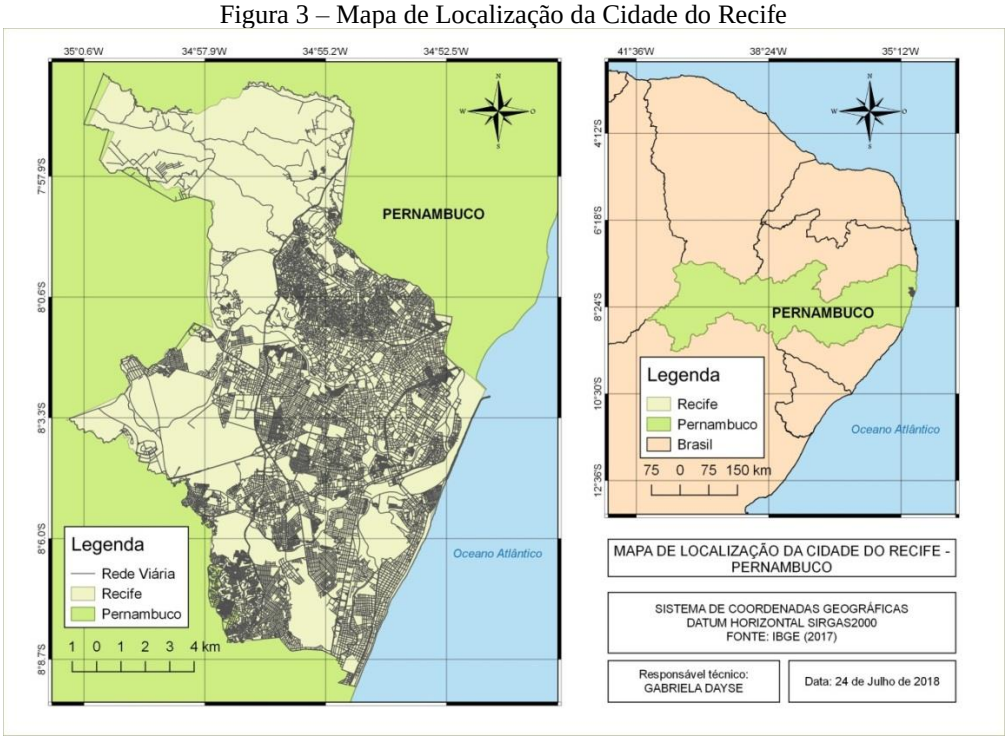


Fonte: Autoras (2018)

2.1 Caracterização da área de estudo

A cidade do Recife é a capital do estado de Pernambuco, localizado na Região Nordeste do país. Com área territorial de aproximadamente 218 km² (IBGE, 2013). Cidade nordestina com o melhor Índice de Desenvolvimento Humano (IDH-M), o Recife possui o quarto aglomerado urbano mais populoso do Brasil, com 4 milhões de habitantes em 2017, superado apenas pelas concentrações urbanas de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. A cidade tem sofrido um forte aumento no número de automóveis em circulação, o que tem causado problemas para o deslocamento dos habitantes. De acordo com o relatório do Detran-PE de março de 2015, o Grande Recife tinha uma frota de 1.246.107 veículos. A Localização da cidade do Recife e sua rede viária podem ser observadas na Figura 3.

Figura 3 – Mapa de Localização da Cidade do Recife

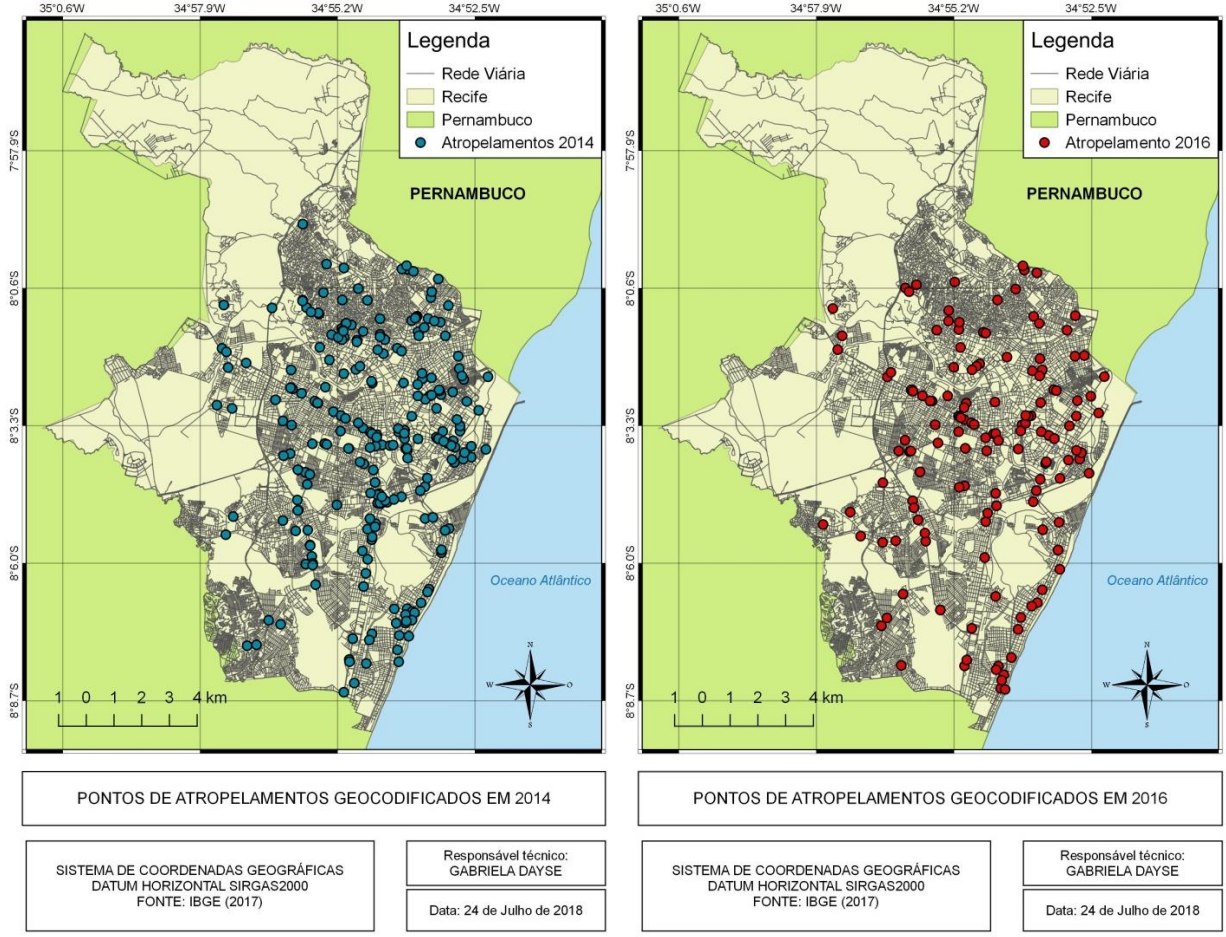


Fonte: Autoras (2018)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados dos acidentes de trânsito envolvendo pedestres foram coletados e digitalizados na interface Microsoft Excel e foram fornecidos pela plataforma de dados abertos da PCR. Houve a necessidade dos dados serem digitados para a forma de tabelas, pois alguns não havia informações referentes às coordenadas geográficas. Após o georreferenciamento dos dados por meio da geocodificação de endereço por meio do plugin MMQGIS, foi espacializado um total de 419 registros conforme as Figura 4 e 5.

Figura 4 – Pontos de atropelamentos geocodificados nos anos de 2014 e 2016.



Fonte: Autoras (2018)

Dentre esses atropelamentos, 252 ocorreram no ano de 2014 e 167 no ano de 2016. Os mesmos meses em cada ano apresentaram comportamentos distintos, conforme é possível verificar nas tabelas 1 e 2. Os acidentes ocorreram em maior frequência nos meses de julho/2014 e outubro/2016, porém de acordo com a distribuição espacial dos atropelamentos nos dois anos e possível identificar a recorrência das localidades independente do espaço tempo em que ocorreram.

Tal comportamento pode ser explicado por que os riscos de atropelamento são influenciados por uma combinação de fatores relacionados ao ambiente construído, entre os quais estão: as características do transporte público, a largura da via, o número de faixas de tráfego de veículos, a presença de sinalização, a velocidade permitida das vias e o volume de pedestres e de veículos. No entanto, a importância relativa de cada característica do ambiente construído em afetar o risco de atropelamentos permanece incerta devido à escassez de dados e recursos para sua obtenção de tais dados.

Tabela 1 – Número de atropelamentos por mês em 2014.

Meses	Pedestres atropelados em 2014
Janeiro	9

Fevereiro	10
Março	29
Abril	17
Maio	19
Junho	26
Julho	34
Agosto	20
Setembro	31
Outubro	25
Novembro	20
Dezembro	12
Total Geral	252

Tabela 2 – Número de atropelamentos por mês em 2016.

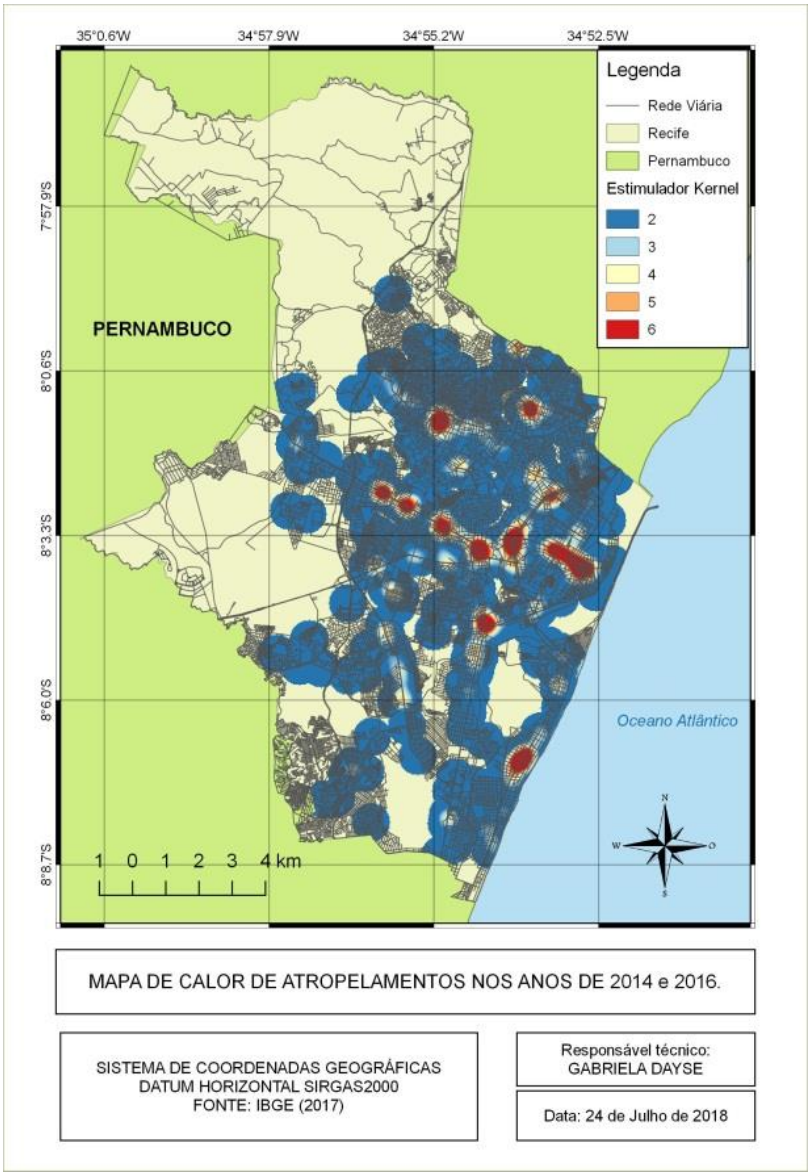
Meses	Pedestres atropelados em 2016
Janeiro	2
Fevereiro	3
Março	22
Abril	19
Maio	14
Junho	10
Julho	6
Agosto	17
Setembro	16
Outubro	28
Novembro	19
Dezembro	11
Total Geral	167

Ressalta-se que com o uso do SIG novas estudos podem ser realizados, os mapas gerados contribuem para uma melhor identificação visual dos locais em que há maior concentração de ocorrências, os lugares e características em que a quantidade de acidentes tem aumentado e os locais que ocorrem determinados tipos de acidente, ou seja, isto possibilita compreender a relação existente entre os acidentes e o ambiente onde ocorreram.

Um dos objetivos da análise de padrões pontuais é verificar se os eventos avaliados apresentam comportamento sistemático como agrupamento ou irregularidade. O resultado do trabalho em questão decorrente da análise da densidade dos pontos por kernel density gerou mapas em formato raster em gradiente de cores. A variação das cores representa a concentração ou dispersão dos atropelamentos.

Pelo mapa, os tons azuis correspondem às áreas com menores concentrações de acidentes, os tons alaranjados as áreas de médias concentrações e os tons vermelhos as áreas de altas concentrações ou áreas críticas, assim apresentadas na Figura 6 que demonstra 11 regiões de alta concentração das ocorrências de atropelamento, ao longo dos dois anos considerados, caracterizadas por uma distribuição centraliza nos espaços urbanos de maiores concentrações e fluxo na rede viária do Recife.

Figura 6 – Mapa de calor de atropelamentos dos anos 2014 e 2016.



Fonte: Autoras (2018)

4 CONCLUSÃO

A espacialização do local de ocorrência dos acidentes permite inferir quais seriam os locais mais perigosos e quais tipos de ocorrências com maior índice na cidade do Recife. O estudo apresentado foi direcionado para os casos de atropelamentos nos anos de 2014 e 2016, observando-se uma maior densidade na região central, onde circulam um grande número de pessoas. Os acidentes tendem a acontecer em vias de grande fluxo, sugerindo a relação direta com a velocidade. O fato de que a maior incidência de atropelamento sucedeu em meses diferentes com relação ao dois anos, pode ser decorrência dessas características.

A utilização do mapa de calor por intermédio do estimador de Kernel, incorporado ao software livre Qgis, forneceram bons resultados, ajudando na visualização da variação e intensidade, com que os dados se comportaram ao longo do período estudado. Os mapas possibilitam o acesso rápido e prático ao panorama da distribuição e intensidade dos atropelamentos no Recife sem necessariamente lidar com imensas tabelas de atributos, demonstrando a potencialidade das Tecnologias da Geoinformação.

Recomenda-se a continuidade do estudo, propondo a seguinte metodologia: as classes alta, média e baixa intensidade devem ser avaliadas e trabalhadas separadamente de modo a identificar com mais precisão a localização e comportamento dos acidentes envolvendo pedestres. Posteriormente devem-se cruzar estas áreas com outras informações, tais como características urbanas e da rede viária. Portanto, faz-se de suma importância para o poder público ter o conhecimento das áreas críticas, que possam ajudar no direcionamento de campanhas de impacto que

mitiguem uma redução para estes índices alarmantes envolvendo este modal de transporte. Ressalta-se que existe uma necessidade iminente na padronização do registro de acidentes trânsitos que vem a colabora com estudos futuros, para que não haja tanta perda de dados e, assim, possa resultar em um melhor entendimento das principais causas nas ocorrências de atropelamentos.

REFERÊNCIAS

BASTOS, Y. G. L.; ANDRADE, S. M. de; SOARES, D. A. **Características dos acidentes de trânsito e das vítimas atendidas em serviço pré-hospitalar em cidadebdo Sul do Brasil**, 1997/2000. Cad. Saúde Pública. Rio de Janeiro, 2005.

BERGAMASCHI, R. B. **Sig aplicado a Segurança no Trânsito - Estudo de caso no Município de Vitória – ES.** Monografia apresentada ao Departamento de Geografia do Centro Humana e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, como requisito parcial a obtenção do grau de Bacharel em Geografia, 2010.

DANIELI, R. L. **Sistema gerador de rotas através de mapas de calor**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia da Computação. Centro Universitário UNIVATES. Lajeado, 2015.

DATASUS, **Departamento de Informática do Sus**. Informações de Saúde. Disponível em: <http://www.datasus.gov.br/idb>. Acesso em: 17 jul. 2018.

FIGUEREDO, J. R. M.; MANNARINO, L.; PRATES, M. da R. **Emergência: Condutas médicas e transporte**. Rio de Janeiro: Revinter, 1996.

JESUS, S. C.; MIURA, A. K. Análise espacial de fragmentos de Cerrado como subsídio para a seleção de áreas prioritárias para conservação. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 3943-3950.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 15 de janeiro de 2013. **Áreas dos Municípios**. Consultado em Cópia arquivada em 10 de fevereiro de 2018.

LEVINE, N.; KIM. E.K. The Location of motor vehicles crash in Honolulu. **Comput. Environment And Urban Systems**, 1996. Vol. 22, n.6, p. 557-576.

OBSERVARECIFE, Observatório do Recife. **Basta de mortes no trânsito, 2016**. Disponível em: <http://bastademortesnotransito.com.br/site/>. Acesso: 6 março 2018.

PCR, **Portal de dados abertos da Prefeitura da Cidade de Recife**, disponível na plataforma de transparência <dados.recife.pe.gov.br>. Acesso: 08 de novembro 2017.

TRESISOL, D. J.; BOHM, R. L.; VINHOLES, D. B. Perfil epidemiológico dos pacientes vítimas de acidentes de trânsito atendidos no serviço de emergência do Hospital Nossa Senhora da Conceição em Tubarão, Santa Catarina. **Scientia Médica**. Porto Alegre, 2012.

SANTOS, L.; RAIA Jr.; A.A. (2007) Tendências de deslocamento espacial dos acidentes de trânsito em São Carlos com o uso da técnica de EDP. In: XIV **Congreso Latinoamericano de Transporte Público y Urbano**, Anais em CD ROM, Rio de Janeiro.

GERAÇÃO DE BASE CARTOGRÁFICA TRIDIMENSIONAL COM USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

Manuella Anaís Rodrigues Fagundes[1]
Andrea Lopes Iescheck[2]

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS[1,2]
Instituto de Geociências – Igeo[2]
Departamento de Geodésia, Porto Alegre, RS[2]
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto[1]

manuella.fagundes@ufrgs.br, andrea.iescheck@ufrgs.com

RESUMO - O presente trabalho apresenta o processo de elaboração de uma base cartográfica tridimensional, a partir de dados obtidos com o uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). A área de estudo se situa no município de Candiota, estado do Rio Grande do Sul, e abrange o complexo termelétrico e região de entorno. A metodologia adotada envolve as etapas de pré-sinalização, execução do voo, processamento das fotografias, geração de ortofoto, geração do Modelo Digital do Terreno (MDT), geração do Modelo Digital de Superfície (MDS), vetorização e elaboração da base cartográfica tridimensional. Os processos resultaram em uma base cartográfica tridimensional, com qualidade posicional (planimétrica) compatível com produtos cartográficos na escala 1:500 ou menores, considerando o Padrão de Exatidão Cartográfica classe A. Para a altimetria, o erro máximo testado em 90% dos pontos foi de 1,277 metros e o desvio padrão de 1,078 metros. Este material contribuirá para os trabalhos direcionados a análises de dispersão de poluentes atmosféricos, e para os demais estudos a serem desenvolvidos nesta região.

ABSTRACT - This work present the process to make a three-dimensional map, using data of an unmanned aerial vehicle (UAV). The study area for this research is part o f a small town called Candiota, in the State of Rio Grande do Sul, and comprises the thermoelectric complex region and its surroundings. The methodology entails the following stages: field signaling, flight execution, photo processing, ortophoto generation, Digital Terrain Model (DTM) and Digital Surface Model (DSM) generation, vectorization and three-dimensional map elaboration. The process resulted in a three-dimensional base map, with positional quality (planimetric), compatible with cartographic products in the 1: 500 scale or smaller, considering the class A cartographic accuracy standard. For altimetry, the maximum error tested at 90% of the points was 1,277 meters and the standard displacement of 1,078 meters. This material which will contribute to the directed studies to dispersion of air pollutants, and other studies to be developed in the area.

1 INTRODUÇÃO

O uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) tem crescido substancialmente nas mais diversas áreas do conhecimento e para diferentes aplicações. O histórico mostra que os VANTs, inicialmente, eram uma tecnologia de uso militar, com o objetivo de reconhecer territórios, porém, com o passar do tempo, tornou-se mais acessível ao público em geral (Brasil, 2016). A Agência Nacional de Aviação Civil, por meio de regulamentação específica, apresenta todas as diretrizes relevantes para as operações civis de aeronaves não tripuladas no Brasil (ANAC, 2017).

De acordo com Silva (2015), o crescimento do mercado interessado em imagens digitais obtidas em plataformas VANT se dá em virtude da integração de métodos fotogramétricos com os avanços da visão computacional. Assim, o uso de VANT para fins de mapeamento, tanto topográfico como temático, também tem aumentado.

Conforme apresentado por Luz et. al (2017), com a evolução da tecnologia envolvendo os VANTs, estes se tornaram ferramentas úteis na aquisição de fotografias aéreas para mapeamento. Com as devidas manipulações matemáticas, as imagens obtidas pelos sensores podem permitir a fotointerpretação e extração de informações de interesse.

Dentre as inúmeras aplicações possíveis está a meteorologia. Malheiros (2014) apresenta a aplicação de VANT para monitoramento da camada-limite atmosférica, onde sensores são acoplados ao veículo para medições de perfil de temperatura, umidade e pressão. Teixeira et al. (2014) propõem a aplicação de VANT para medições de temperatura e

umidade através de sensores de baixo custo, podendo contribuir para uma gama de aplicações em estudos meteorológicos. As informações provenientes de VANTs podem contribuir para estudos de qualidade do ar, mais especificamente relacionadas ao conhecimento da distribuição espacial dos agentes poluidores do ar, liberados por fontes fixas, como usinas termelétricas. O interesse dos meteorologistas é quantificar e avaliar como esses poluentes se comportam ao serem liberados em regiões próximas às usinas.

O presente trabalho está inserido no projeto que visa à modelagem da dispersão de poluentes atmosféricos. A modelagem da dispersão de poluentes atmosféricos pressupõe o conhecimento da intensidade das emissões e das características físicas da região (relevo e uso da terra). Os dados dos poluentes são obtidos de maneira pontual, a partir de estações de medição, e o conhecimento da região se dá a partir de bases cartográficas. Este trabalho apresenta uma proposta de procedimentos para geração de uma base de dados geoespaciais tridimensional a partir de dados obtidos com VANT.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

A área de estudo compreendeu o complexo termelétrico de Candiota e a região de seu entorno, localizada no município de Candiota, estado do Rio Grande do Sul. Este município se situa a aproximadamente 400km de Porto Alegre e a área piloto selecionada totaliza 7,6 Km² (Figura 1).

Figura 1- Área de estudo

Os procedimentos adotados para elaboração da base cartográfica tridimensional envolveram a pré-sinalização e o apoio geodésico; o aerolevantamento e o processamento das fotografias; a geração da ortofoto, do Modelo Digital do Terreno (MDT) e do Modelo Digital de Superfície (MDS); a vetorização e a geração da base cartográfica tridimensional; e a análise da qualidade posicional dos produtos gerados.

Na etapa de pré-sinalização e apoio geodésico, a área de interesse foi pré-sinalizada com nove alvos de lona PVC, com tamanho 60cm x 60cm (preto) e centro circular de 30 cm de diâmetro (branco). Obteve-se as coordenadas dos pontos centrais dos alvos a partir do rastreamento com receptor GNSS pelo método de posicionamento relativo estático. Utilizou-se dois receptores geodésicos Topcon Hiper Lite Plus, sendo um estático (base) e um móvel. A estação de referência foi posicionada em uma propriedade privada.

Ajustou-se no software Topcon Tools as coordenadas obtidas. Primeiramente triangulou-se a base com as estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), Pelotas (RSPE) e Santa Maria (SMAR), e posteriormente, utilizou-se a mesma como referência para o processamento das coordenadas dos pontos de controle (alvos) rastreados. As estações RSPE e SMAR localizam-se aproximadamente 133 km e 213,21 km do município de Candiota, respectivamente.

Realizou-se o planejamento do aerolevantamento no software Xmobots-Mission Planner. Os parâmetros utilizados neste planejamento são apresentados na tabela 1. Para execução do voo, utilizou-se o VANT (ECHAR 20A), equipado com uma câmera digital de 18 Mpixels e sensor com as bandas infravermelho próximo, verde e azul (NIRGB).

Tabela 1 - Planejamento do voo

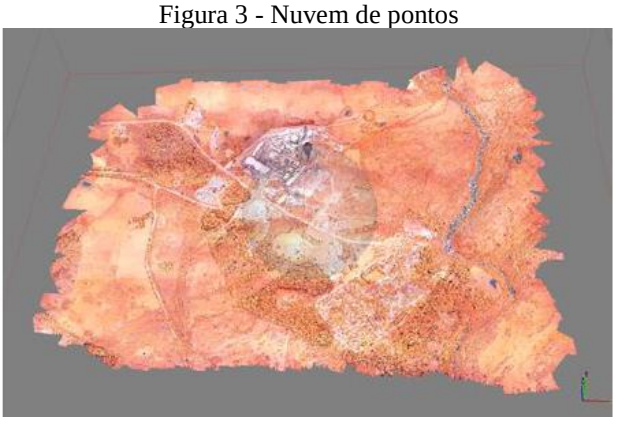
Altitude de voo	600m
Resolução	10cm
Número de fotografias	602
Sobreposição lateral	30%
Sobreposição longitudinal	60%
Número de faixas	9
Sentido de voo	Leste-Oeste

Após o voo, o processamento das fotografias foi realizado no software Agisoft PhotoScan. Inicialmente, procedeu-se o alinhamento arbitrário das fotografias com o objetivo de reconhecer e marcar os alvos artificiais. Inseriu-se o log de voo, que consiste em um arquivo no formato texto contendo as coordenadas do centro de cada fotografia. No passo seguinte foi adicionado o arquivo contendo os pontos de controle. A figura 2 mostra a base de lançamento do VANT e o resultado do alinhamento das fotografias.

Figura 2 – Lançamento do VANT e alinhamento das fotografias

O software executa a modelagem tridimensional com base em imagens controladas ou não. Inicialmente, criou-se uma nuvem de pontos com base nas imagens e nas suas posições. Esta nuvem de pontos foi densificada (Figura 3) para subsidiar a geração da ortofoto e dos modelos digitais (MDT e MDS).

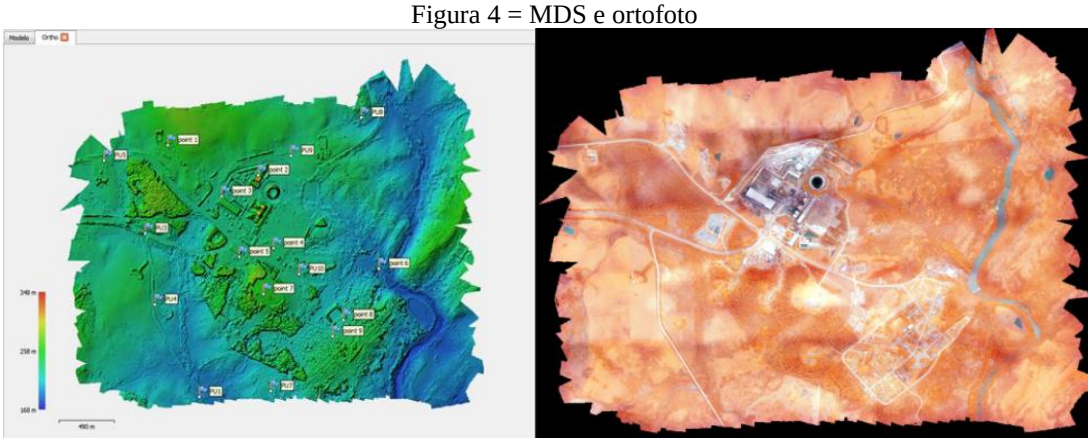
Figura 3 - Nuvem de pontos



A partir da nuvem de pontos foram gerados os modelos, sendo eles o MDS para extração das alturas das edificações, e o MDT para produzir a ortofoto. A geração da ortofoto consiste no reposicionamento dos pixels para minimizar o desvio devido ao relevo e à inclinação das fotografias, e corrigir as distorções da câmera. Tendo por base as

fotografias realinhadas e o MDT, gerou-se a ortofoto com resolução de 10 cm. A figura 4 mostra o MDS e a ortofoto da área de estudo, respectivamente.

Figura 4 = MDS e ortofoto



A vetorização das feições de interesse e a geração da base cartográfica foram executadas no software QGIS. Primeiramente, estabeleceu-se as classes que iriam compor a base cartográfica tridimensional. A partir das características da área a ser mapeada e do objetivo do mapeamento, definiu-se as seguintes categorias: sistema viário, hidrografia (cursos d´água e massas d´água), edificações, vegetação (apenas a vegetação densa) e relevo, sendo o último representado pelo MDT.

O processo de vetorização manual foi realizado tendo por base a ortofoto. Optou-se por representar a vegetação e as edificações como polígonos. O sistema viário foi vetorizado como linha, e a hidrografia subdividida em componentes de linha e área. As figuras 5 e 6 ilustram as feições vetorizadas da hidrografia, do sistema viário, da vegetação e das edificações, respectivamente.

Figura 5 -Hidrografia e sistema viário

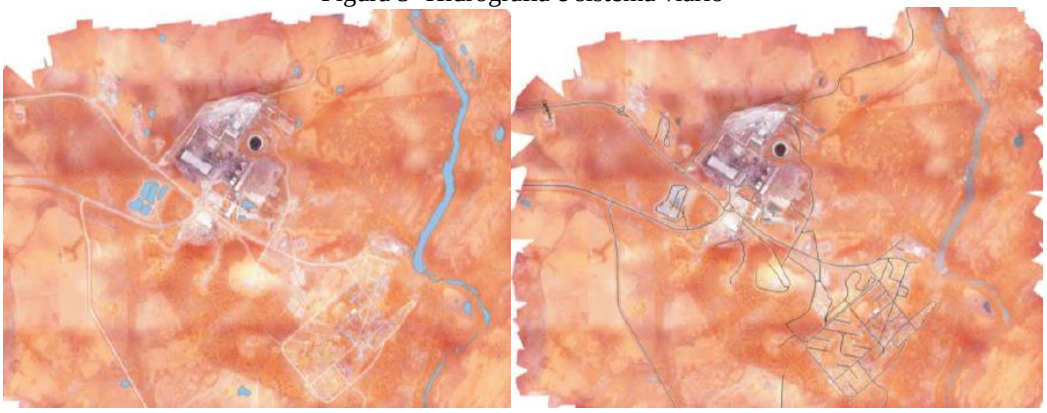
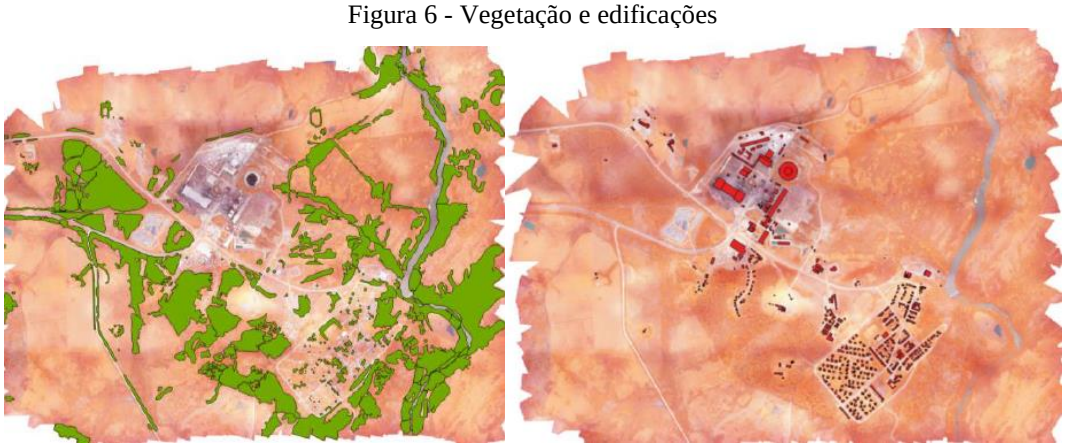


Figura 6 - Vegetação e edificações



A partir das feições vetorizadas, do MDT e do MDS, gerou-se a base cartográfica tridimensional. As alturas das chaminés e da torre de resfriamento eram conhecidas e foram inseridas manualmente. As alturas das demais edificações foram definidas a partir da identificação dos centroides dos polígonos. Nestes centroides, mediu-se os valores das coordenadas (x, y e z) correspondentes no MDT e no MDS. O valor das alturas de cada feição foi calculado pela diferença entre os valores das altitudes (z) dos centroides no MDS e no MDT.

Na análise da qualidade posicional observou-se a qualidade geométrica da ortofoto, do MDT e da representação tridimensional. Para tanto, foram medidas em campo as coordenadas de 13 (treze) pontos bem identificados na ortofoto e a altura de 25 (vinte e cinco) edificações. A figura 7 mostra um dos treze pontos medidos com GNSS e a obtenção da altura de uma das 25 edificações.

Figura 7 - Pontos medidos para o controle de qualidade

Para a medição dos treze pontos utilizou-se um GNSS Hiper Lite Plus, aplicando o posicionamento relativo estático. A estação de referência foi posicionada no marco geodésico localizado no interior da Companhia Riograndense de Mineração (CRM). O processamento destes pontos foi semelhante ao processamento dos alvos, realizado no Topcon Tools e utilizando as mesmas estações da RBMC.

Para análise da qualidade da ortofoto e do MDT, quantificou-se as discrepâncias entre as coordenadas dos 13 pontos medidas nos produtos cartográficos e as coordenadas correspondentes medidas em campo. Utilizou-se o software GeoPEC para realizar os cálculos, os quais foram conferidos e validados. Para verificação da qualidade do atributo tridimensional do mapa, ou seja, das alturas das edificações, comparou-se as alturas medidas em campo com os valores correspondentes utilizados na representação.

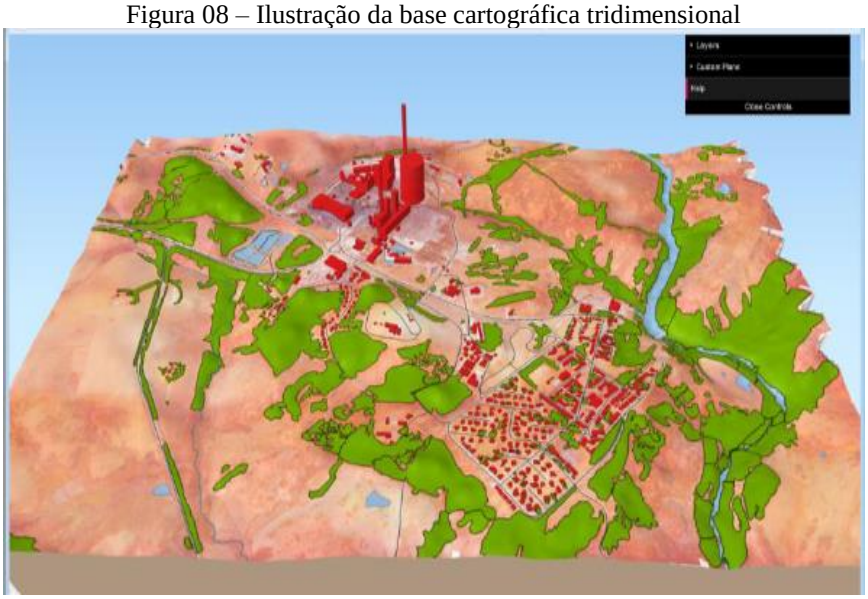
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A qualidade posicional (planimétrica) do mapa gerado foi compatível com a elaboração de produtos cartográficos na escala 1:500 ou menores, considerando o padrão de exatidão cartográfica classe A. Para a altimetria, o erro máximo testado em 90% dos pontos foi de 1,277 metros e o desvio padrão de 1,078 metros.

O relatório gerado no Geopec afirma que a análise planimétrica resultou em um produto acurado para a escala 1/500. O resultado do Padrão de Exatidão Cartográfica foi "Classe A", de acordo com o Decreto-lei n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras. O produto foi submetido à análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: é preciso e não apresenta tendência. Todos os treze pontos de checagem foram utilizados. Segundo a análise altimétrica o produto é acurado para a equidistância vertical de 3 metros das curvas de nível. O resultado do Padrão de Exatidão Cartográfica foi "Classe B", de acordo com o Decreto-lei n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras. O produto foi submetido a análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: é preciso e não apresenta tendência.

Com relação às alturas das edificações, o erro máximo testado em 90% dos pontos foi de 1,55 metros e o desvio padrão de 0,77 metros. Os produtos cartográficos intermediários foram apresentados ao longo da metodologia. O produto final, qual seja, a base cartográfica tridimensional, está apresentado na figura 08.

Figura 08 – Ilustração da base cartográfica tridimensional



4 CONCLUSÕES

O objetivo de apresentar os procedimentos utilizados na elaboração da base cartográfica tridimensional a partir de dados obtidos com VANT foi alcançado. A metodologia adotada se mostrou adequada para elaboração e controle de qualidade dos produtos cartográficos intermediários e final, porém, devem ser observadas as características locais para aplicação desta metodologia em outras áreas.

Para subsidiar as análises de dispersão de poluentes, apenas a área de estudo mostra-se insuficiente devido às restrições dos modelos de dispersão em trabalhar com áreas com dimensões inferiores a 50x50km. Neste sentido, outros voos deveriam ser realizados em regiões vizinhas, e toda a metodologia adotada para esta região de teste deveria ser aplicada para uma região maior para obtenção de resultados significativos em aplicações meteorológicas. Porém, verificada a validade da metodologia, esta pode ser executada em grande escala, conferindo resultados com a mesma qualidade.

Visando o aprimoramento da metodologia adotada, algumas observações são necessárias. A primeira refere-se à identificação correta dos centros geométricos das edificações em campo, pois os valores das alturas utilizados consideram os centros geométricos dos polígonos. Outra questão está relacionada à quantidade e à distribuição dos alvos. Constatou-se que devido ao arrastamento da imagem, o centro de alguns destes alvos não puderam ser devidamente identificados.

REFERÊNCIAS

ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil. **Regulamentos Brasileiros da Aviação Civil**. 2017. Disponível em <http://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac> Acesso em: 15 de agosto de 2017.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **Relatório de Estudo Sobre a Indústria Brasileira de Veículos Aéreos Não Tripulados**.2016. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/images/publicacao_DRONES-20161130-20012017-web.pdf>. Acesso em: 29 de setembro de 2017.

LUZ, Cristhyano Cavali da; ANTUNES, Alzir Felippe Buffara; RATTON, Philipe. **Aplicabilidade da tecnologia VANT na atualização de bases de dados cartográficos - Estudo de caso: sistema cárstico do rio João Rodrigues**. Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba, v. 73, p.34-45, 01 mar. 2017. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/geociencias>. Acesso em: 29 set. 2017.

MALHEIROS, André Luciano. **DESENVOLVIMENTO DE UM VANT (VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO) PARA MONITORAMENTO DA CAMADA-LIMITE ATMOSFÉRICA E ANÁLISE DO MODELO INTEGRAL PARA CÁLCULO DE FLUXO SUPERFICIAL DE CALOR SENSÍVEL**. 2014. 118 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Setor de Tecnologia e Ciências Exatas, Universidade

Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/44460/R - T - ANDRE LUCIANO MALHEIROS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 29 set. 2016.

SILVA, Daniel Carneiro da. **Evolução da Fotogrametria no Brasil**. Revista Brasileira de Geomática, Pato Branco, v. 3, n. 2, p.90-105, 14 dez. 2015. Disponível em: <http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/RBGeo/article/view/1924>. Acesso em: 16 set. 2016.

INDICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA A CRIAÇÃO DE CORREDORES ECOLÓGICOS NA APA ALDEIA BEBERIBE, EM PERNAMBUCO, BRASIL.

MARIA LUCIANA DA SILVA
PRICILA ALVES DA SILVA
LUCILENE ANTUNES CORREIA MARQUES DE SÁ

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
marialuciana.eng@gmail.com, alvess.pricila@gmail.com, lucilene.antunes@gmail.com

RESUMO - O tema corredor ecológico tem sua definição no Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Trata-se de um mecanismo que proporciona conectividade entre os fragmentos de vegetação remanescentes, permitindo deslocamento de animais, aumento da cobertura vegetal e dispersão de sementes. Sua criação requer uma análise espacial aprofundada da área alvo e o uso de variáveis que definam o local mais apropriado para a sua passagem, cuja manipulação demanda o uso de um Sistema de Informações Geográficas. A área de estudo é a APA Aldeia Beberibe, localizada em Pernambuco. As variáveis utilizadas foram uso do solo, altimetria, declividade, Áreas de Preservação Permanente e Áreas com Prioridade de Restauração. Essas foram classificadas em favoráveis, quando apropriadas para a criação de corredores, e desfavoráveis, quando conflituosas para a criação de corredores. A metodologia consistiu em propor corredores que cruzassem o mínimo de áreas desfavoráveis e o máximo de áreas favoráveis. Foram propostos cinco corredores e quantificou-se o quanto cada um possui de área favorável e desfavorável. O método mostrou-se eficaz para a definição de áreas potenciais, visto que as decisões posteriores a respeito da criação de corredores podem ser alicerçadas nos resultados alcançados, sendo necessária apenas a escolha do corredor mais apropriado.

ABSTRACT - The ecological corridor theme has its definition in the National System of Conservation Units. It is a mechanism that provides connectivity between remaining fragments of vegetation, allowing the displacement of animals, increasing vegetation cover and seed dispersal. Its creation requires an in-depth spatial analysis of the target area and the use of variables that define the most appropriate place for its passage, the manipulation of which requires the use of a Geographic Information System The study area is the APA Aldeia-Beberibe, located in Pernambuco, Brazil. The variables used were soil use, altimetry, declivity, Permanent Preservation Areas and Areas with Restoration Priority. These were classified as favorable, when appropriate for creating corridors, and unfavorable, when conflicting for the creation of corridors. The methodology consisted in proposing corridors that crossed the minimum of unfavorable areas and the maximum of favorable areas. Five corridors were proposed and the amount of favorable and unfavorable area was quantified. The method proved to be effective for the definition of potential areas, since subsequent decisions regarding the creation of corridors can be based on the results achieved, requiring only the most appropriate corridor selection.

1 INTRODUÇÃO

À medida que o processo de adensamento das regiões urbanas aumenta, as questões ambientais ganham ampla discussão no mundo. Entretanto, os instrumentos de política ambiental apresentam carência inesgotável quando confrontados com o acelerado crescimento populacional, logo novas ferramentas são pensadas e implementadas a fim de proporcionar um relacionamento harmonioso entre o homem e o meio ambiente, freando as ações antrópicas, aperfeiçoando o uso consciente do solo e promovendo a racionalização do uso de áreas verdes.

O processo de fragmentação florestal, ocasionado pela antropização, é responsável pela influência na composição genética das populações, reduzindo sua variabilidade e consequentemente acarretando a perda da capacidade adaptativa das espécies, podendo até mesmo ocasionar a extinção por isolamento. Tendo em vista a manutenção da biodiversidade e, por conseguinte, a sobrevivência da fauna, flora e diversos serviços ecossistêmicos para a sociedade é necessário à elaboração de estruturas cuja finalidade consiste em estabelecer a conexão entre fragmentos. (MELO et al., 2014).

Uma ferramenta que vem ganhando espaço nesse cenário de redução dos efeitos da fragmentação florestal são os chamados corredores ecológicos. No Brasil a Lei n° 9.985, de 18 de julho de 2000, institui o SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação, conceituando corredores ecológicos, em seu art. 2°, inciso XIX, como sendo:

> (...) porções de ecossistemas naturais ou seminaturais, ligando unidades de conservação, que possibilitam entre elas o fluxo de genes e o movimento da biota, facilitando a dispersão de espécies e a recolonização de áreas degradadas, bem como a manutenção de populações que demandam para sua sobrevivência áreas com extensão maior do que aquela das unidades individuais.

Os corredores ecológicos proporcionam conectividade entre os fragmentos de vegetação remanescentes, permitindo o deslocamento de animais, o aumento da cobertura vegetal e a dispersão de sementes.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2016), os corredores ecológicos consistem num tema relativamente novo com estratégia de gestão da paisagem que se caracteriza como elemento de desenvolvimento sustentável, apresentando propriedades peculiares que requerem alto grau de envolvimento e cooperação de instituições e de interessados de diversos setores para sua implementação.

Apesar de possuir previsão legal no SNUC, a implementação desses corredores consiste em processos onerosos e requer uma atuação profissional multidisciplinar, a exemplo de ecólogos, biólogos, engenheiros e economistas, visto a necessidade de uma análise espacial da área alvo, com todos os seus elementos de forma integrada, para que se possa definir o local mais apropriado à implementação do corredor. É nesse contexto que surge a potencialidade do Geoprocessamento para a criação de corredores ecológicos.

De acordo com Padilha et al. (2016), o Geoprocessamento consiste atualmente numa ferramenta primordial a ser empregada nas etapas de levantamento e processamento de informações relacionadas a questões ambientais. Nesse sentido, Lindenmayer et al. (2008) ressalta que as técnicas de geoprocessamento permitem avaliar as propriedades mais favoráveis à formação de fragmentos, contribuindo significativamente na evolução das práticas ambientais e na criação de políticas públicas voltadas para a manutenção e recuperação da biodiversidade e para a gestão racional dos recursos naturais.

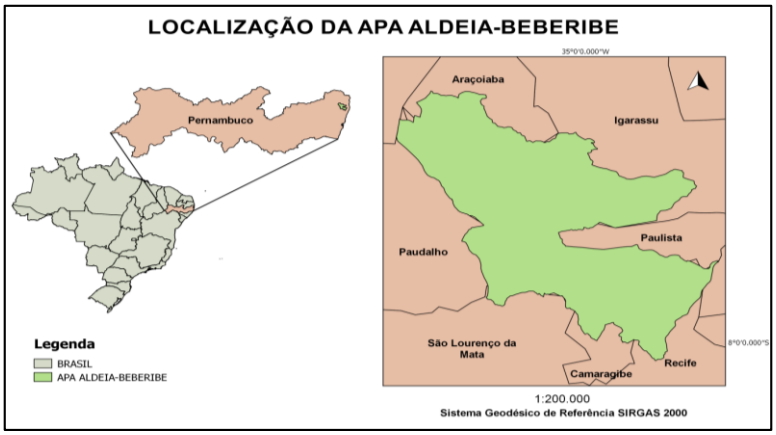
Sendo assim, o presente trabalho tem por objetivo apresentar as contribuições que o Geoprocessamento pode oferecer para delimitação de potenciais corredores ecológicos utilizando ferramentas de manipulação de dados espaciais de natureza livre e gratuita, realizando uma análise dos fatores que cada corredor se evidencia positivamente e negativamente, considerando que os métodos apresentados nesta pesquisa não são ações decisivas para a implantação de corredores ecológicos, visto que para tal finalidade são necessários métodos técnicos e estudos socioambientais, os quais se propõem a entender a dinâmica da área alvo e os impactos da implantação do corredor, além do caráter legal envolvido no projeto.

2 DESENVOLVIMENTO DE POTÊNCIAIS CORREDORES ECOLÓGICOS EM APA - ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL

2.1 Área de estudo

A APA Aldeia-Beberibe engloba segmentos dos municípios de Camaragibe, Recife, Paulista, Abreu e Lima, Igarassu, Araçoiaba, São Lourenço da Mata e Paudalho, localizados na região norte ocidental da RMR - Região Metropolitana do Recife, como mostrado na Figura 1. (CPRH, 2012).

Figura 1 - Localização da Área de estudo.



O local apresenta uma área de 31.634 hectares rica em fragmentos florestais, recursos hídricos, fauna e flora, apresentando características rurais marcantes, porém não isenta de atividades antrópicas. A APA Aldeia-Beberibe foi estabelecida a partir do Decreto Estadual Nº 34.692 de 17 de março de 2010 que segundo seu Manual de Plano de Manejo (2012, p.10) sua implantação justifica-se:

Em função da necessidade de se promover a conservação e o uso sustentável dosecossistemas de mata atlântica e proteger áreas de nascentes dos rios que formam o Grupode Bacias Litorâneas 1 – GL 1 – do Estado de Pernambuco, os quais contribuem para acomplementação do sistema de abastecimento público da Região Metropolitana do Recife.

A escolha da APA Aldeia-Beberibe como área de estudo ocorreu mediante o fato da existência de mapeamento do uso do solo por parte da CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente, com disponibilização de arquivos passíveis de manipulação em *Softwares* de SIG – Sistemas de Informações Geográficas e devido grande investigação a respeito de potenciais corredores na APA por parte do Governo do Estado de Pernambuco, inclusive com a aprovação de projeto para essa finalidade, iniciado em 2018, com prazo de execução de 12 meses.

2.2 Recursos Tecnológicos e Materiais

O programa computacional utilizado na pesquisa foi:

- QGIS versão 2.18.13.

2.3 Metodologia

Os procedimentos metodológicos desenvolvidos durante a realização deste trabalho são apresentados resumidamente na Figura 2.

Figura 2 - Processos metodológicos adotados na pesquisa.

Inicialmente realizou-se uma busca em diversos acervos digitais por materiais técnicos e teóricos que tratasse da temática em estudo. Com o resultado da pesquisa optou-se em utilizar a metodologia proposta por Bossle (2017) em seu livro "QGIS e geoprocessamento na prática" devido sua abordagem clara e simples acerca da utilização do *Software* QGIS para delimitação de corredores ecológicos.

Na aquisição de dados buscaram-se as informações necessárias que pudessem ser utilizadas como base durante a pesquisa e como resposta obteve-se:

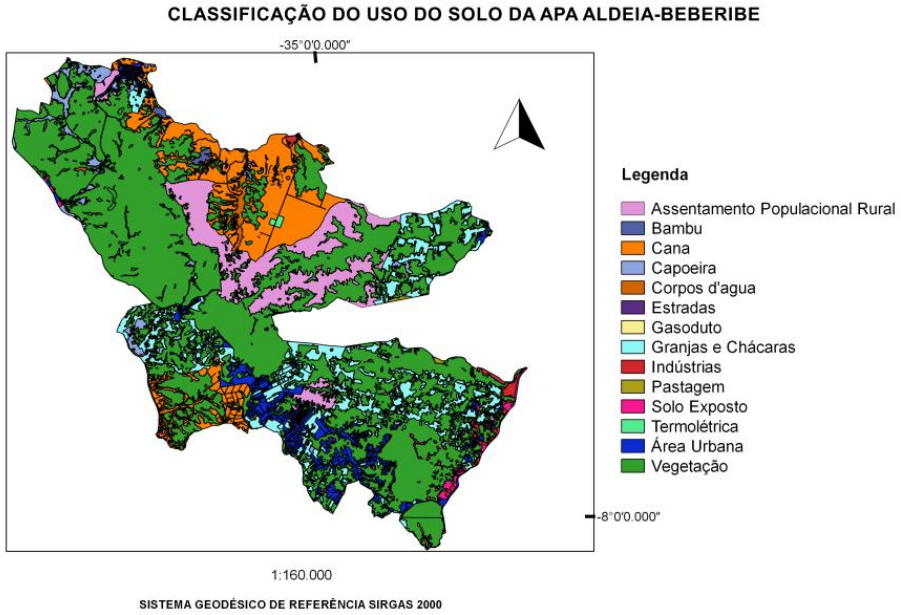
- Arquivos vetoriais de uso do solo, de APP- Áreas de Preservação Permanente e de APR – Áreas com Prioridades de Restauração cedidos pela CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente;
- Arquivos vetoriais das Unidades de Conservação de Uso Integral presentes na APA em estudo obtidos na plataforma digital do MMA - Ministério do Meio Ambiente;
- MDE – Modelo Digital de Elevação das quadrículas 07S36 e 08S36 que recobre a área de estudo disponibilizado no *Site* TOPODATA - Banco Geomorfométricos do Brasil.

As informações coletadas passaram por uma etapa de tratamento em que verificou-se o Sistema de Referência de cada produto organizando-os no sistema adotado no Brasil, o SIRGAS 2000. Os arquivos rasters foram mosaicados e delimitados segunda a área de estudo.

A partir dos dados pré-preparado deu-se inicio ao processamento dos dados. Para delimitação de corredores ecológicos é necessário levar em consideração alguns fatores que contribuem para a escolha da passagem dos mesmos. Logo, para análise serão escolhidos os corredores que possuam, simultaneamente, trajeto com vegetação, menor distância, proximidade com corpos d'águas, relevo com declividade com até 45% segundo a classificação da EMBRAPA e altitudes próximas as altitudes médias dos fragmentos conectados. (BOSSLE, 2017).

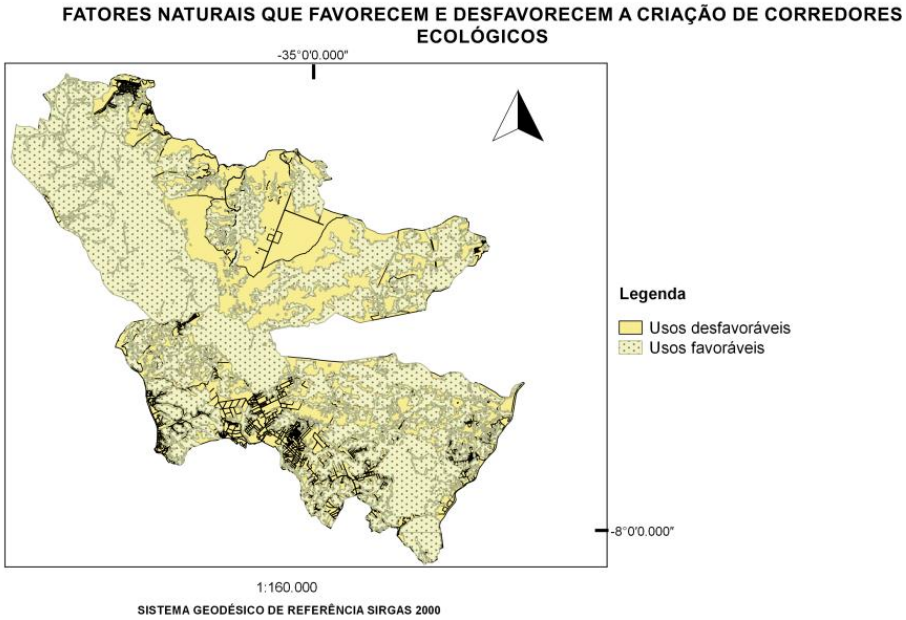
Primeiramente no arquivo referente ao uso do solo foi feita uma classificação dos componentes presentes para se obter uma visão geral do cenário envolvente que pode ser analisada na Figura 3.

Figura 2 - Componentes presentes na classificação do uso do solo da APA Aldeia-Beberibe



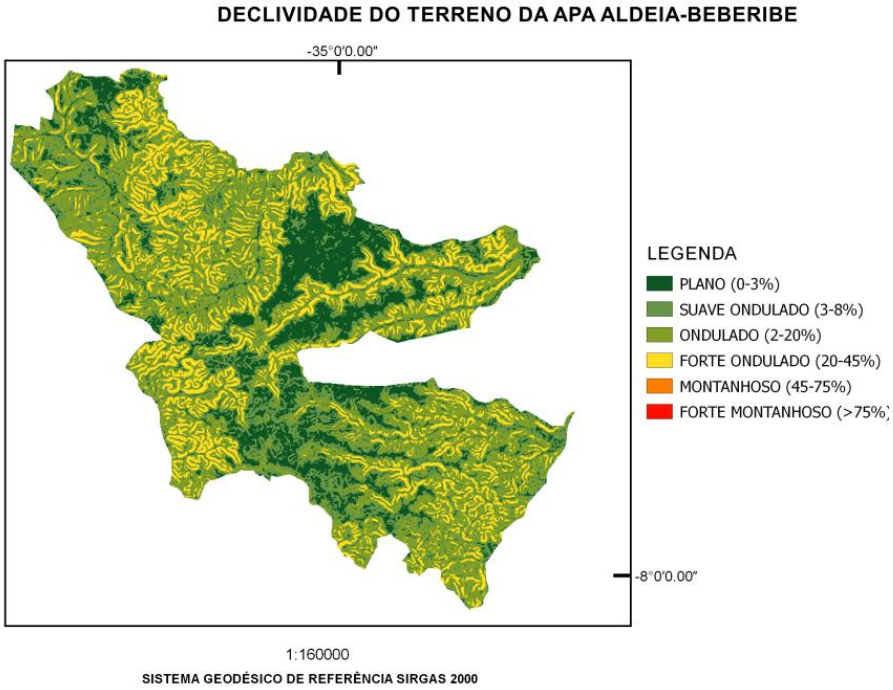
Em seguida esses mesmos dados foram organizados em dois grandes grupos de acordo com os fatores naturais que favorecem (cobertura vegetal, corpos d'águas, vegetação densa e copeira) e desfavorecem (assentamento populacional rural, bambu, cana, granjas, chácaras, indústrias, pastagem, área urbana, estradas, solo exposto e tubulações de gasoduto) a criação de corredores ecológicos. Esse agrupamento encontra-se representado na Figura 4.

Figura 4 – Agrupamento dos fatores naturais que favorecem e desfavorecem a criação de corredores ecológicos.



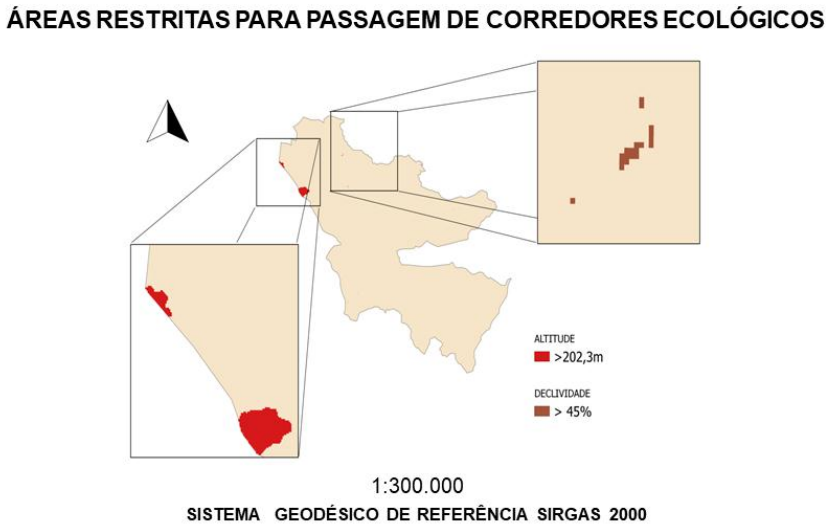
Com os dados altimétricos realizou-se uma análise da declividade do terreno que foi reclassificada obedecendo à classificação estabelecida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA como mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Análise da declividade do terreno.



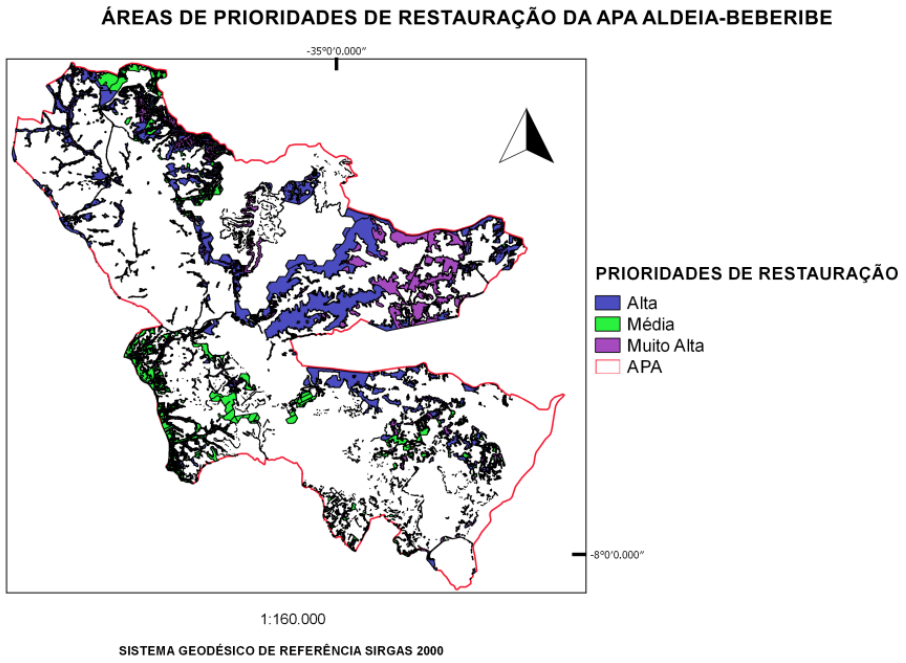
Como um dos requisitos para passagem dos corredores é possuir um terreno com declividade de até 45% e altitudes inferiores às altitudes médias dos fragmentos, foram destacados as regiões que não se enquadram nessas restrições ressaltando que foi realizada uma análise entre as altitudes das porções da qual se desejavam conectar. As regiões examinadas encontram-se representadas na Figura 6.

Figura 6 – Regiões de acesso restrito para passagem de corredores.



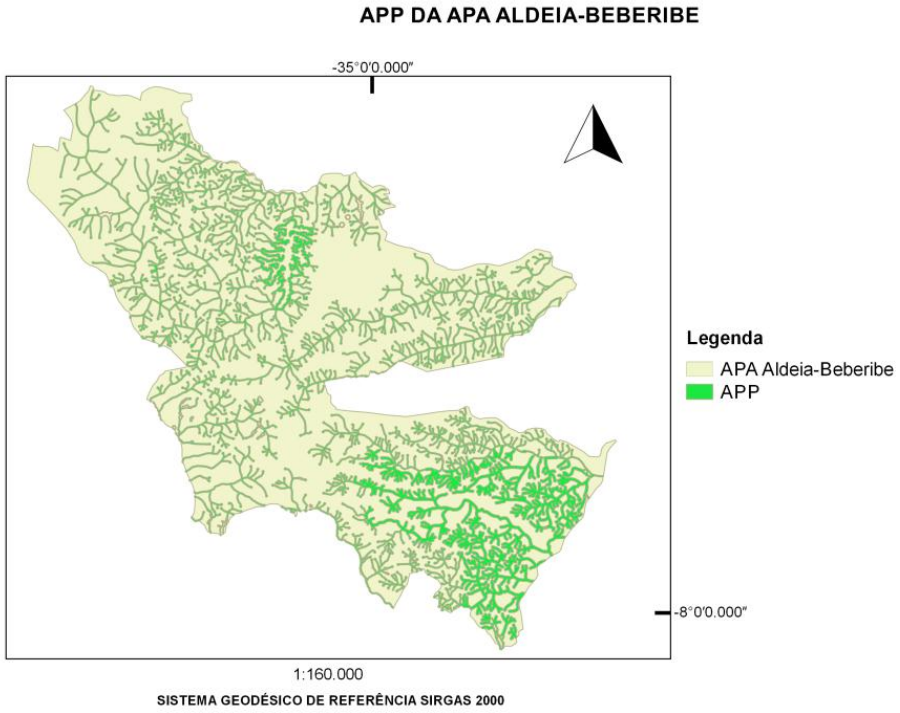
As áreas de prioridades de restauração estabelecidas o Ministério do Meio Ambiente foram reunidas e podem ser visualizadas na Figura 7.

Figura 7 – Áreas de prioridades de restauração.



As Áreas de Preservação Ambiental utilizadas no processo são descritas na Figura 8.

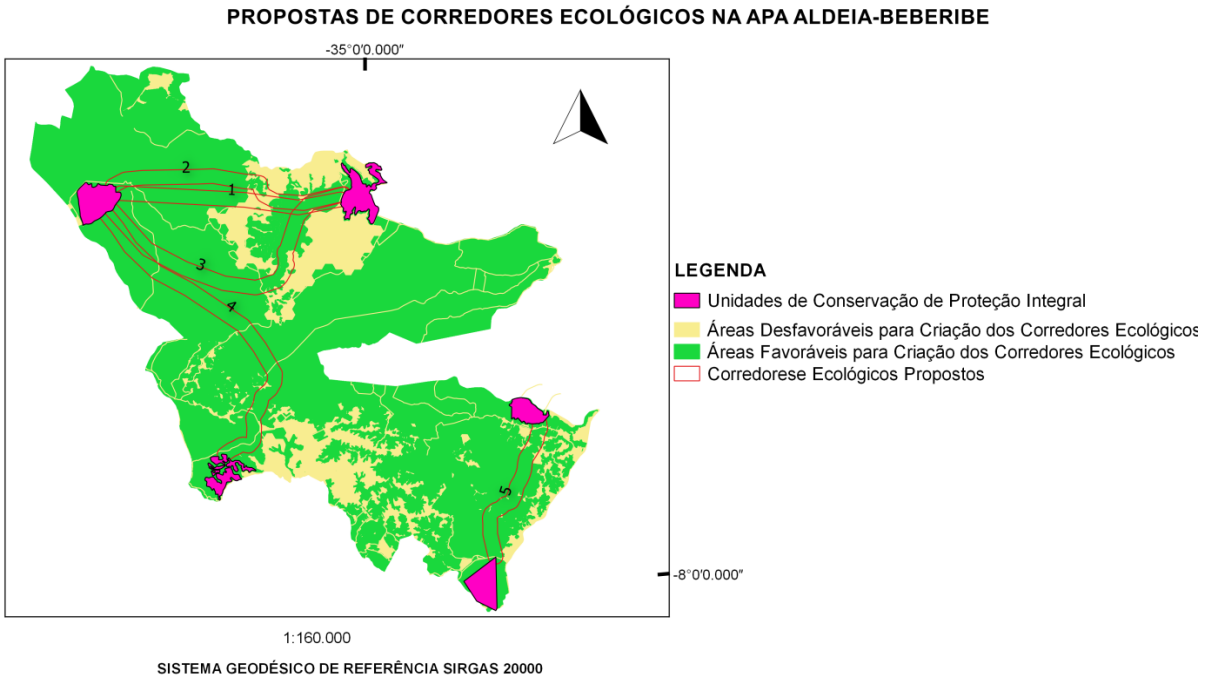
Figura 8 – APP da APA Aldeia-Beberibe.



2.4 Resultados e Discursões

A Figura 9 mostra as cinco propostas de corredores ecológicos para a APA Aldeia-Beberibe que foram traçados manualmente levando em consideração os fatores as regiões favoráveis e desfavoráveis para a passagem dos mesmos. Os corredores estão enumerados de um a cinco e tiveram suas áreas posteriormente definidas a partir de um buffer de 350 metros.

Figura -9 Representação geral das áreas favoráveis e desfavoráveis para passagem de corredores ecológicos.



A Tabela 1 contém as distâncias entre as Unidades de Conservação conectadas pelos corredores (dimensões dos eixos) e áreas dos corredores.

Tabela 1 – Dimensões dos eixos e áreas dos corredores propostos para a APA Aldeia-Beberibe.

CORREDOR	DIMENSÃO (km)	ÁREA (ha)
1	10.57	778.03
2	11.66	852.36
3	15.03	1086.24
4	16.55	1193.88
5	7.31	548.28

Por meio da Tabela 1 é possível verificar que a menor distância entre duas unidades de conservação é o de número 5, que conecta o Parque Estadual de Dois Irmãos à Estação Ecológica de Caetés e o corredor de maior distância entre duas unidades de conservação é o de número 4, que conecta o Refugio da Vida Silvestre Mata do Quizanga ao Refugio da Vida Silvestre Mata do Muritiba.

Para um aprimoramento maior dos resultados foram realizados recortes do uso do solo para cada corredor proposto indicando a quantidade de áreas favoráveis e desfavoráveis para implantação dos mesmos. Os resultados encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Usos do solo desfavoráveis (cor rosa) e favoráveis (cor verde) para implementação dos corredores ecológicos.

USO DO SOLO	ÁREA (ha)					
	APA Aldeia-Beberibe	CORREDORES PROPOSTOS				
		1	2	3	4	5
Assentamento populacional rural	2750.07	40.58	x	60.77	x	x
Bambu	82.93	x	33.44	0.00	x	x
Cana	3594.84	245.36	269.50	175.86	127.74	x
Estradas	179.00	2.51	3.88	0.82	4.31	4.01
Gasoduto	22.65	x	x	x	x	x
Granjas e Chácaras	3122.41	x	x	x	45.04	77.57
Indústrias	167.07	x	x	x	x	x
Mancha urbana	1571.41	x	x	x	12.21	10.30
Pastagem	31.65	x	x	x	x	x
Solo exposto	260.08	x	x	x	x	18.24
Termoelétrica	28.75	x	x	x	x	x
Capoeira	928.13	20.97	49.05	21.63	26.63	10.09
Cobertura vegetal	18668.20	424.50	457.83	737.02	975.26	428.07
Corpos d'água	269.31	44.12	38.66	90.14	2.69	x
Total de áreas desfavoráveis	11810.86	288.44	306.82	237.45	189.30	110.12
Total de áreas favoráveis	19865.65	489.58	545.54	848.78	1004.58	438.16

Analisando a Tabela 2 pode-se verificar que os corredores propostos nenhum cruzam áreas de gasodutos, indústrias, pastagens e termoelétricas, porém foi inevitável o não cruzamento em estradas que com uma análise durante o procedimentos contabilizou-se que o corredor 1 cruzou três vezes as estradas, os corredores 2 e 3 duas vezes, o corredor 4 cinco vezes e o corredor 5 uma vez. Apenas os corredores 4 e 5 cruzam áreas de granjas/chácaras e mancha urbana, assim como apenas o corredor 2 cruza áreas com bambu e o corredor 5 cruza áreas com solo exposto, ao mesmo tempo em que é o único corredor que não cruza área de cana.

As quantidade de áreas favoráveis e desfavoráveis encontram-se resumidas no final da Tabela 2 podendo ser melhores observados nos Gráficos 1 e 2.

Gráfico 1 – Usos do solo favoráveis nos corredores propostos.

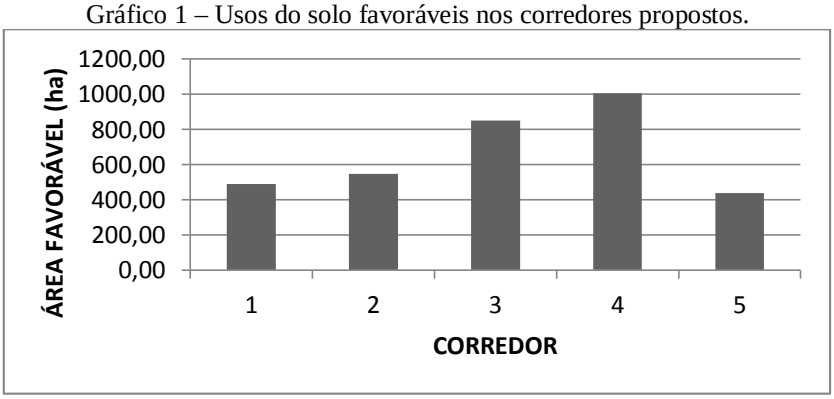
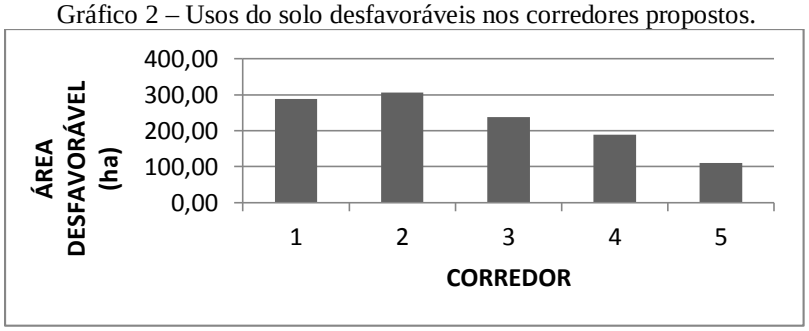


Gráfico 2 – Usos do solo desfavoráveis nos corredores propostos.



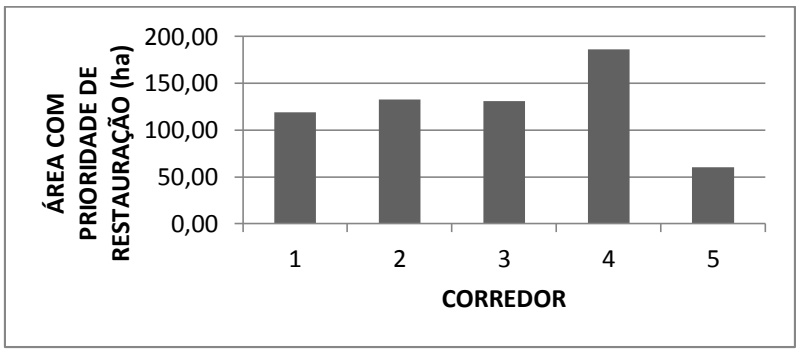
O Gráfico 1 mostra que o corredores 4 e 5 possuem maior e menor área de usos do solo favoráveis, respectivamente. Já o Gráfico 2 mostra que corredor 2 e 5 possuem maior e menor área de usos do solo desfavoráveis, respectivamente.

Foram analisadas também as áreas com prioridades de restauração contidas nos corredores. Para essa análise foram somadas as áreas com média, alta e muito alta prioridade de restauração. O resultado encontra-se na Tabela 3 e pode ser visualizado no Gráfico 3.

Tabela 3 – Áreas com prioridade de restauração, estabelecidas pelo MMA, em cada corredor.

CORREDOR	PRIORIDADE DE RESTAURAÇÃO			TOTAL (ha)
	MÉDIA (ha)	ALTA (ha)	MUITO ALTA (ha)	
1	38.68	28.00	52.03	118.71
2	18.85	61.52	52.19	132.56
3	x	50.32	80.60	130.92
4	112.06	44.65	29.50	186.21
5	15.00	25.43	20.01	60.44

Gráfico 3 – Áreas com prioridade de restauração nos corredores propostos.



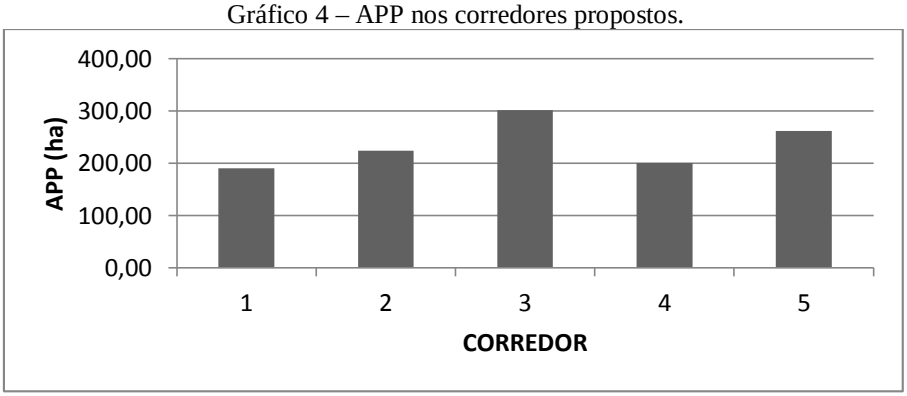
O Gráfico 3 mostra que o corredor 4 possui maior área com prioridade de restauração e que o corredor 5 possui menor área.

A última análise realizada foi com respeito às Áreas de Preservação Permanente (APP), mostrada na Tabela 4 e visualizada no Gráfico 4, na qual se observa que o corredor 3 e 1 contém a maior e menor APP, respectivamente.

Tabela 4 – Áreas de APP em cada corredor.

CORREDOR	APP (ha)
1	191.12
2	224.34
3	302.10
4	201.24
5	262.04

Gráfico 4 – APP nos corredores propostos.



3 CONCLUSÃO

A aplicação da metodologia mostrou-se eficaz na análise de áreas potenciais para a criação de corredores ecológicos que podem vir a ser implantado na APA Aldeia-Beberibe. Não foi possível definir o melhor corredor, mas sim em quais aspectos cada corredor se destaca positivamente e negativamente, pois o trabalho buscou mostrar como o geoprocessamento poderia auxiliar no processo de elaboração desses corredores. Logo, a decisão final da criação de corredores caberá a uma equipe multidisciplinar que deverá levar em consideração os fatores menos custosos e mais viáveis para a localidade. Os resultados alcançados com a metodologia fornecem subsídios para a tomada de decisões e suprem uma das etapas mais importantes de um projeto de corredores ecológicos, a análise de todos os fatores relevantes e de forma integrada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Lei n° 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em : < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm>. Acesso em: 15 de maio de 2018.

GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. Decreto n° 34.692, de 17 de março de 2010. Declara como Área de Proteção Ambiental – APA a região que compreende parte dos Municípios de Camaragibe, Recife, Paulista, Abreu e Lima, Igarassu, Araçoiaba, São Lourenço da Mata e Paudalho, e dá outras providências. Disponível em : < http://www.semas.pe.gov.br/c/document_library/get_file?p_l_id=34293988&folderId=33365913&name=DLFE-171110.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

BOSSLE, R. C. QGIS e geoprocessamento na prática. In: ___. **QGIS e mapeamento de corredores ecológicos**. 2. ed. Curitiba: Editora Íthala, 2017. Cap. 14, p. 207-2014.

CPRH. **Plano de Manejo: Área de Proteção Ambiental APA Aldeia-Beberibe.** Disponível em: < http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/PM%20AB1.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

LINDENMAYER, D. A et al. Checklist for Ecological Management of Landscapes for Conservation. **Ecology Lette**r, v. 11, n. 1, p. 78-91, 2008.

MELO, A. T. O.; COELHO, A. S. G.; PEREIRA, M. F.; BLANCO, A. J. V.; FRANCESCHINELLI, E. V.. High genetic diversity and strong spatial genetic structure in Cabralea canjerana (Vell.) Mart.(Meliaceae): implications to Brazilian Atlantic Forest tree conservation. **Natureza & Conservaçã**o, v. 12, n. 2, p. 129-133, 2014.

Ministério do Meio Ambiente. Documento de Trabalho. **Corredores Ecológicos: Iniciativa Brasileira no Contexto Continental.** Brasília – DF, 2016.

PADILHA, R.; PORTUGAL, J. L.;SANTOS, A. V. dos;PEREIRA, V. S.; CARMO, T. V. B. do..Proposição de Modelo de Corredores Eológicos com Base no Sistema de Informações Geográficas na Região de Suape, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física,** v.9, n.1, p.79-90, 2016.

INFLUÊNCIA DAS VARIAVEIS CLIMÁTICAS E DO SANEAMENTO AMBIENTAL NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS CASOS DE DENGUE

MAIA, SIGUINALDO
SILVA, MARA RUBIA

Universidade Federal da Integração Latino Americana -UNILA
Instituto Latino-Americano de Território Infraestrututa e Tecnologia - ILATIT
Siguinaldo.maia@aluno.unila.edu.br, mara.silva@unila.edu.br

RESUMO - Esta pesquisa avaliou a relação entre as variáveis climáticas e do saneamento ambiental na distribuição espacial da Dengue no Município de Foz do Iguaçu no período de 2014 a 2017. Utilizou-se dados climáticos registrados pela estação meteorológica do aeroporto de Foz do Iguaçu, o *Google Earth* para geocodificação dos endereços, e o Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS para confecção de mapas temáticos e georreferenciamento dos casos confirmados no período. Entre os anos analisados, no ano com o maior número de casos confirmados que foi 2016, registrou-se nos três primeiros meses temperaturas médias superiores aos demais anos, verificou-se também que houve uma concentração de casos de dengue na zona sul da cidade, região na qual em setembro de 2015 houve um vendaval que provocou destruição de casas, alagamentos e a danificação da rede sanitária.

ABSTRACT - This research evaluated the relationship between climatic variables and environmental sanitation in the spatial distribution of Dengue in the Municipality of Foz do Iguaçu from 2014 to 2017. Climatic data recorded by the meteorological station of Foz do Iguaçu airport, Google Earth for the geocoding of the addresses, and the Geographic Information System (GIS) for the creation of thematic maps and georrefentification of the confirmed cases in the period. Among the analyzed years, in the year with the highest number of confirmed cases that was 2016, in the first three months average temperatures were higher than the other years, it was also verified that there was a concentration of dengue cases in the south of the city, a region in which in December 2015 there was a windstorm that caused destruction of houses, floods and damage to the sanitary network.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Programa Nacional de Controle de Dengue (2002) a dengue é um dos principais problemas de saúde pública no mundo. A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que 80 milhões de pessoas se infectem anualmente, em 100 países. No Brasil, as condições socioambientais favoráveis à expansão do *Aedes aegypti* possibilitaram uma dispersão desse vetor.

Segundo a Divisão de Vigilância em Saúde do Município (2017), em Foz do Iguaçu a dengue é uma doença endêmica, com picos de epidemia ao longo dos últimos 10 anos, se caracterizando como um dos principais problemas de saúde pública do município

Esta pesquisa buscou georreferenciar os casos de Dengues na cidade de Foz do Iguaçu entre os anos de 2014 a 2017 e correlaciona-los com fatores climáticos e de saneamento.

Observou-se que em 2016 houve uma epidemia, que esteve relacionada com fatores climáticos e de saneamento ambiental nesse período.

2 METODOLOGIA

1. Obtenção do cadastro de dengue junto à prefeitura municipal de Foz do Iguaçu.
2. Obtenção dos dados climáticos, da Estação Meteorológica Foz do Iguaçu Aeroporto, disponível gratuitamente no site *www.tutiempo.net*.
3. Processamento dos dados para extração dos casos confirmados de dengue.
4. Geocodificaçao dos endereços no *Google Earth* (sistema de referência ***World Geodetic System*** - WGS 84).

5. Devido a inconsistência em alguns endereços, como por exemplo a falta do número da residência ou o nome incompleto do logradouro não foi possível georreferenciar 100% dos casos confirmados.
6. Transferência do arquivo com extensão Keyhole Markup Language (KML) gerado no *Google Earth* para o QGIS para localização das coordenadas Geográficas e conversão dos Sistema de Referencia WGS 84 para SIRGAS 2000.
7. Transformação das Coordenadas Geográficas para Coordenadas planas no sistema *Universal Transerval de Mercator* (UTM) no PRoGRID/IBGE.
8. Transferência das coordenadas UTM geradas no PRoGRID para o QGIS e Georreferenciamento dos casos confirmados de Dengue no Município de Foz do Iguaçu.
9. Confecção de gráficos com fatores climáticos no EXCEL.
10. Confecção de Mapas no QGIS no sistema de referência SIRGAS 2000.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A cidade de Foz do Iguaçu fica localizada no Oeste do Estado do Paraná, com coordenadas UTM 742455(E) e 7172701(N), possui uma população de aproximadamente 256,088 habitantes (IBGE, CENSO 2010). Segundo o IBGE (CENSO 2010), apresenta 75,3% de domicílios com esgotamento sanitário adequado.

Segundo a FUNASA (2010) a dengue é uma doença febril aguda, que pode ser de curso benigno ou grave, dependendo da forma como se apresente: infecção inaparente, dengue clássico (DC), febre hemorrágica da dengue (FHD) ou síndrome do choque da dengue (SCD). Atualmente, é a mais importante arbovirose que afeta o ser humano, constituindo-se em sério problema de saúde pública no mundo. Ocorre e dissemina-se especialmente nos países tropicais, onde as condições do meio ambiente favorecem o desenvolvimento e a proliferação do Aedes aegypti, principal mosquito vetor.

Segundo LIMA (2016) Os softwares com ambientação para Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas computacionais onde estão armazenadas as ferramentas que serão utilizadas para a realização do Geoprocessamento, sistema este que também pode ser utilizado para organização, visualização e manipulação das informações.

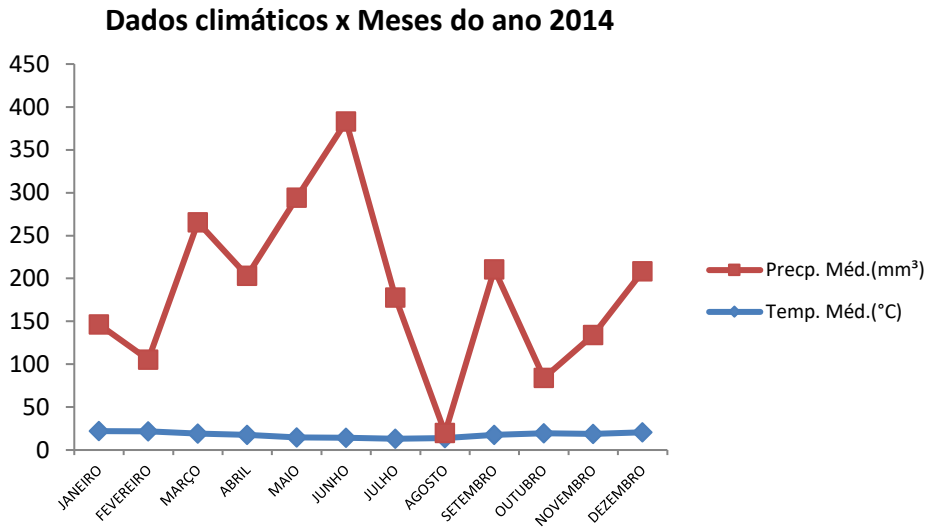
Segundo ROSA (2103), o geoprocessamento pode ser definido como sendo o conjunto de tecnologias destinadas a coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes níveis de sofisticação. O uso dessa tecnologia traz novas oportunidades em tomadas de decisões para departamentos governamentais, administrações municipais, dentre outras.

5 RESULTADOS

5.1 2014

Em 2014 com uma temperatura média anual de 22,4°C, e índice de precipitação de 2.019,27mm^3, conforme é mostrado na Figura 01, foram confirmados 50,00 casos de Dengue no Município, número relativamente baixo se comparado a população total, dessa forma não encontrou-se relação entre a dengue e essas variáveis climáticas.

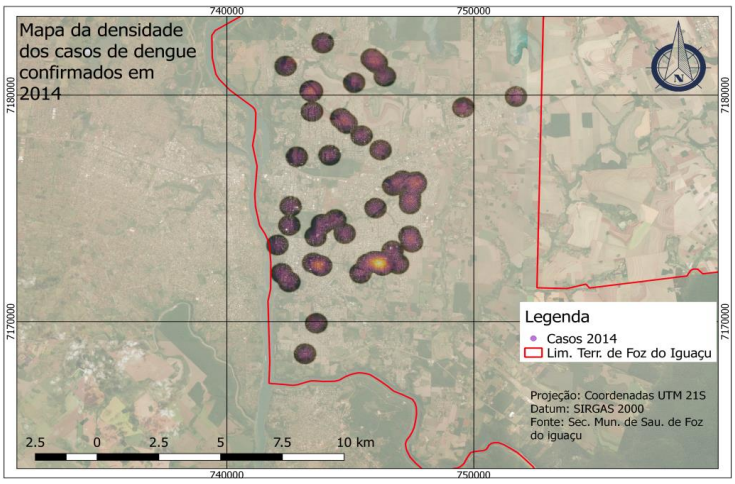
Figura 01



Fonte: Autor

Após o georrefenciamento de 98% dos casos, observou- se uma distribuição homogênea nas diferentes áreas da cidade, conforme pode ser observado na Figura 02, não havendo concentração em áreas com menor saneamento ambiental, também não encontrando relação com este fator.

Figura 02

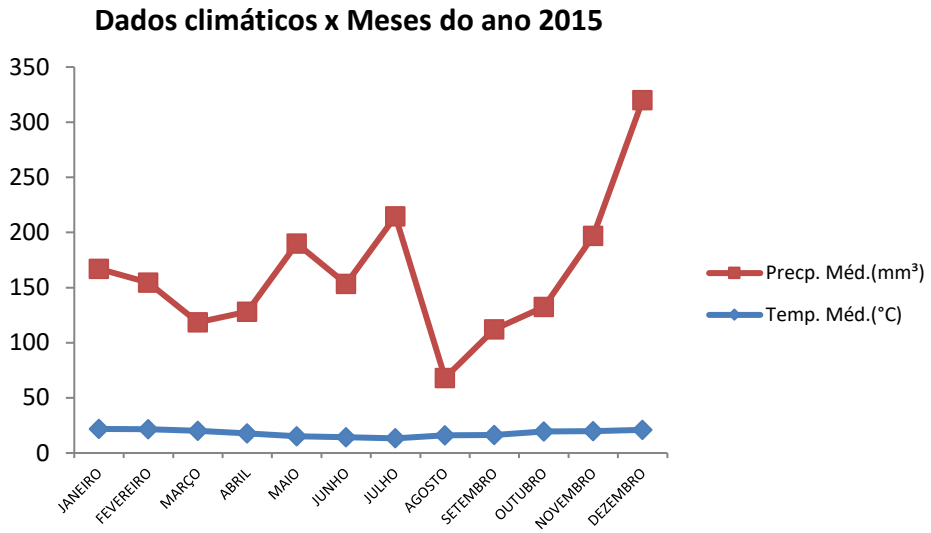


Fonte: Autor

5.2 2015

Em 2015 com uma temperatura média anual de 22,3ºC, e precipitação anual de 1.738,91mm^3, conforme é observado na Figura 03, foram confirmados 2.094,00 casos de Dengue no Município, dessa forma não encontrou-se relação entre a dengue e essas variáveis climáticas, uma vez que teve um índice de precipitação e temperatura média menor que o ano anterior, porem registou um maior número de casos.

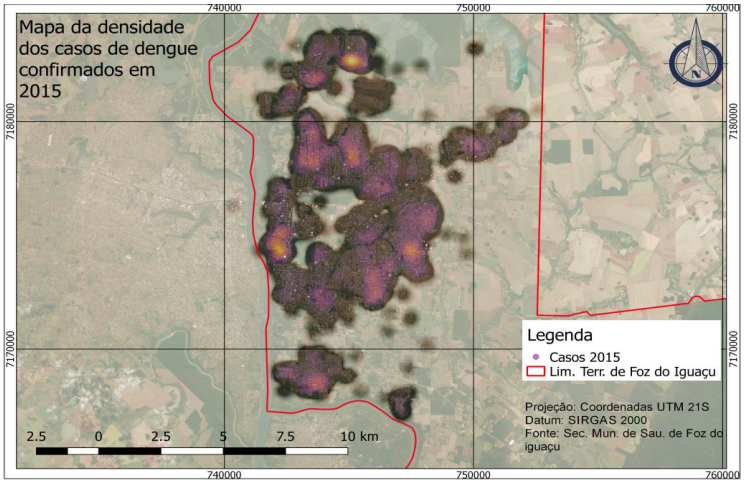
Figura 03



Fonte: Autor

Realizado o georrefenciamento de 99% dos casos, observou-se uma distribuição homogênea nas diferentes áreas da cidade, conforme verificado na Figura 04, não havendo concentração em áreas com menor saneamento ambiental, também não encontrando relação com este fator.

Figura 04

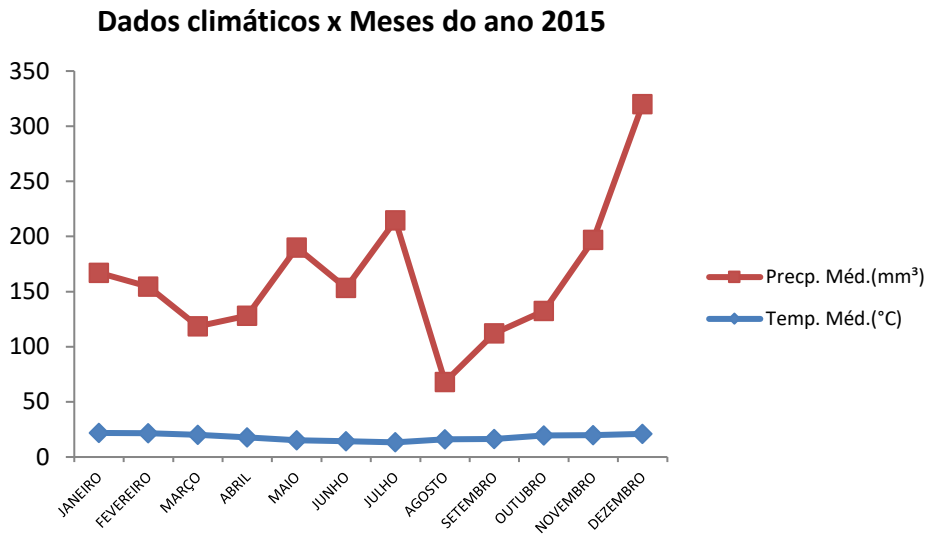


Fonte: Autor

5.3 2016

Em 2016 com uma temperatura média anual de 21,1ºC e precipitação de 1.449,06mm^3, conforme é verificado na Figura 05**,** foi registrado uma epidemia com 9.108,00 casos confirmados no Município.

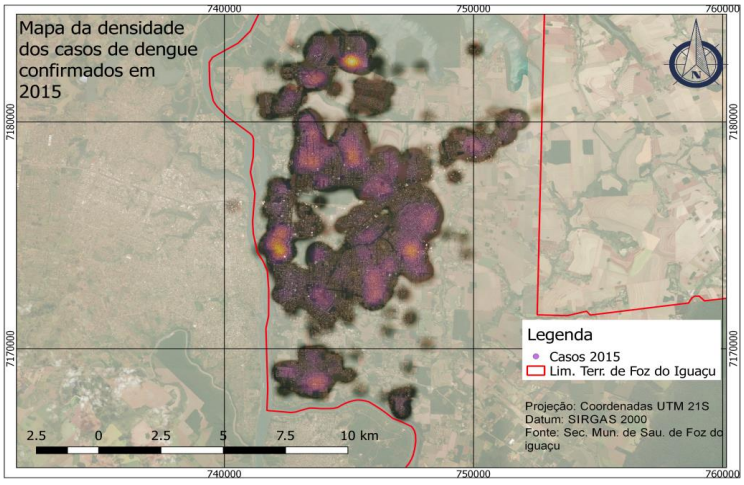
Figura 05



Fonte: Autor

Feito o georreferenciamento de 75,5% dos casos, verificou-se uma concentração na área sul da cidade, conforme pode ser observado na Figura 06.

Figura 06



Fonte: Autor

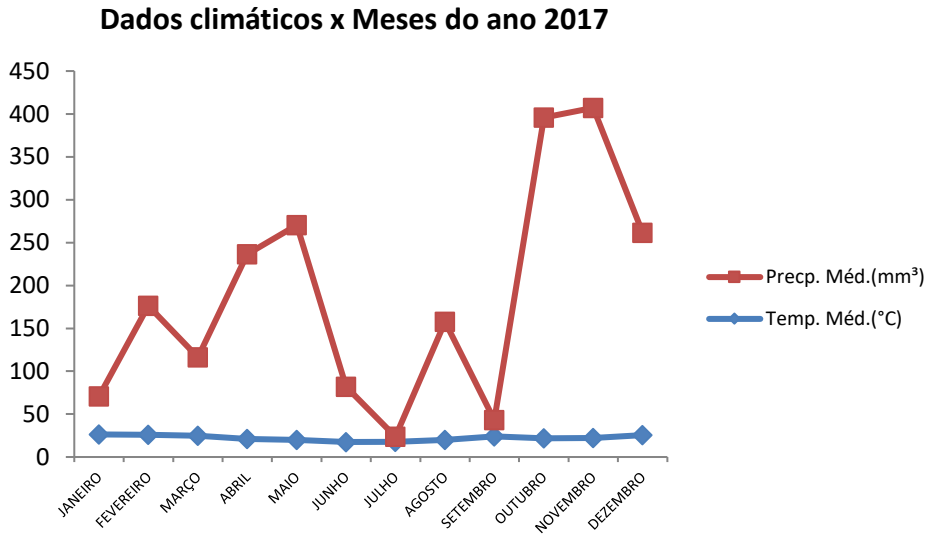
Segundo a análise do cadastro das notificações obtidos da prefeitura, a epidemia deu-se entre a primeira e vigésima semana de 2016. Sendo importante ressaltar que de acordo com os dados climáticos obtidos, de dezembro de 2015 a março de 2016 houve elevada precipitação, com média mensal respectivamente de 298,97mm^3, 157,24mm^3, 158,24mm^3 e 167,12mm^3, e que entre os anos analisados o ano de 2016 foi o ano com as maiores temperaturas medias mensais nos três primeiros meses.

Observou-se também que na região de maior incidência (região sul da cidade) com 6.526,43 casos, no mesmo período da elevada precipitação e temperatura, um vendaval causou alagamentos, a destruição de muitas casas e da rede sanitária, deixado a população sem condições básicas de saneamento ambiental. A junção desses fatores pode ter contribuído para a epidemia.

5.4 2017

Em 2017, com uma temperatura média anual de 22,2ºC, e precipitação de 1.974,1mm^3, conforme é observado na Figura 07, foram confirmados 70,00 casos de Dengue no Município, dessa forma não encontrou-se relação entre a dengue e essas variáveis, uma vez que este ano registrou uma temperatura media anual superior a de 2016 e o segundo maior índice de precipitação entre os anos analisados, porem registrou um número de casos relativamente baixo.

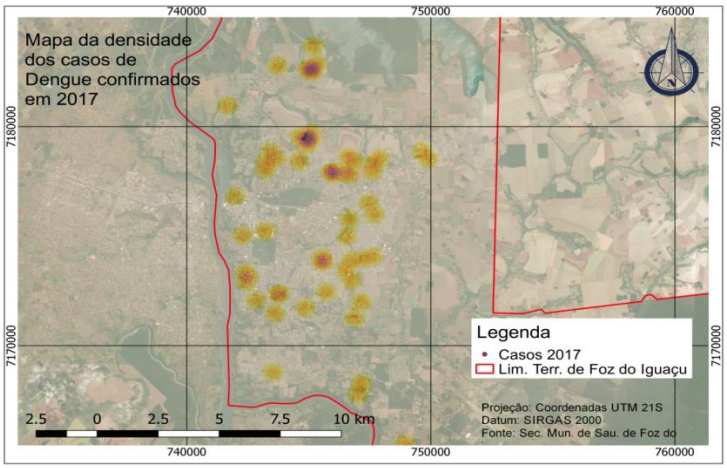
Figura 07



Fonte: Autor

Após o georrefenciamento de 90% dos casos, observou- se uma distribuição homogênea nas diferentes áreas da cidade, Figura 08, não havendo concentração em áreas com menor saneamento ambiental, também não encontrando relação com este fator.

Figura 08



Fonte: Autor

5 CONCLUSÕES

Observou-se que durante os anos analisados, no ano com o maior número de casos confirmados que foi 2016, registrou nos três primeiros meses temperaturas medias superiores aos demais anos, verificou-se também que houve uma concentração de casos de dengue na zona sul da cidade (Região do Porto Meira) o que é coerente com as condições

sanitárias e climáticas da região nesse período, em que, um vendaval provocou destruição de casas, alagamentos e consequente danificação da rede sanitária.

Diante do cruzamento dos dados obtidos foi possível confirmar que a junção dos dois fatores, contribuiu para a epidemia, pois nos outros anos analisados apesar de na média terem tido temperaturas mais elevadas não havia nenhuma região da cidade com o saneamento ambiental comprometido devido a algum evento, como foi o caso de 2016.

Dessa forma verificou-se que usando métodos de georrefenciamento é possível mapear as áreas da cidade de maior incidência de dengue e averiguar se esses casos se concentraram em regiões com maior carência de saneamento ambiental, e assim poder apontar soluções para áreas especificas como por exemplo melhorar ou implementar a rede sanitária aonde esse fator foi decisivo na proliferação do mosquito, ou fazer vistoria ás casas ou terrenos baldios em bairros que apresentam grande concentração de casos, na tentativa de prevenir epidemias como a ocorrida em 2016.

REFERÊNCIAS

BLASCHKE, T; KUX, H (2002). Sensoriamento remoto e SIG Avançados. Tradução por Hermann Kux . 2ª ED.
FELTRIN J. C; ROCHA. J. R. R; MARIANO, Z.F. Análise espacial por geoprocessamento da Dengue e o clima na cidade de Jataí-GO. CONPEEX-2103

BOLETIM EPIDEMIOLOGICO. **Ano 1, Vol 3** . Disponível em <http://www.pmfi.gov.br/arquivosdb?idMidia=102462 >. Acesso: 17 de agosto de 2018.

DADOS CLIMATICOS. Disponível em: <https://pt.tutiempo.net/clima/ws-838270.html>. Acesso:25 de janeiro de 2018.

DENGUE. Disponível em: <https://www.funasa.gov.br/site/wp-content/uploads/2010/01/dengue_%20guia_vig_epid>. Acesso: 18 de agosto de 2018.

IBGE. RELATÓRIO DE ESTAÇÃO GEODÉSICA**.** DISPONÍVEL EM: <HTTPS://WWW.BDG.IBGE.GOV/BDG/PDF/RELATORIO.ASP? L1=1715N>. ACESSO:17 DE AGOSTO DE 2018

LIMA, J. T. F (2016). *Sistema de Informações Geográficas Aplicadas a Saúde: Mapemaneto de casos de Dengue na áres urbana de Monte Carmelo*, Tese de Conclusão de Curso, UFU-MG.

ROSA, R. (2013) Introdução ao Geoprocessamento. Instituto de Geografia, UFU-MG.

INSPEÇÃO DE QUALIDADE DE BASES CARTOGRÁFICAS CONTÍNUAS. ESTUDO DE CASO: MARANHÃO, ESCALA 1:100.000

ODAIR GONÇALVES MARTINS JUNIOR [1]
ALEX DA SILVA SANTOS [1]
TAIS VIRGINIA GOTTARDO [1]
ANA AGUIAR REAL MARINHO [1, 2]
ANDRÉ HERZOG DE ALMEIDA [1, 2]
ERICKA DELANIA VERÍSSIMO DE ANDRADE [3]
FÁBIO FERNANDES DA SILVA [4]
CLARA CÉLIA DA SILVA FERREIRA [4]

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Coordenação de Cartografia – CCAR
Gerência de Controle de Qualidade – GCQ
Av. República do Chile, 500 - Centro, Rio de Janeiro - RJ
odair.junior@ibge.gov.br, alex.santos@ibge.gov.br, tais.gottardo@ibge.gov.br

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Instituto de Tecnologia
Departamento de Engenharia
Rod. BR 465, km 7, Seropédica – RJ
anaarm.2@gmail.com, aherzog.almeida@gmail.com

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Unidade Estadual de Pernambuco – UE/PE
Supervisão de Bases Territoriais – SBT
Avenida Domingos Ferreira, 1097, Boa Viagem, Recife – PE
ericka.andrade@ibge.gov.br

Companhia Hidrelétrica do São Francisco - CHESF
Departamento de Geotecnologia – DEPG
Rua Delmiro Gouveia, 333, Edifício André Falcão, Sala D213 – San Martins, Recife – PE
fabiofs@chesf.gov.br, claracf@chesf.gov.br

RESUMO - Este estudo apresenta os resultados da inspeção de qualidade, realizada pela Gerência de Controle de Qualidade, da Coordenação de Cartografia, da Diretoria de Geociências do IBGE, a respeito da base cartográfica contínua localizado no estado do Maranhão (MA), no Brasil, produzido pelo IBGE em parceira com a Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), na escala 1:100.000. Essa avaliação foi realizada seguindo metodologia proposta no Manual Técnico de Avaliação da Qualidade de Dados Geoespaciais e na norma ISO 19157:2013.

ABSTRACT – This paper presents the results of a quality inspection, elaborated by Department of Quality Control, of Cartography Coordination, of the IBGE Geoscience Directorate, regarding the continuous cartographic base located in the state of Maranhão (MA), in Brazil, produced by IBGE in partnership with the São Francisco Hydroelectric Company (CHESF), in the 1:100.000 scale. This evaluation was done according the methodology proposed in the Technical Manual of Geospatial Data Quality Assessment and ISO 19157: 2013.

1 INTRODUÇÃO

Segundo a ISO 9000, qualidade é o "grau no qual um conjunto de características inerentes satisfaz a requisitos" (ISO, 2005). Em outras palavras, assegurar a qualidade de um produto ou serviço é a garantia de que sua finalidade seja cumprida satisfatoriamente para o consumidor final.

O controle de qualidade ampara a produção em larga escala, ocasionado pelo aumento da capacidade produtiva das instituições, resultando em produtos e insumos com melhor qualidade e maior padronização.

Os conceitos de qualidade são primordiais para o desenvolvimento da avaliação de conjuntos de dados espaciais (IBGE, 2017). A ISO (*International Organization for Standardization*), organização internacional não governamental com adesão de mais de 160 países, define alguns padrões e fornece especificações para verificar a qualidade de produtos, serviços e sistemas, a fim de garantir a segurança e eficácia e facilitar o comércio internacional. Uma série de especificações direcionadas a qualidade de produtos cartográficos foi substituída pela ISO 19157:2013 - *Geographic information - Data quality*. Este padrão permite a obtenção de um sistema de qualidade integrado, que possibilitam controlar e garantir que os dados de um produto cartográfico sejam válidos (CEBALLOS, 2009).

Este estudo apresenta uma metodologia para aplicação dos preceitos da ISO 19157:2013, combinando métodos estatísticos de amostragem e análise, com o objetivo de avaliar a qualidade um conjunto de dados espaciais de maneira sistematizada, não subjetiva e com respaldo científico.

O estudo se aplica a uma Base Cartográfica Contínua que abrange o noroeste do estado do Maranhão, na escala 1:100.000, elaborado pelo IBGE em parceria com a CHESF. Esta área é conhecida como "vazio cartográfico" devido às particularidades do terreno que dificultam a realização de atividades de mapeamento. Para apresentação dos resultados são destacadas figuras e gráficos representativos que contabilizam e caracterizam as inconsistências encontradas nas inspeções, seguindo as normas da ISO 19157:2013 e o manual técnico de avaliação da qualidade de dados geoespaciais elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017).

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

A metodologia consiste na realização de inspeções de qualidade de dados espaciais baseada na ISO 19157:2013, que aborda seis elementos de qualidade de dados espaciais: consistência lógica, completude, acurácia posicional, acurácia temática, acurácia temporal e usabilidade (ISO, 2013). Para cada elemento há subelementos correspondentes.

Nesta verificação, avaliaram-se os seguintes elementos e respectivos subelementos: a consistência lógica, verificando a consistência topológica na mesma classe e entre classes, que identifica aspectos de geometria e conectividade; a completude, verificando comissão e omissão que descrevem, respectivamente, a presença ou ausência de feições comparadas a realidade; a acurácia posicional, verificando acurácia posicional relativa que avalia a proximidade entre valores de coordenadas observadas com a posição relativa de outras feições geográficas no mesmo conjunto de dados; e a acurácia temática, verificando a correção dos atributos não quantitativos, em especial, nomes geográficos.

A metodologia aplicada é um processo dividido em duas partes que ocorreram de forma simultânea. A primeira compreende a avaliação da consistência topológica que foi executada por inspeção completa com auxílio do software *Geomedia Professional 2015*. A segunda parte compreende inspeção amostral de completude e acurácias.

A área de estudo está localizada entre as longitudes 46°10'12"W e 44°30'00"W e as latitudes 1°02'38,40"S e 2°00'00"S, cobrindo parte da extensão territorial do noroeste do estado do Maranhão (MA).

2.1 Inspeção topológica

Executou-se inspeção topológica assistida pelo software *Geomedia Professional* 2015, onde foram avaliadas inconsistências geométricas e de conectividade de mesma classe e entre classes, gerando assim dados dos erros de cada camada. Posteriormente, os erros foram exportados para arquivos *shapefiles* e, no software Quantum GIS, foi feita a contagem das inconsistências e confecção de mapas dos erros mais relevantes. Dessa maneira é possível identificar as principais inconsistências encontradas e analisar as áreas de ocorrência.

Foram avaliados os seguintes erros topológicos:

- Erros de geometria da mesma classe: São identificados pela análise de feições geográfica de uma mesma classe realizada por meio de inspeção em ambiente SIG. Estes erros podem ser corrigidos de forma automática (rotinas já disponíveis nos softwares) ou manual, a depender do tipo de erro. Alguns tipos de ocorrência que podem ser observados nessa inspeção são relacionados na Tabela 1;
- Erros de conectividade da mesma classe: Trata-se de erros de conexões de feições geográficas de uma de uma base cartográfica na estrutura vetorial. É uma inspeção realizada em ambiente SIG, que tenha a possibilidade de identificar e corrigir os erros. Sua correção pode ser automática ou manual, a depender do tipo de erro. Alguns tipos de ocorrência que podem ser observados nessa inspeção são relacionados na Tabela 2;
- Erros entre classes de conectividade: Trata-se da validação entre diferentes classes, definidas pela ET-EDGV (CONCAR, 2017), onde se verifica a observância de regras de conectividade entre elas.

Tabela 1 – Validação topológica na mesma classe: possíveis anomalias de geometria.

Anomalia	Descrição	Correção
Geometria vazia (*Empty geometry*)	Feições com a geometria nula ou vazias.	Automática
Áreas não fechadas (*Unclosed areas*)	Área de feição cujo limite não está fechado, isto é, o primeiro e o último vértice não tem o mesmo valor de coordenada.	Automática
Linhas com comprimento zero (*Zero-length lines*)	Comprimento de feição que não possui nenhuma extensão, isto é, os vértices estão sobre um mesmo ponto.	Automática
Laço em area (*Area loop*)	Áreas de feição com um laço em qualquer um dos limites exteriores ou interiores.	Automática
Pontos (vértices) duplicados (*Kickback/Duplicate point*)	Área de feição ou feição linear cuja geometria possuí pontos duplicados num mesmo vértice.	Automática
Ponta repentina (*Kink / Spike*)	Feições lineares ou área onde há divergência repentina na vetorização dos vértices.	Automática
Laço em linha (*Loop in line*)	Feições lineares cuja geometria cria um laço e a área é maior do que uma determinada tolerância especificada.	Automática
Vetor curto (*Short vector*)	Feições lineares ou área com dois vértices sequenciais com a distância inferior a uma determinada tolerância especificada. A tolerância a ser considerada pode ser o erro gráfico na escala do projeto (0.2 mm na escala do projeto).	Automática
Geometria nula (*Null geometry*)	Feições com geometria nula.	Automática
Geometria fragmentada (*Fragmented geometry*)	Feições onde o tipo de geometria é uma coleção e as partes desta feição não precisam ser contíguas.	Automática / Manual
Feição duplicada (*Duplicate feature*)	Feições cujos atributos combinam e as geometrias são idênticas, ou com tamanho, forma e localização semelhantes, dentro de uma tolerância especificada.	Automática

Fonte: IBGE (2017).

Tabela 2 – Validação topológica na mesma classe: possíveis anomalias de conectividade.

Anomalia	Descrição	Correção
Sobreposição (*Overshoot*)	Uma linha de uma feição se estende, passando uma outra linha ou uma área de fronteira.	Automática
Abaixo do alcance (*Undershoot*)	Uma linha da feição não se estende completamente a uma linha ou área de fronteira.	Automática
Geometria não interrompida na interseção (*Unbroken intersecting geometry*)	Linhas de feições que se cruzam ou se sobrepõem, em vez de se cruzarem somente em seus vértices extremos (terminais).	Automática / Manual
Geometria sem vértices coincidentes (*Non-coincident intersecting geometry*)	Uma linha ou áreas de feição que se cruzam uns sobre os outros, sem vértices coincidentes nos pontos de interseção.	Manual
Nó incompatível (*Node mismatch*)	As extremidades das linhas e/ou vértices de feição estão dentro de uma distância especificada de uma outra.	Manual
Borda compartilhada (*Shared edge*)	Uma linha ou área de contorno que compartilham a fronteira ou uma linha que coincidente com outra linha ou área.	Manual
Face compartilhada (*Shared face*)	Área de feição que se sobrepõem (compartilham uma face comum), onde esta situação é considerada inválida para seus tipos de feições.	Manual
Deve ser maior que tolerância mínima (*Must be larger than cluster tolerance*)	Feições com dimensões inferiores a tolerância mínima especificada no ambiente SIG. Por exemplo: 0,1 mm.	Automática / Manual
Não deve cruzar (*Must not intersect*)	As feições da mesma classe não podem se interceptar nem se sobrepor	Automática / Manual
Não deve se sobrepor (*Must not overlap*)	As feições da mesma classe podem se interceptar, mas não podem se sobrepor	Automática / Manual

Fonte: IBGE (2017).

2.2 Inspeção de completude e acurácia

A inspeção de completude e acurácias analisa, mais especificamente, os erros de omissão, comissão, posição, classificação e nome geográfico. É um formato de avaliação que confronta a conformidade dos dados geoespaciais com a realidade.

O procedimento é realizado seguindo um plano amostral, a partir do qual são definidas as áreas para inspeção. Dentro dessas áreas são observados os elementos de medidas de qualidade citados acima, confrontado o conjunto de dados aos insumos de referência (realidade) que podem ser mapas, folhas topográficas e imagens de satélite.

Neste trabalho, os dados foram avaliados pelo método de inspeção amostral orientada por área onde utilizou-se uma grade contínua para obtenção de amostras de maneira sistemática e aleatória, composta por áreas de 4x4cm, de acordo com a escala de 1:100.000. A obtenção das amostras foi feita com auxílio do software QGIS, versão 2.18.13.

As inspeções foram divididas em duas partes: analisando primeiramente a categoria Hidrografia e, posteriormente, Sistema de Transporte mais Localidades. Para cada categoria, foram geradas amostras para inspeção segundo um Limite de Qualidade Aceitável (LQA) de 4% por área, o que, no nível de inspeção II, indica que, para o produto ser aprovado sem restrições, apenas 7 amostras podem ser rejeitadas (ABNT, 1985).

Os dados foram avaliados no software QGIS e utilizou-se o conjunto de insumos de imagens *RapidEye* e as Cartas Topográficas em escala 1:250.000 fornecidas pela Diretoria do Serviço Geográfico (DSG) através do *plugin* DSG Tools, disponível no QGIS. Além disso, a base do projeto MA-PA 100.000 também foi utilizada para conferência. Em último caso foram utilizadas imagens do *Google Satellite* apenas para dirimir dúvidas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados a seguir são referentes a inspeção topológica de geometria e conectividade de mesma classe e de conectividade entre classes, de completude e de acurácia posicional e relativa para as categorias das Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV), hidrografia (HID), localidades (LOC) e transportes (TRA), seguindo o manual técnico da avaliação da qualidade de dados e as normas ISO 19157:2013 (IBGE, 2017).

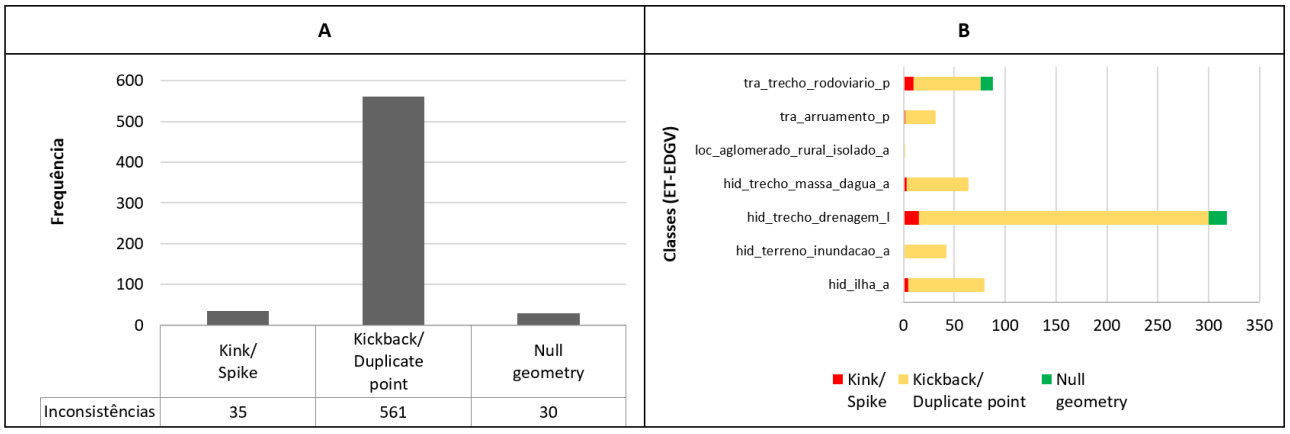
3.1 Inspeção de consistência topológica

3.1.1 Inspeção topológica de mesma classe – Geometria

Os erros topológicos de geometria encontrados são caracterizados, em sua maioria, por erros de correção automática. Os tipos de erros encontrados e suas correções estão descritos na Tabela 1.

As ocorrências mais frequentes foram *Kickback/Duplicate Point*, seguida de *Kink/Spike* e *Null Geometry*. A grande maioria (50,8%) das inconsistências topológicas de geometria foram observadas na classe trecho de drenagem, como demonstrado na Figura 2 e na Figura 3.

Figura 2- Gráficos de (A) Frequência de Inconsistências Topológicas de Mesma Classe (Geometria) e de (B) Frequência de Inconsistências Topológicas de Geometria por Classe da ET-EDGV.

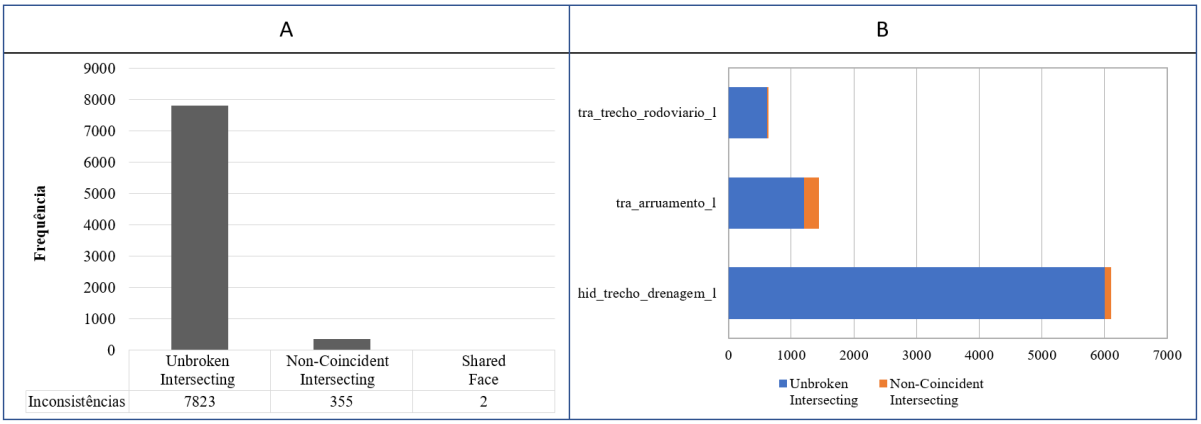


3.1.2 Inspeção topológica de mesma classe – Conectividade

O erro *Unbroken Intersecting*, anomalia de correção automática, foi predominante neste conjunto de dados para a verificação de conectividade, seguido de *Non-Coincident Intersecting* e *Shared Face*, conforme apresentado na Figura 5 (A). Os erros e tipos de correções estão descritos na Tabela 2.

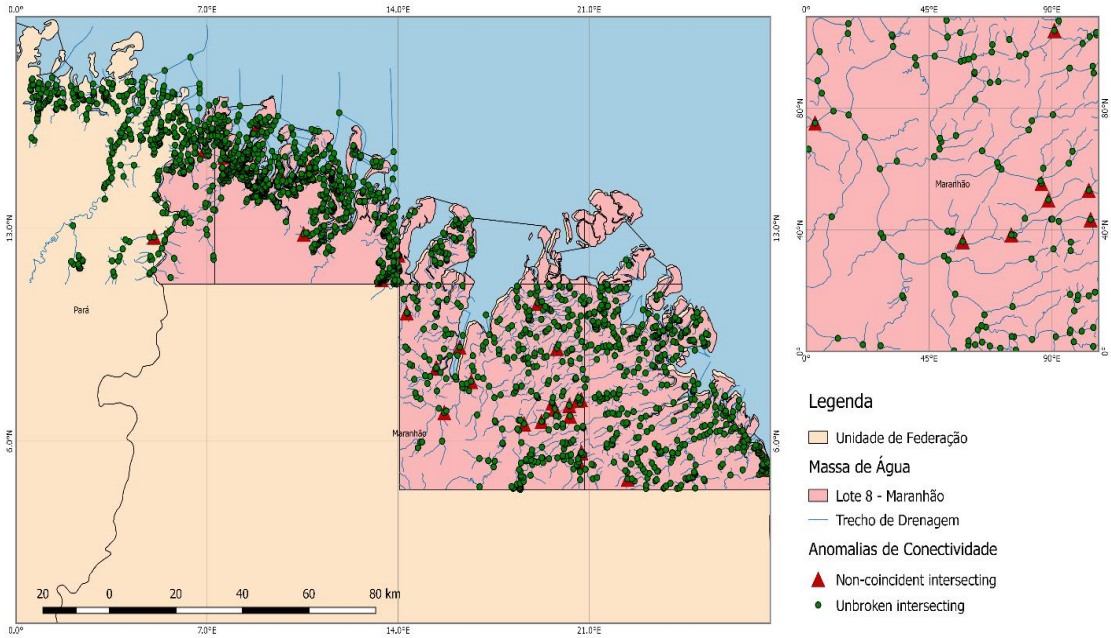
Assim como na validação de geometria, a classe em que há maior incidência dos erros também foi o trecho de drenagem (74,6%), como pode ser visto na Figura 4 (B).

Figura 4- Gráficos de (A) Frequência de Inconsistência Topológica de Mesma Classe (Conectividade) e de (B) Frequência de Inconsistências Topológicas de Conectividade por Classe da ET-EDGV.



Destaca-se que todas as ocorrências de *Non-Coincident Intersecting* estão espacialmente coincidentes com as ocorrências *Unbroken Intersecting (*sobrepostas), como podemos verificar na Figura 6.

Figura 6 - Inconsistências topológicas (conectividade) na camada trecho de drenagem.

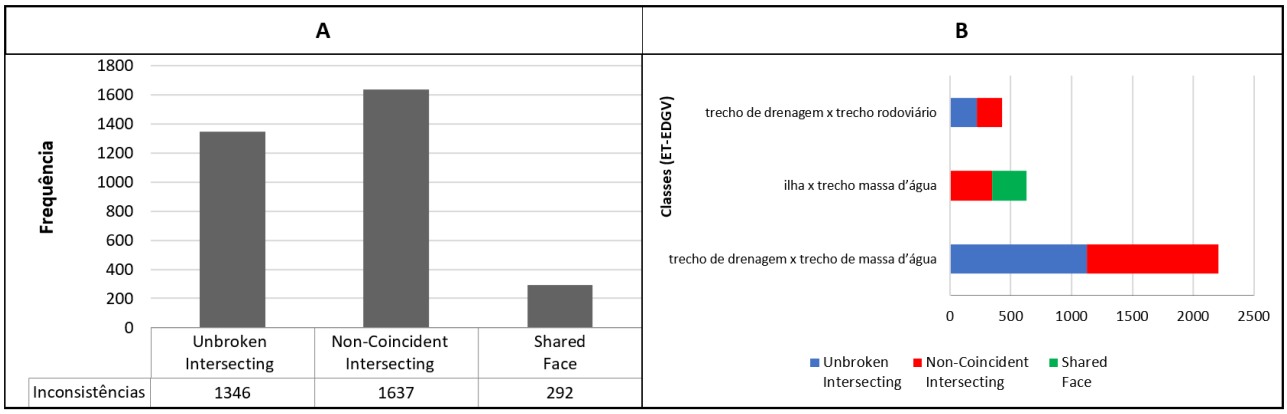


3.1.3 Inspeção topológica entre classes – Conectividade

Classificando em ordem de grandeza decrescente, as inconsistências aparecem da seguinte maneira: *Non-Coincident Intersecting, Unbroken Intersecting* e *Shared Face.* Os erros e tipos de correções estão descritos na Tabela 2.

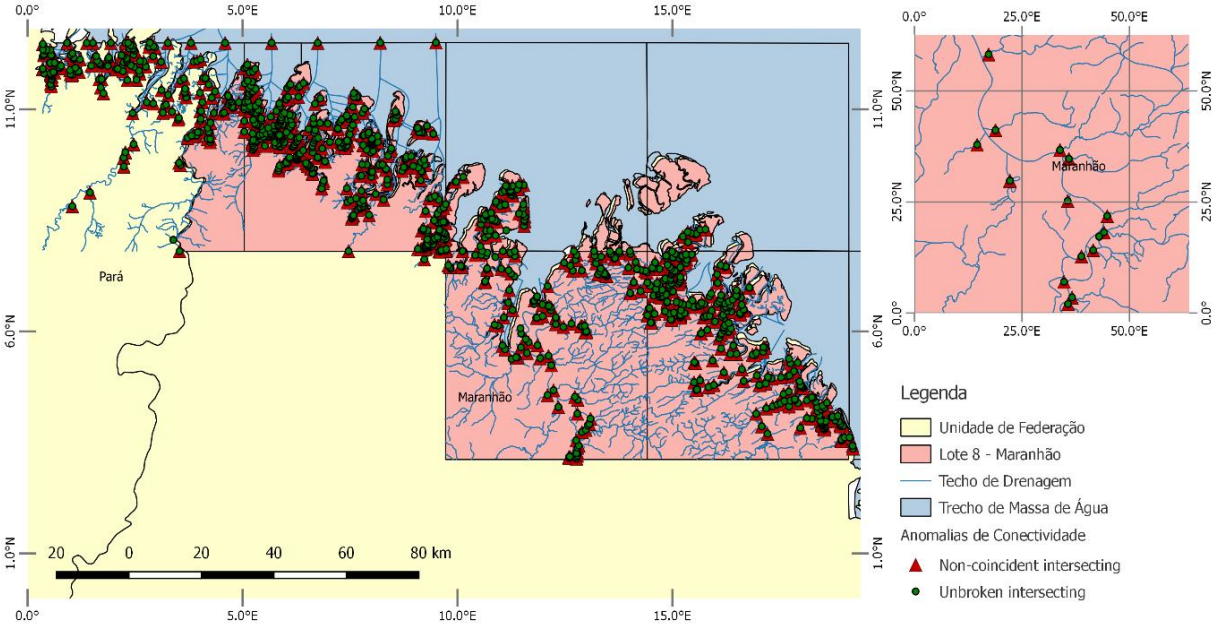
Quando relacionadas, as classes trecho de drenagem e massa d'água aparecem com a maioria das inconsistências., ao todo (67,45%). As inconsistências encontradas estão nas Figuras 7 e 8 apresentadas a seguir.

Figura 7- Gráficos de (A) Frequência de Inconsistências Topológicas Entre Classes (Conectividade) e de (B) Frequência de Inconsistências Topológicas Entre Classes.



A sobreposição dos erros *Non-Coincident Intersecting* e *Unbroken Intersecting* também ocorreu neste caso, como mostra a Figura 9.

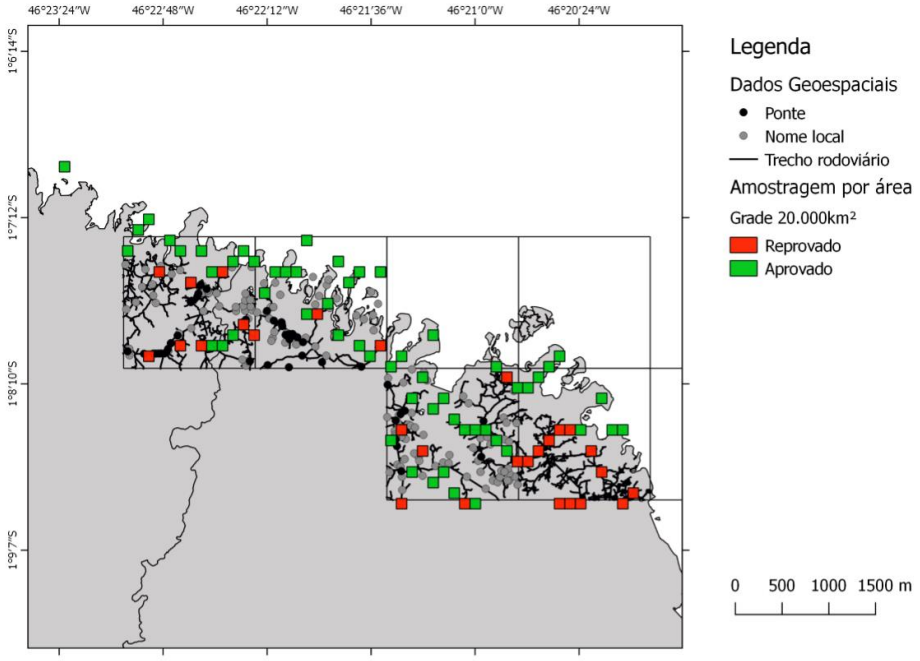
Figura 9 - Inconsistências topológicas entre as classes trecho de drenagem e trecho de massa d'água (conectividade).



3.2 Inspeção de completude e acurácias

Conforme observado anteriormente, foram geradas amostras para inspeção segundo um Limite de Qualidade Aceitável (LQA) de 4% por área, o que, no nível de inspeção II, indica que para o produto ser aprovado sem restrições, apenas 7 amostras podem ser rejeitadas. A Figura 10 ilustra a distribuição das amostras aprovadas e reprovadas após a inspeção dos elementos de completude e acurácias para as categorias de hidrografia, sistema de transporte e localidades.

Figura 10- Distribuição das amostras e avaliação das mesmas na área de inspeção



3.2.1 Inspeção amostral da categoria Hidrografia

Para a inspeção amostral de completude e acurácias de classes da categoria Hidrografia foram geradas 85 amostras. Destas 48 amostras apresentaram inconsistências de omissão, comissão ou posição relativa, sendo 102 observações feitas. Os erros encontrados foram em sua maioria, de omissão e comissão, como ilustrado na Figura 11. A Figura 12 demostra exemplos de ocorrências.

Figura 11 - Gráfico de frequência de inconsistências de completude e acurácias (hidrografia).

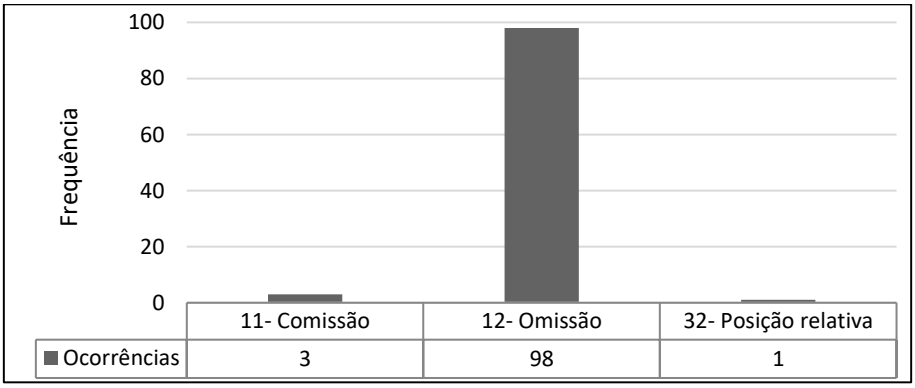
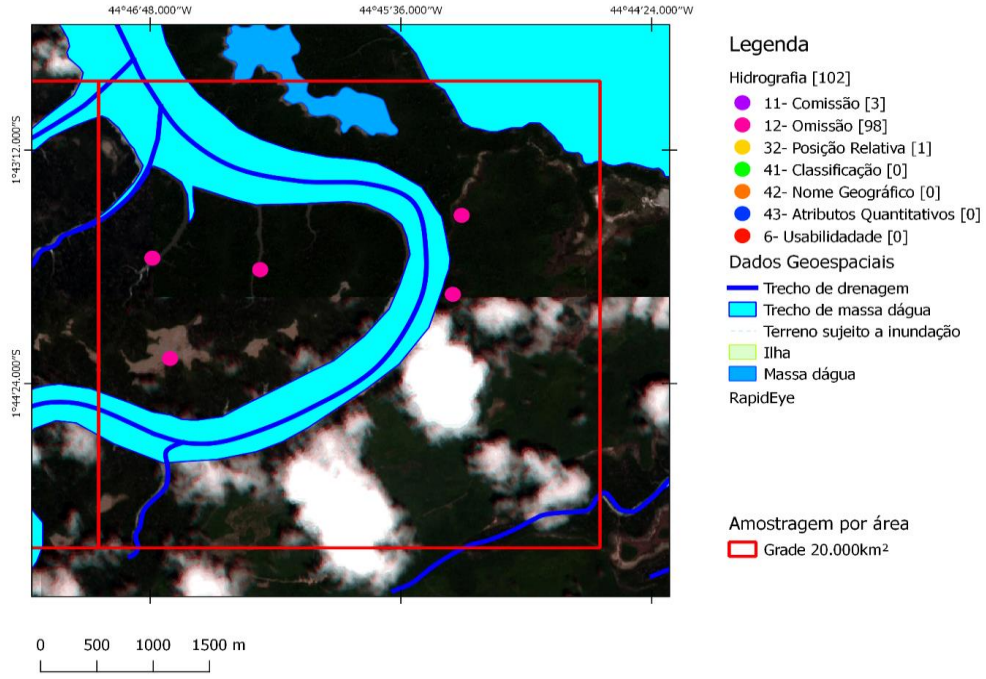


Figura 12 - Verificação de completude e acurácia posicional de hidrografia em uma amostra.



Para essa avaliação, destaca-se que as ocorrências do tipo Omissão excederam o limite aceitável, porém o produto foi aprovado nos quesitos de Comissão e Acurácia Posicional.

3.2.2 Inspeção amostral das categorias Sistema de Transporte e Localidades

Para a inspeção amostral de completude e acurácias de classes das categorias Sistema de Transporte e Localidades foram geradas 85 amostras. Destas, 27 amostras apresentaram inconsistências de omissão, comissão, posição relativa ou nome geográfico, sendo 52 ocorrências observadas. Os erros encontrados foram em sua maioria de omissão e posição relativa, como ilustrado na Figura 14. A Figura 15 demostra exemplos de ocorrências.

Figura 14- Gráfico de frequência de inconsistências de completude e acurácia (Sistema de Transporte e Localidades).

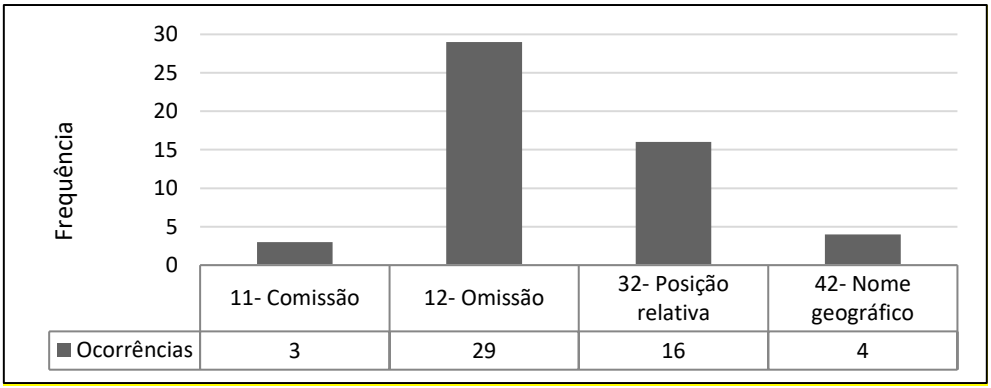
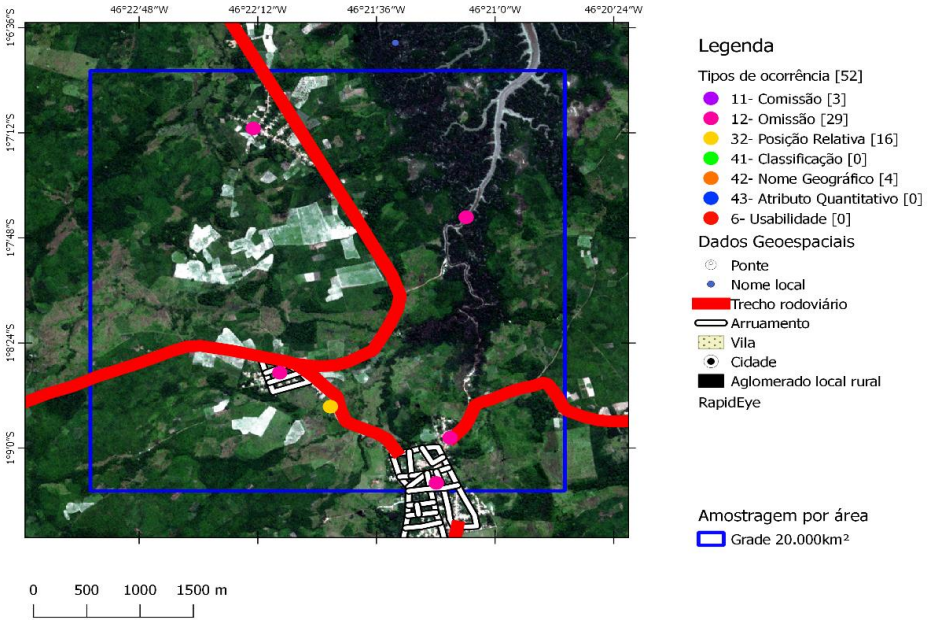


Figura 15 – Verificação de completude e acurácias de sistema de transporte e localidade em uma amostra.



Para essas categorias, destaca-se que as ocorrências do tipo Omissão e Posição Relativa excederam o limite aceitável, porém o produto foi aprovado nos quesitos de Comissão e Nome Geográfico.

3.3 Resultados e Discussão

Em relação as inconsistências topológicas de geometria e conectividade de mesma classe, a maioria das ocorrências são passíveis de correção automática. Recomenda-se que as anomalias passíveis de correção automáticas sejam corrigidas em primeiro lugar. O mesmo não ocorre para os erros topológicos de conectividade entre classes que apresentaram inconsistências de correção manual mais abundantes que as anomalias de correção automática. Além disso, a avaliação indicou necessidade de se investigar os erros *Unbroken Itersecting e Non-Coincident Intersecting*, pois os mesmos parecem ter relação, sendo sobrepostos espacialmente. Supõe-se que algum processo automatizado de quebra de feições possa ser o causador destes tipos de erros, pois os mesmos se apresentam distribuídos espacialmente de modo homogêneo, não havendo área específica de concentração de ocorrência.

Em termos de consistência lógica é desejado 0 (zero) inconsistências topológicas, o que não ocorreu no conjunto de dados avaliado, por isso após as adequações, recomenda-se uma nova inspeção de para essa medida de qualidade.

Quanto à inspeção de completude e acurácias, o resultado de maior relevância é a grande quantidade de erros de omissão que acomete 56% das áreas de inspeção no caso mais grave, na categoria hidrografia. Recomenda-se a revisão geral do produto no quesito Omissão, o que indica a falta de representação de feições das categorias analisadas. Para as categorias Sistema de Transporte e Localidades, destaca-se também o quesito Acurácia Posicional, sendo recomendada nesse caso revisão detalhada dos itens destas categorias no que diz respeito à interpretação de imagens e outros insumos utilizados na produção.

4 CONCLUSÕES

A metodologia de avaliação aplicada se mostrou viável e eficiente, possibilitando a obtenção de métricas representativas e não subjetivas que podem auxiliar na reorientação da equipe de produção para melhoria de qualidade do produto cartográfico gerado. Ressalta-se que o presente artigo mostra a primeira iteração de revisão. Os objetivos das inspeções de qualidade são identificar aspectos positivos e negativos do produto cartográfico avaliado, indicando melhorias a fim de que o mesmo atinja os níveis de conformidade desejados.

Agradecimentos

A Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e a Companhia Hidrelétrica do São Francisco – CHESF .

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5426: Planos de amostragem e procedimentos na inspeção por atributos**. Rio de Janeiro, 1985.

CEBALLOS, J. A. R.; GATICA, G. L. R. Implementation of a management and quality control system under ISO standards 9001:2000, 19113, 19114, 19138 and 19115 in cartographic production. In: INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE, 24., 2009, Santiago do Chile. **Proceedings…** [S.I]: International Cartographic Association - ICA, 2009. p. 14 . Disponível em: <https://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2009/html/refer/3_2.pdf> . Acesso: 07 agosto 2018.

CONCAR – Comissão Nacional de Cartografia. **Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV)**. Versão 3.0. 2017.

IBGE. **Avaliação da Qualidade de Dados Geoespaciais**. Rio de Janeiro, 2017. 90p. (Manuais Técnicos em Geociências, 13).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9000: 2005 - Quality Management Systems**. Fundamentals and vocabulary. British Standards Institution, v. 58, 2005.

____. **ISO 19157:2013**: Geographic information: data quality. Geneva: ISO, 2013c. 146p.

LINGUAGEM DE SCRIPT PYTHON NO QGIS E ARCGIS PARA A GERAÇÃO DO NDVI: UMA COMPARAÇÃO

JUAREZ ANTÔNIO DA SILVA JUNIOR
ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
juarez.ufpe@gmail.com, analucia@ufpe.br

RESUMO - Este estudo apresenta a metodologia de cálculo de os Índices do Sensoriamento Remoto com o uso de imagens do satélite Landsat 8, sensor OLI utilizando a linguagem de *script Phyton*, inserida no *software* livre QGIS 2.18 a ArcGIS 10.3. É apresentada uma comparação de programação usando como exemplo o NDVI (índice de vegetação normalizada diferenciada) e a biblioteca do ArcPy e do QGISPY.

ABSTRACT - This study presents the methodology for calculating the Remote Sensing Indexes using images from Landsat 8 satellite, OLI sensor using the Phyton script language, inserted in the free software QGIS 2.18 to ArcGIS 10.3. A comparison of programming is presented using the NDVI (differentiated normalized vegetation index) and the ArcPy and QGISPY library as an example.

1 INTRODUÇÃO

O Python é uma linguagem versátil e existem bibliotecas para aplicações em diferentes áreas e dentre elas, a área de geoprocessamento. A linguagem de script Python no SIG permite ao usuário desde a simples leitura e gravação de arquivos de imagem até processamento científico de imagens e aplicações em sensoriamento remoto, e na área ambiental.

Este trabalho faz uma comparação do desenvolvimento de linguagem de programação em scripts Python nos softwares QGIS e ArcGIS, baseadas na metodologia do cálculo das bandas espectrais do satélite Landsat 8/OLI para a criação de imagens dos índices de sensoriamento remoto. Com isto, o usuário conhecerá de forma geral, as rotinas para a obtenção dos índices como (NDVI, NDWI e *etc*.) apenas trocando os parâmetros de entrada do *script*.

O pacote que o ArcPy está contido no módulo *Spatial Analyst* (arcpy.sa) onde se tem as ferramentas, operadores, funções e classes para o processamento e gerenciamento de arquivos vetoriais e *raster* já o QGISPY utiliza a biblioteca de comandos do GDAL que consiste em um conjunto de programas de linha de comando, que são responsáveis por várias funções no geoprocessamento como a criação de *buffers*, cortes em arquivos *shapefiles* e operação algébricas com arquivos de imagens *raster*.

Metodologia

A imagem utilizada foi obtida através do download gratuito do catalogo do INPE, disponível em (http://www.dgi.inpe.br/catalogo/) possui órbita/ponto 217/066 datada 06/10/2016 e onde a cena foi recortada para facilitar o processamento.

A análise comparativa foi desenvolvida a partir do cálculo do NDVI (Índice de Vegetação Normalizada) no script Python do QGIS 2.18 e do ArcGIS 10.3. Utilizou-se a equação apresentada em (1) e o script *Arcpy 10.3 e QGISPY 2.18.20.*

Implementação com o Arcpy 10.3

Inicialmente foi empregado o módulo de iniciação da biblioteca onde inclui a ativação de funções e classes para qualquer aplicação no *ArcPy*.

import arcpy

Depois, foi importado o modulo *arcpy.sa*.A implementação do modulo *sa* possibilita o acesso as funcionalidades da extensão do ArcGIS Spatial Analyst,que permite os *rasters* sejam usados com operadores.

*from arcpy.sa import **

Por fim, foi nomeado os *rasters* igualando ao diretório onde se encontram os arquivos. É importante a recomendação para que o nome do diretório dos arquivos seja o mais curto possível. As ferramentas do *Spatial Analyst* podem ser acessadas a partir de um formato algébrico, ou seja, um objeto cujo nome é identificado à esquerda de um sinal de igual é criado com base no operador declarado à direita do sinal de igual, e como se trata de um caminho de saída de um *raster* é acrescido antes das aspas a letra *r*.

Raster_B4 = (r"C:\caminho\B4.tif")

Raster_B5 = (r"C:\caminho\B5.tif")

Foi utilizado mais uma função do *ArcGIS Spatial Analyst*, desta vez é o *Math toolset*. O *Math toolset* é um conjunto de ferramentas que executam operações matemáticas em *rasters*. Utilizaremos a função *Divide* que permite realizar operações de divisão em *rasters* ou constantes. Sua sintaxe é dada por:

Divide (raster ou constante A, raster ou constante B)

O cálculo do NDVI seguindo a Equação (1) foi descrito utilizando com a sintaxe do *Divide*:

$$NDVI = Divide(Float(Raster(Raster_B4)) - Float(Raster(Raster_B5)), \; Float(Raster(Raster_B4)) + Float(Raster(Raster_B5))) \quad (1)$$

Observe que foi colocado entre parentes o parâmetro *Float*. Esta aplicação é importante pois permite converter cada valor do *raster* de uma varredura em uma representação de ponto flutuante. Com este procedimento é possível realizar as operações com valores negativos e positivos. Além disso, a execução em uma entrada que já é ponto flutuante, seus os valores de saída permanecerão os mesmos que os valores de entrada. Logo após foi utilizado o método de salvamento, seguindo a linha de comando "*raster.save*: "

NDVI.save(r"C:\teste\NDVI.tif")

Utilizando este método, os dados são salvos seguindo o caminho do diretório que o usuário insere no método salvar. O comando *save* suporta todos os formatos de varredura suportados pelo ArcGIS Spatial Analyst.Logo após este procedimento o índice é automaticamente criado na tela de visualização do ArcGIS.

Implementação com o QGISPY

Inicialmente foi importado as funções de processamento com a seguinte linha:

import processing

Com isso foi possível a execução de um algoritmo no QGISPY 2.18. Foi utilizado a função *processing.getObjectFromName(' ')*. Atribuindo nome a esta função através do sinal de igualdade, essa atribuição tem a funcionalidade de retornar ao canvas o objeto, cujo o nome do esteja na lista de camadas do *QGIS*.

RED = processing.getObjectFromName('B4_raster')
NIR = processing.getObjectFromName('B5_raster')

Logo após foi escrito a sintaxe de cálculo para o NDVI seguindo a equação 01:

NDVI_syntax = 'A-B/A+B'

Neste momento foi identificado quem é A e B e "chamar" as linhas de comando da calculadora *raster* do PyQGIS que na versão deste trabalho funciona usando a calculadora de varredura GDAL. É necessário seguir a ordem

dos parâmetros a serem usados nas linhas de comando na posição correta. A estrutura genérica da linha de comando para a calculadora *raster* Gdal é:

outputs_GDALOGRRASTERCALCULATOR_1=processing.runalg('gdalogr:rastercalculator', Raster,'1',None,'1',None,'1',None,'1',None,'1',None,'1',None,'1',Formula,'Valor para o nodata',Tipo do raster de saida,None,None do arquivo de saida).

Neste caso:

outputs_GDALOGRRASTERCALCULATOR_1=processing.runalg('gdalogr:rastercalculator',

NIR,	*#INPUT_A*	*<ParameterRaster>*
'1',	*#BAND_A*	*<ParameterString>*
RED,	*#INPUT_B*	*<ParameterRaster>*
'1',	*#BAND_B*	*<ParameterString>*
None,	*#INPUT_C*	*<ParameterRaster>*
'1',	*#BAND_C*	*<ParameterString>*
None,	*#INPUT_D*	*<ParameterRaster>*
'1',	*#BAND_D*	*<ParameterString>*
None,	*#INPUT_E*	*<ParameterRaster>*
'1',	*#BAND_E*	*<ParameterString>*
None,	*#INPUT_F*	*<ParameterRaster>*
'1',	*#BAND_F*	*<ParameterString>*
NDVI_syntax,	*#FORMULA*	*<ParameterString>*

Necessita-se da atribuição de um valor *nodata* especificado para bandas de saída, que neste caso não atribuído nenhum valor.

'', #NO_DATA <ParameterString>

Definição o tipo do *raster* de saída. Seguindo o numero da lista:

0 - Byte,
1 - Int16,
2 - UInt16,
3 - UInt32,
4 - Int32,
5 - Float32
6 - Float64

Neste trabalho foi utilizado o *raster* de ponto flutuante de precisão simples tipo Float32, onde na lista de referencia é correspondente ao numero 5.

5, #RTYPE <ParameterSelection>

As ferramentas do GDAL aceitam uma variedade de parâmetros que são normalmente mapeados para os parâmetros de processamento. Mas devido aos diferentes ciclos de desenvolvimento, algumas vezes existem parâmetros que ainda não foram mapeados. Esses parâmetros podem ser especificados com o parâmetro EXTRA. Foi utilizado este parâmetro adicional para a determinação da precisão de valores como string para o parâmetro 'EXTRA'.

'0', #EXTRA <ParameterString>

None) #OUTPUT <OutputRaster>

Foi definido nenhum parâmetro de saída, pois o módulo de salvamento será dado através da aplicação da classe *QgsRasterLayer*. Esta classe fornece ao QGIS a capacidade de renderizar conjuntos de dados *raster* no canvas automaticamente e suporta qualquer formato suportado pelo GDAL. Esta classe se faz uso inicialmente atribuindo um nome para a linha genérica de comando através do sinal de igualdade.

NDVI = QgsRasterLayer(outputs_GDALOGRRASTERCALCULATOR_1['OUTPUT'],'NDVI')

A aplicação desta estrutura possui o seu próprio diretório de salvamento automático numa pasta temporária. Em geral, todas as camadas devem ter uma fonte em algum lugar no disco rígido, mesmo que o resultado seja adicionado no canvas depois que o processamento terminar. Observa-se no metadados da camada criada, a fonte atual da camada que se encontra em uma pasta temporária. Foi usado a classe *QgsMapLayerRegistry.instance().mapLayers(raster)* que é responsável por mostrar no canvas, as camadas que estão abertas. Esta classe é responsável por rastrear o *raster* ou as camadas de mapas que estão atualmente ou em eminencia de serem carregadas. A linha de comando é

QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(NDVI)

Logo após o termino do conjunto desses comandos, o *raster* do NDVI aparecerá automaticamente na tela do QGIS.

Análise dos Resultados

A figura 1 apresenta o Algoritmo ArcPy e a figura 2 mostra o resultado da sequencia de comando para gerar o NDVI no ArcPy e no QGISPY.

Figura 1 – Algoritmo ArcPy

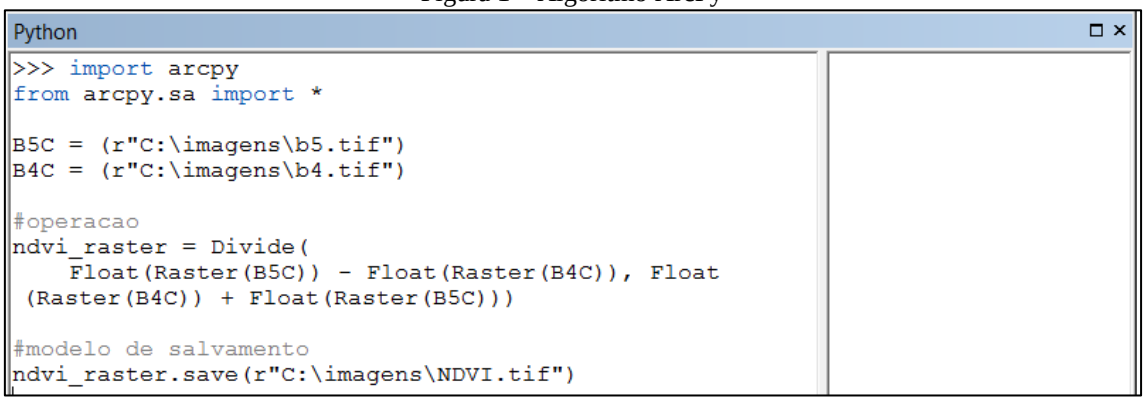
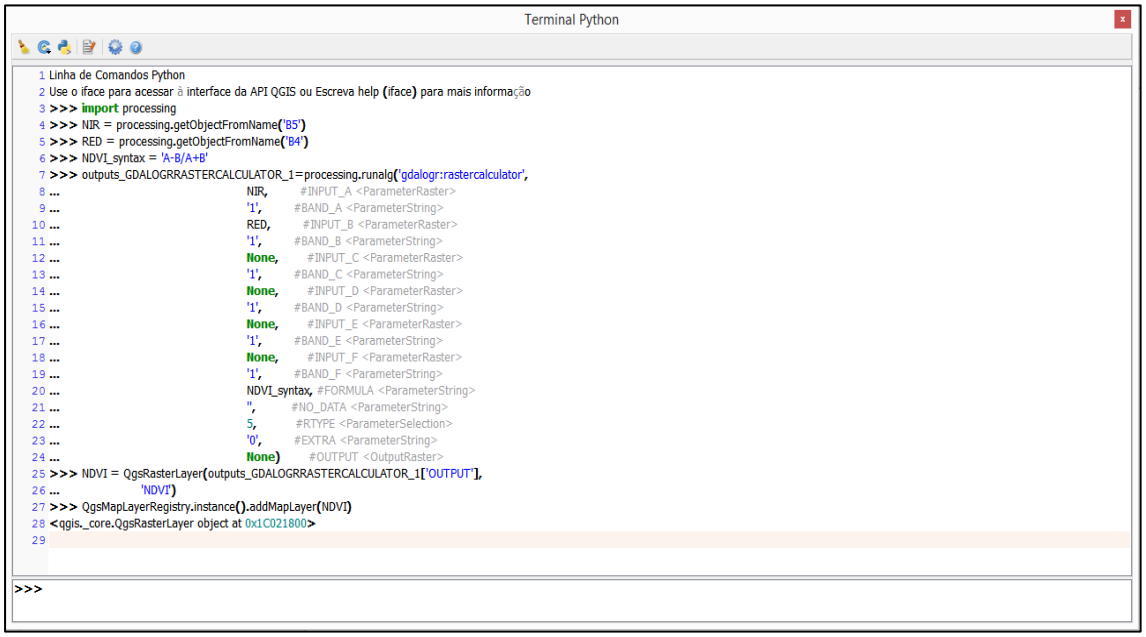
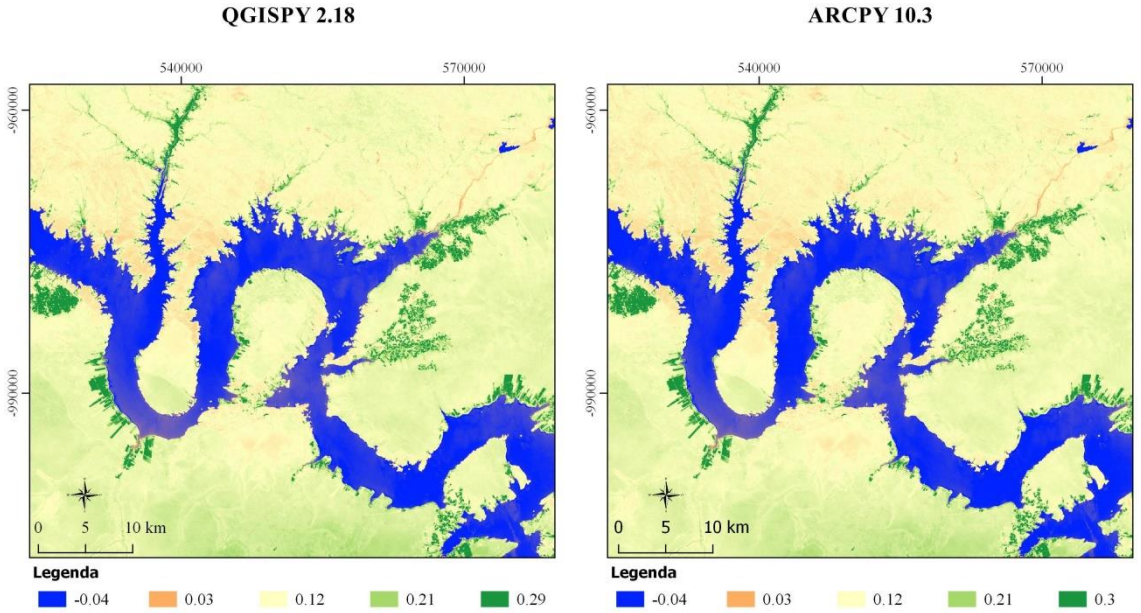


Figura 2 – Algoritmo QGISPY



Como esperado o resultado do NDVI nos algoritmos ArcPy e QGISPY (Figura 3) apresentaram valores espectrais semelhantes para os elementos naturais (solo exposto, vegetação e agua). Em geral os dois algoritmos atenderam de modo satisfatório o objetivo proposto de forma ágil, e preservaram a consistência vegetativa do índice testado. Vale ressaltar que nenhuma das imagens passou por processos de correção ou calibração.

Figura 3 – Resultado com QGISPY e ARCPY



Na Tabela 01 abaixo mostra as principais diferenças no uso da linguagem de script utilizadas neste artigo sugeridas pelo autor.

Tabela 01 – diferenças entre o ArcPy e QGISPY

ArcPy 10.3	QGISPY 2.18.20
Flexibilidade na escolha do diretório de salvamento	Gera automaticamente o arquivo de saída em uma pasta temporária.
Não necessita de inúmeros parâmetros de entrada.	Necessita de vários parâmetros de entrada
A programação é mais flexível podendo ser adicionados mais funções e parâmetros para incrementar o algoritmo.	O acréscimo de funções ou classes pode acarretar em bugs no processamento do algoritmo.
Outro tipo de formatos de imagens *raster* não foi testado neste artigo, apenas o formato de ponto flutuante.	Existe uma maior variedade de tipos de formatos de saída.
O arquivo de saída aparece automaticamente na tela do ArcMap	Tem a necessidade de uma função apenas para adicionar automaticamente o resultado na tela do QGIS.

Conclusão

Este artigo teve como objetivo explorar o uso de um instrumento técnico, baseado em softwares somados com linguagens de script Phyton de código livre para Sistemas de Informações Geográficas (SIG), adaptado para automatização de cálculos com arquivos do tipo *raster*. O uso da linguagem de script phyton no GIS prova neste trabalho uma poderosa funcionalidade através dos pacotes GDAL e Spatial Analyzer utilizado no QGIS e ArcGIS respectivamente. O uso destas aplicações fornece ferramentas simples e eficientes para análises aprimorada de vetor e *raster*, geocodificação, criação de mapas, bem como para e gerenciar um GIS com usuários, grupos e itens de

informação. Dessa forma, propõe-se aqui uma ferramenta que permite a mediação do geoprocessamento como instrumental técnico pautado em computação, sensoriamento remoto, e cartografia digital. Durante o estudo para o artigo foi feito as seguintes observações sobre o uso de linguagem de scripts no GIS:

- ✓ O desenvolvimento de scripts em Python melhora e oferece maior variedades de resultados que melhor atende ao usuário.
- ✓ Aprimoramento de algoritmo já existente adicionando funções e classes que automatizem o trabalho para qualquer finalidade nas geotecnologias.
- ✓ Utilizar as classes ArcPy e QGISPY para geometria dos objetos, criar, atualizar feições e realizar operações de geoprocessamento.
- ✓ Aplicar metodos para se certificar da certificação da sintaxe da linguagem de script phyton e tratamento de erros.
- ✓ Criar ferramentas de scripts personalizado e pacotes de processamento para o compartilhamento de scripts.

Referencias Bibliográficas

CUMBE.R.S; CANDEIAS A.L.B. **Uso de Python e ArcGIS na avaliação da acessibilidade das populações rurais ao ensino básico – caso do distrito de chicualacuala**. VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Disponível em: https://www3.ufpe.br/geodesia/images/simgeo/papers/83-562-1-PB.pdf . Acesso: 03 março 2018.

MUELLER, J. P. **Começando a Programar em Python Para Leigos; tradução de Gian Marco Converso**. 1. ed. Rio de Janeiro: Alta Books Editora, 2016. 400 p. Processamento digital, disponível em: http://www.processamentodigital.com.br/2013/10/26/q gis-2-0-geocodificacao-de-enderecos-atraves-googlevia-plugin-mmqgis/

Benício, P. C. N., Tavares Junior, J. R., Candeias, A. L. B. **Utilização de Imagens do satélite CBERS-4 e Linguagem Python para a determinação de índices de vegetação NDVI e SAVI**. Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto do Nordeste GEONORDESTE 2017/Salvador-BA. Brasil 03 de Outubro de 2017

Araújo, T. L., Candeia, B. A., Silva, N. O., Valdevino, D. S., Azevedo, J. J. M. **Geocodificação de endereços e espacialização de dados através do modulo geopy/python e do Quantum gis, aplicado ao sistema de alunos integrantes no IFPB Campus João Pessoa nos anos de 2004, 2009 e 2014.**
PyQGIS. **PyQGIS Developer Cookbook.** Disponível em: <https://docs.qgis.org/testing/en/docs/pyqgis_developer_cookbook/loadlayer.html#raster-layers>. Acesso: 03 março 2018.

Gidahatari. **Calculo de Indice de Vegetación NDVI de Imágenes Sentinel 2 con Python en QGIS (PyQGIS)** Disponível em: <http://gidahatari.com/ih-es/calculo-de-indice-de-vegetacion-ndvi-de-imagenes-sentinel-2-con-python-en-qgis-pyqgis> Acesso: 10 março 2018

ArcGIS Tools**. Importing the Spatial Analyst module** <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/analysis/spatial-analyst/mapalgebra/importing-the-spatial-analyst-module.htm> Acesso: 10 março 2018

Geographic Information Systems**. Using custom python function with raster calculator.** Disponível em: <https://gis.stackexchange.com/questions/280665/using-custom-python-function-with-raster-calculator> Acesso: 10 março 2018

MAPEAMENTO DE ÁREAS SUJEITAS À INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE BARREIROS-PE ATRAVÉS DO MÉTODO HAND UTILIZANDO OS DADOS DO PERNAMBUCO TRIDIMENSIONAL.

EDERLEY RAMALHO VANDERLEI
JUAREZ ANTÔNIO DA SILVA JÚNIOR
LÍGIA ALBUQUERQUE DE ALCÂNTARA

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
ederley.ramalho@ufpe.br, juarez.ufpe@gmail.com, ligia.alcantara@yahoo.com.br

RESUMO - O método denominado HAND (*Height Above Nearest Drainage*) foi desenvolvido por pesquisadores do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e do INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia). Tem sido aplicado no mapeamento de áreas susceptíveis à inundação, permitindo simular, através de dados hidrológicos e de dados altimétricos do terreno, os possíveis cenários de uma determinada área submetida a diferentes condições hidrológicas. Dessa forma, podemos saber, por exemplo, qual área será alagada quando um curso d'água atingir diferentes níveis. Barreiros está localizado na Mesorregião da Mata Pernambucana e caracteriza-se pelas constantes enchentes e inundações. Pode-se exemplificar a cheia do Rio Una, em 2010, onde vários habitantes ficaram desabrigados e até hoje esperam receber novas moradias e estradas e pontes dos bairros mais afastados do centro do município destruídas.

ABSTRACT - The HAND (Height Above Nearest Drainage) method was developed by researchers from INPE (National Institute for Space Research) and INPA (National Institute of Amazon Research). It has been applied in the mapping of areas susceptible to flooding, allowing to simulate, through hydrological data and altimetric data of the terrain, the possible scenarios of a certain area submitted to different hydrological conditions. In this way, we can know, for example, which area will be flooded when a watercourse reaches different levels. Barreiros is located in the Meso-region of Mata Pernambucana and is characterized by constant floods and floods. One can exemplify the flood of the Rio Una in 2010, where several inhabitants were left homeless and to this day expect to receive new housing and roads and bridges from the most remote neighborhoods of the city center destroyed.

1 INTRODUÇÃO

Os impactos socioambientais no espaço brasileiro se destacam por eventos relacionados à precipitação e consequentemente agravam a situação de vulnerabilidade da população expostas ao risco de inundações. É fundamental compreender que a vulnerabilidade é um conjunto de processos e condições resultantes de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais que aumentam a probabilidade de um determinado grupo populacional sofrer os impactos dos perigos (UNISDR, 2015).

Medidas estruturais e não estruturais têm sido adotadas para minimização dos danos gerados por inundação. As primeiras envolvem ações que atuam no escoamento da onda de cheia enquanto as segundas abrangem ações preventivas e de convivência com este tipo de evento hidrológico extremo. O mapeamento das áreas suscetíveis à inundação constitui elemento fundamental para definição de medidas não estruturais, como planejamento do uso e ocupação do solo e, os planos de defesa civil (FRANK; PINHEIRO, 2003).

Uma abordagem desenvolvida por pesquisadores do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e do INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia) é o modelo de terreno denominado HAND - *Height Above Nearest Drainage (NOBRE et al., 2011).* Esse modelo tem sido usado no mapeamento da condição hidrológica estacionária do terreno e também no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação. Trata-se de uma normalização topográfica da paisagem que usa como entrada o Modelo Digital do Terreno (MDT) e fornece como saída um novo MDT normalizado, que pode ser classificado de acordo com distâncias verticais relativas aos cursos d'água mais próximos. Neste contexto,

o presente artigo visa avaliar o desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação no município de Barreiros - PE, utilizando MDT de alta resolução espacial.

Barreiros está localizado na Mesorregião da Mata Pernambucana e caracteriza-se pelas constantes enchentes e inundações. Pode-se exemplificar a cheia do Rio Una, em 2010, na qual habitantes ficaram desabrigados e até hoje esperam receber novas moradias; estradas e pontes que foram destruídas nos bairros mais afastados do centro.

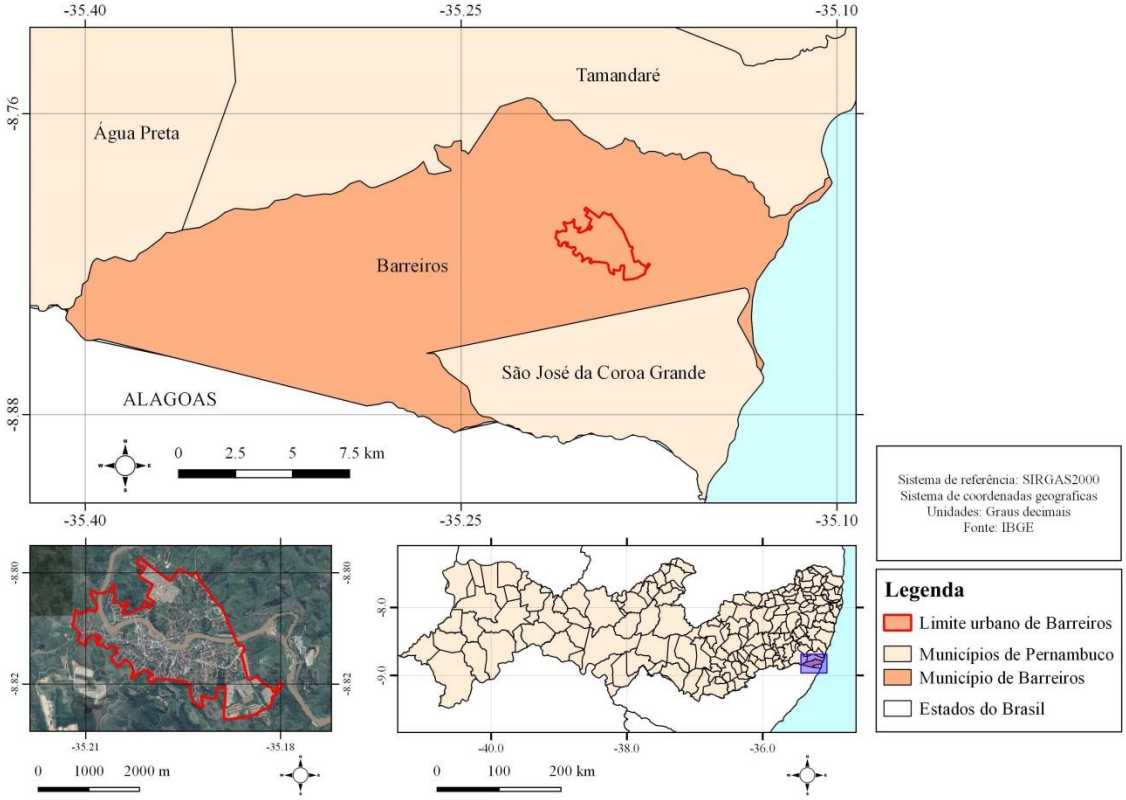


Figura 01 – Localização do Município de Barreiros. Fonte: os autores

2 METODOLOGIA

Neste trabalho foi utilizado o MDT (Modelo Digital de Elevação) com resolução espacial de 1 metro, disponibilizado gratuitamente pela Secretaria de Infraestrutura do Governo de Pernambuco a partir do Programa Pernambuco Tridimensional, o qual foi responsável pelo recobrimento aerofotogramétrico e utilização da tecnologia Lidar para todo o território pernambucano. Os 98.149km² do Estado foram subdivididos em 12.962 folhas articuladas e para cada uma das articulações foi elaborado um conjunto de produtos na escala 1:5.000. O MDT disponibilizado pelo programa foi gerado a partir da filtragem do modelo digital de elevação obtido a partir do perfilamento laser. (CIRILO et. al., 2015).

Como forma de analisar mais detalhadamente o método HAND, foi utilizado, além do MDT do Programa Pernambuco Tridimensional, os MDT's da WorldDEM, com resolução espacial de 12 metros, da Topodata, com resolução espacial de 30 metros, e o MDT SRTM, com resolução espacial de 90 metros. Para se obter o mapa de inundação do município de Barreiros-PE foi feito uma series de etapas utilizando a ferramenta Hydrological Tools do software livre TerraHidro. A primeira etapa é construída no SIG a partir da rotina Hydrological tools>Flow Extracion para o método HAND o raster de direção de fluxo. A Direção de Fluxo define as relações hidrológicas entre pontos diferentes dentro de uma bacia hidrográfica (RENNÓ et al., 2008). A continuidade topológica para as Direções de Fluxo é, consequentemente, necessária para que uma drenagem funcional possa existir (ALVES SOBRINHO et al., 2010). O segundo conjunto de procedimentos utiliza a rede de trajetórias de escoamento superficial, gerando um mapa de drenagem-mais-próxima (cada célula nos canais de drenagem está espacialmente associada com todas as células do MDT que nela drenam). O resultado desta etapa é uma grade de pontos chamada DFD (Direção do Fluxo de Drenagem, em inglês LDD - *Local Drain Direction*). Desta forma, a direção do escoamento superficial e a conexão entre os pontos hidrológicos na formação da rede de drenagem na grade, tem por princípio a força gravitacional, a qual determina que a

água sempre segue para o ponto mais baixo. A geração de uma grade que contém valores que indicam a direção do fluxo, definidos pelos valores entre 1 (L) e 126 (NE), identificada pela distribuição espacial dos valores altimétricos dos MDT's (Figura 2). A nova grade numérica gerada determina a direção de maior declividade de um "pixel" em relação a seus oito "pixels" vizinhos. Assim, ocorre a descrição numérica da direção que a água irá percorrer após atingir cada "pixel", que pode ser representada graficamente por meio da aplicação do código de direção (Figura 2).

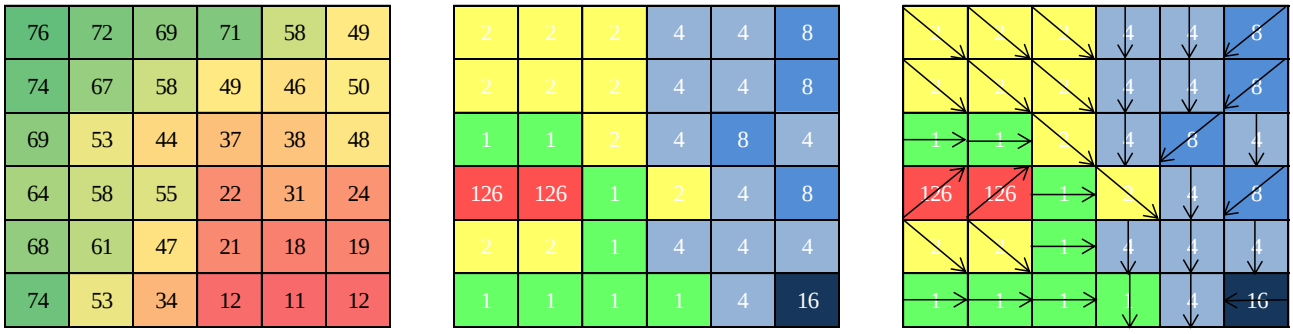


Figura 02 – Esquema para a direção de fluxo. Fonte: os autores

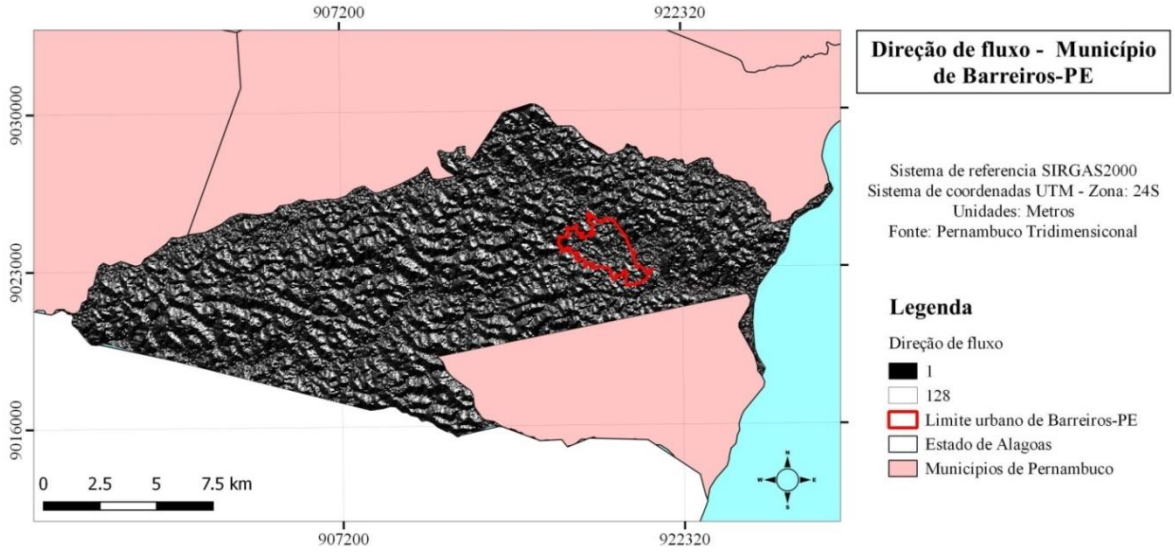
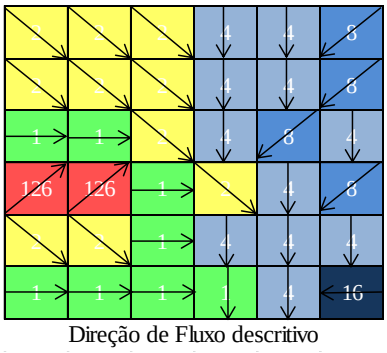


Figura 03 –Direção de fluxo para o Munícipio de Barreiros-PE. Fonte: os autores

Nesta etapa o cálculo do acúmulo do escoamento superficial é baseado na grade regular de direção do fluxo, através da soma da área das células (quantidade de células) na direção do fluxo (ou escoamento), ou seja, uma célula com valor 28 indica que 28 outras células contribuem para o seu fluxo superficial (figura 4). As células com um elevado fluxo de acumulação são áreas de fluxo concentrado e pode ser usado para identificar os canais de transmissão (figura 5). Através da direção do fluxo o TerraHidro calcula os conjuntos de células ascendentes ou descendentes e gera outra imagem raster chamada Flow Acumulation ou Acúmulo de Fluxo Raster. Neste momento são definidas as linhas da rede de drenagem em formato raster e elas são comparadas com o sistema de drenagem para validar o desempenho do processo.



0	0	0	0	0	0
0	1	1	2	2	0
0	3	7	5	4	0
0	0	0	20	0	1
0	0	0	1	24	0
0	2	4	7	35	2

Fluxo de acumulação

Figura 04 – Esquema para o fluxo de acumulação. Fonte: os autores

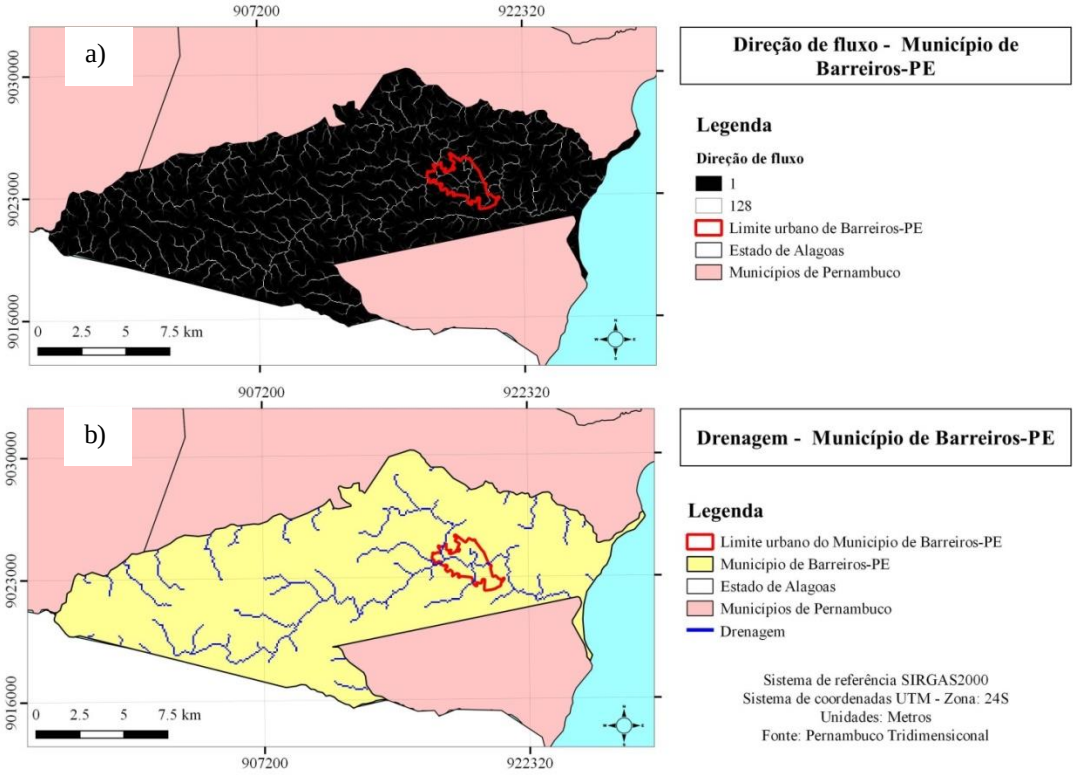


Figura 05(a) Fluxo de acumulação e (b) Sistema de drenagem para o Município de Barreiros-PE. Fonte: os autores

O método HAND consiste em calcular a altura acima da drenagem mais próxima, ou seja, as informações retiradas deste é referente à distância vertical de cada ponto em relação ao curso de drenagem mais próximo. O resultado do método HAND está diretamente relacionado à resolução espacial do dado sobre o terreno. Para melhores simulações, deveremos possuir dados altimétricos com resoluções satisfatórias. A última etapa é a geração da topologia HAND: nesta etapa o modelo classifica todos os pontos da grade de entrada com base nas distâncias verticais relativas, ao longo das trajetórias superficiais de fluxo, para o curso d'água mais próximo (figura 06). Como resultado desta etapa é produzido um MDT normalizado, onde a cada ponto de grade é ajustado um novo valor altimétrico referenciado topograficamente com a rede de drenagem.

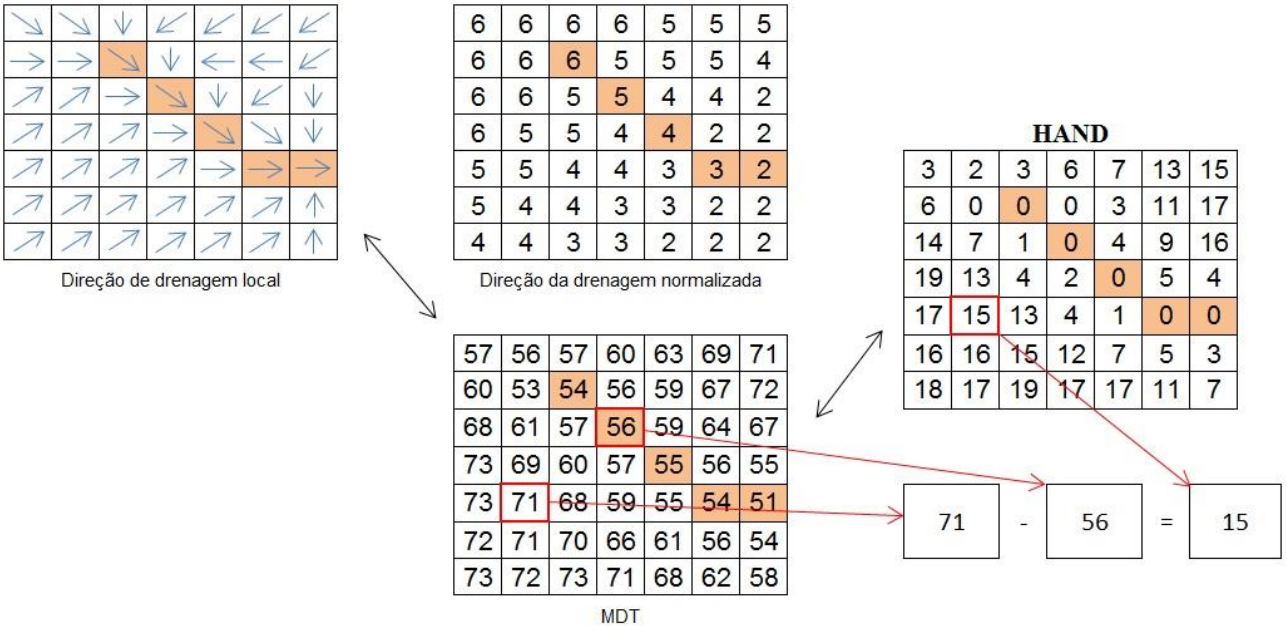


Figura 06 – Esquema para o Método HAND. Fonte: os autores.

Resultados

Os resultados obtidos com o modelo HAND foram as manchas de inundação simuladas pelo modelo HAND e estão representados pelas áreas coincidentes entre a mancha simulada. A figura 07 mostra tais manchas no município de Barreiros e neste estudo foi considerado apenas o processamento para as cotas menores que 12 m. Esta cota foi adotada com base no Boletim do Sistema de Alerta de Cheia dos Níveis dos Rios de Pernambuco publicado dia 14/06/2018 no site oficial da APAC (Agencia Pernambucana de Aguas e Clima de Pernambuco).

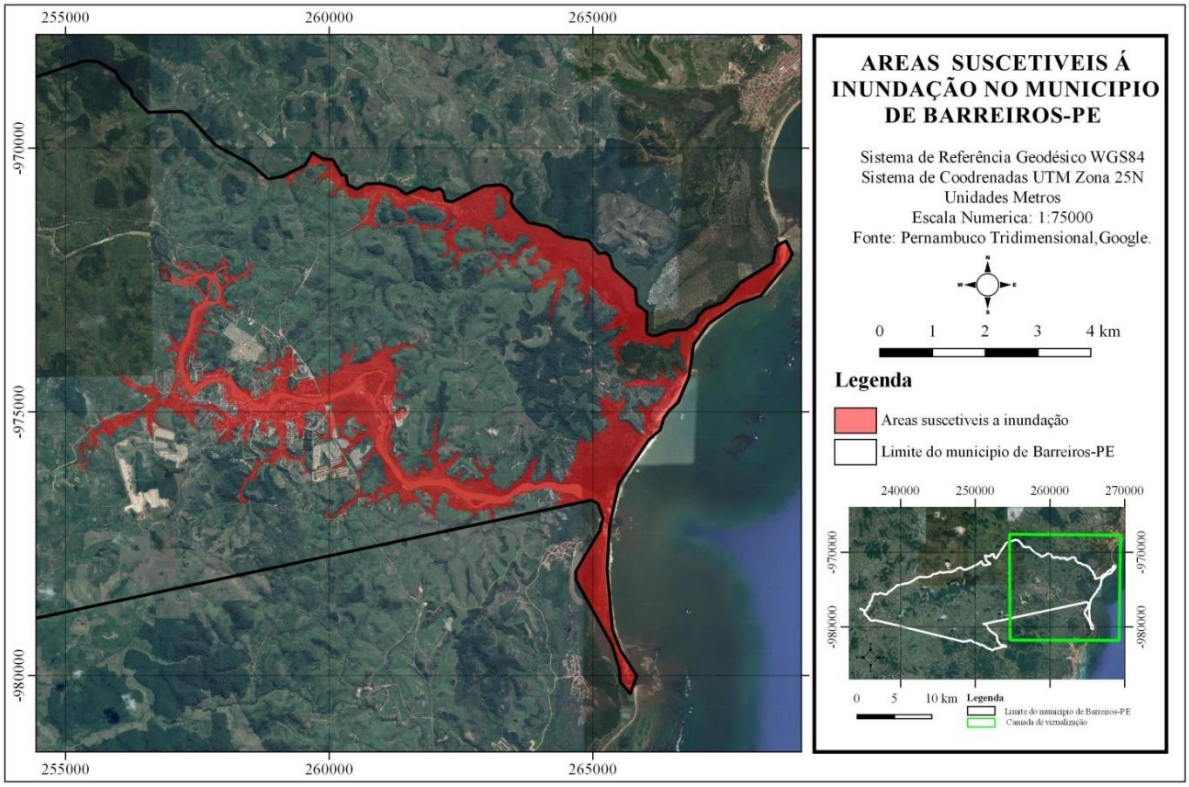


Figura 07 –Inundação do Método HAND para parte do Município de Barreiros-PE. Fonte: os autores.

Tais produtos devem ser analisados em duas perspectivas. Primeiro, a inundação da parte urbana do município é gerada pela enchente produzida na bacia do Rio Uma. Ressalta-se que o oeste do município não foi estudado pois apresenta relevo mais acidentado e de cotas maiores, sendo então impossível de ser uma área de estudo de inundação. As áreas ribeirinhas adjacentes são diretamente inundadas pelo escoamento fluvial no rio principal. No entanto, nas bacias de drenagem dos afluentes, a inundação é provocada pelo escoamento de refluxo, quando o nível de água do rio principal é mais elevado do que no escoamento no canal de drenagem. Deste modo, a velocidade de enchimento nas áreas suscetíveis a inundação dos afluentes depende da diferença de nível entre o rio principal e o ponto considerado. Isto significa que a hidrodinâmica do escoamento de refluxo controla a abrangência da área efetivamente inundada. Para enchentes de curta duração, parte da área suscetível a inundação pode não ser atingida se a velocidade de enchimento for reduzida. Em geral, esta situação é observada para enchente de pequena magnitude, como aquelas com cota de inundação de 10,0 e 12,0 m. Para as enchentes com cota de inundação mais elevadas, o tempo de passagem da onda de cheia é maior, possibilitando o completo enchimento das áreas suscetíveis à inundação.

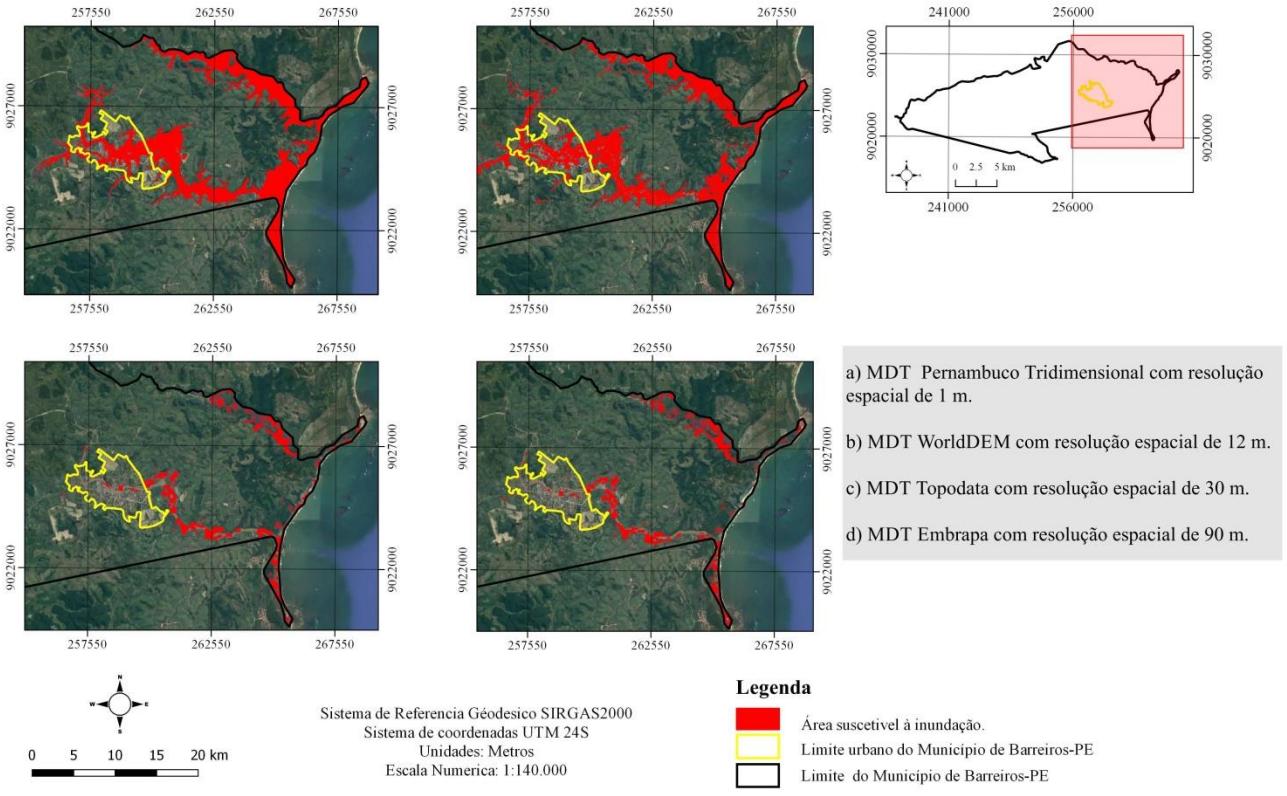


Figura 08 – Método HAND para diferentes MDT's. Fonte: os autores.

O modelo HAND soma o mapa de fluxo com direção e subtrai o mapa de drenagem, resultando nas manchas de inundação. O MDT adquirido pela Secretaria de Infraestrutura do Governo de Pernambuco apresentou uma textura mais homogênea na representação dessas manchas, enquanto que os modelos gerados a partir dos worldDEM (b), SRTM (d) e Topodata (c), não apresentaram tal suavização devido ao filtro que cada uma possui. Houve semelhança evidente entre os MDT's obtidos do WorldDEM e Pernambuco Tridimensional pelo fato de possuírem melhor resolução espacial. O aspecto mais suave no MDT proveniente da estereoscopia pode ter favorecido nas maiores diferenças entre os MDT's, pois não foi aplicado nenhum filtro nos Modelo Digitais de Terrenos obtidos com os interpoladores.

A diferença entre os MDT's foi bastante significativa devido ao fato da aplicação de um filtro de suavização nos MDT's de domínio público e às discrepâncias quanto à resolução espacial de cada um dos MDT's. Através da tabela 01 é possível verificar a diferença entre as áreas sujeitas à inundação por diferentes modelos digitais de elevação e é visto que as áreas são proporcionais a resoluções espaciais do modelo.

Pernambuco Tridimensional (1m)	World (DEM) (12m)	Topodata (30 m)	SRTM (90 m)
16.019 Km²	14.153 Km²	7.875 Km²	5.012 Km²

Tabela 01 – Diferença entre as áreas sujeitas à inundação. Fonte: os autores.

CONCLUSÃO

Foi possível avaliar o desempenho do modelo HAND no mapeamento das áreas suscetíveis à inundação nos municípios de Barreiros. As superfícies simuladas, para as diferentes modelos de elevação para inundação, foram comparadas entre os modelos com resoluções espaciais diferentes. O software livre TerraHidro, desenvolvido pelo INPE, revelou-se em uma ferramenta eficaz para o processo de aquisição cartográfica de planos de informação geoespacial associados às áreas de Hidrologia e Hidrogeologia e, apesar de não sofrer mais atualizações, o aplicativo nacional facilita seu uso por gestores brasileiros que necessitem aplicar este método a outras áreas de estudo ou outros dados. Os dados obtidos do Programa Pernambuco Tridimensional se mostraram eficientes para a análise de áreas sujeitas no Município de Barreiros. O rendimento do modelo HAND pode ser considerado adequado no traçado das áreas suscetíveis à inundação tendo em vista a qualidade e precisão geométrica do MDT gerado neste este estudo para modelos digitais de terreno de alta resolução espacial. Assim, considera-se que ele constitui uma ferramenta que pode ser empregada no traçado das áreas suscetíveis a inundação no estado de Pernambuco, onde os municípios têm levantamentos planialtimétricos obtidos com imagens aerofotogramétricas de alta resolução. Diante dos resultados preliminarmente alcançados, pode-se concluir que a metodologia aqui apresentada demostra objetivamente a possibilidade de se estabelecer relação espacial entre o HAND, enquanto representação cartográfica do Terreno Sujeito à Inundação. Entretanto, é de extrema importância levar em consideração a qualidade do Modelo Digital de Elevação, pois o mesmo indicará a escala de análise do projeto.

REFERÊNCIAS

RENNÓ, C. D. et al. **HAND, A NEW A TERRAIS DESCRIPTOR USING SRTM-DEM**: MAPPING TERRA-FIRME RAINFOREST ENVIRONMENTS IN AMAZONIA. Remote Sensing of Environment, 2008.

NOBRE, A.D.; CUARTAS, L.A.; HODNETT, M.; RENNÓ, C.D; RODRIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WATERLOO, M.; SALESKA, S. (2011a.). **Height Above the Nearest Drainage - a hydrologically relevant new terrain model**. Eselvier - Journal of Hydrology, v.404, 2011. p.13–29 2011. doi:10.1016/j. jhydrol.2011.03.051.

CIRILO, J. A. et al. (2015). **PERNAMBUCO TRIDIMENSIONAL**: Base de dados espaciais para planejamento urbano e gestão territorial. Disponível em http://www.evolvedoc.com.br/silusba/download-2015-UEFQMDIwMjExLnBkZg. Acesso em: 02/10/2018.

APAC (2018). **BOLETIM DO SISTEMA DE ALERTA DE CHEIA DOS NÍVEIS DOS RIOS**. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/arquivos_portal/boletinsrios/Boletim_PCD_Rios_14_06_2018.pdf. Acesso em: 02/10/18.

UNISDR- United Nations Office for Disaster Risk Reduction. **Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres (GAR)**. Genebra: UNISDR, p. 352, 2015.

FRANK, B.; PINHEIRO, A. (Org.). **Enchentes na bacia do Itajaí: 20anos de experiências**. 1. ed. Blumenau: Editora da FURB, 2003. 237 p.

ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. **Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 46-57, 2010.

MAPEAMENTO DO COMÉRCIO ASIÁTICO NOS BAIRROS DE SANTO ANTÔNIO E SÃO JOSÉ NA CIDADE DO RECIFE/PE

WILISSON GABRIEL TORRES DA SILVA[1]
SIMONE SAYURI SATO[2]

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Filosofia e Ciências Humanas - CFCH
Departamento de Geografia, Recife, PE
wilissongtorres@gmail.com[1]

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
simone.sato@ufpe.br[2]

RESUMO – Este trabalho trata da visão do geógrafo fusionada com a cartografia. Neste caso especifico, é visto que a junção da área geográfica com a cartográfica resulta na agregação e enriquecimento do conhecimento para ambas as áreas. A elaboração do mapa do comércio asiático da área central da cidade do Recife reforça a constatação que o mapeamento digital se revela essencial para diversos tipos de estruturações em centros urbanos, sendo um importante instrumento para a organização estrutural das cidades e que deve ser utilizado para o planejamento urbano evitando-se o desordenamento espacial. Neste artigo, destacam-se a relevância do mapeamento para duas organizações em questão: estrutural e econômica das cidades.

ABSTRACT This work was beginning in thematic mapping discipline of the UFPE, in a Geography course, in a short period of time the student develops: planning, collecting data in the field or office, bibliographic research, methodology and finally is generate a thematic map. In this specific case of this article, it showed that the join of the geographical area to the cartographic results in aggregation and enrichment of knowledge in both areas. The generate of the Asian Trade Map in the central area of Recife highlights the importance of the digital mapping, this is essential for various types of structuring in urban centers, is an important instrument for the structural organization of cities and should be used for urban planning avoiding the space disordering. In this article, we highlight the importance of mapping for both organizations concerned: structural and economic cities.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o setor de serviços na cidade do Recife vem ganhando uma nova configuração através da intensificação do comércio de produtos importados disponibilizado por pessoas de origem principalmente asiática, as quais migraram para o Brasil no período que vai desde o final do século XX ao início do atual, em busca de melhores condições de vida. Essas diversas lojas e galerias estão concentradas principalmente na região central do Recife, mais especificamente nos bairros de São José e Santo Antônio; e os principais produtos comercializados são bolsas, bijuterias, eletrônicos e roupas de marcas importadas. Essa localidade é caracterizada por uma intensa movimentação de pessoas que aliada à proximidade geográfica dos portos do Recife e de Suape que constituem a principal forma de entrada de produtos asiáticos no Estado. A origem dessas mercadorias é em sua maioria chinesa, mas são encontrados ainda produtos japoneses e coreanos.

Jornal de noticia publica: “Nas ruas do comércio popular do Recife são incontáveis as lojas comandadas por chineses, onde se pode adquirir a mais variada gama de bugigangas. Os itens mais procurados são celulares, pendrives, relógios, óculos e bolsas, quase sempre réplicas de marcas famosas, como BlackBerry, Bvlgari, Ray-ban e Louis Vitton. É nas bolsas femininas, porém, que se percebe o predomínio asiático. De cada dez lojas especializadas, nove são de chineses.” Camarotto (2011).

Este assunto do mercado asiático foi selecionado durante a prática da disciplina de cartografia temática com intuito de realizar um mapeamento das áreas com aglomeração de lojas de produtos asiáticos que se localizam no centro da cidade do Recife. Além da geração do mapa temático, posteriormente, o trabalho continuou agregando a visão geográfica

no trabalho de conclusão do curso em que se buscou discutir possíveis soluções para burocraticamente organizar essa rede de comércio que ganha grandes proporções ano após ano e, consequentemente demonstrar que o uso da cartografia no mapeamento urbano, seja local ou regional, é uma ferramenta importantíssima para a organização espacial.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Na visão geográfica, o trabalho levou em consideração os processos sociais e sua organização caracterizada como coesão espacial, principalmente por compor lojas de artigos asiáticos concentradas nas ruas das Calçadas, Penha e Direita, localizadas nos Bairros de Santo Antônio e São José, na área central da cidade do Recife. Uma definição de coesão é a abordagem de que toda cidade tem seu setor varejista, no centro da cidade as lojas que se aglomeram entre si fornecendo um conjunto de atividades espacialmente coesas. Em relação aos processos espaciais, coesão espacial é: quando no setor varejista em um grande centro urbano temos lojas que apoiar de não manterem qualquer ligação econômica vendem aos mesmos produtos e pretendem atingir o mesmo tipo de consumidores e lojas de linha de produtos diferentes que poderia induzir ao consumidor a comprar produtos não previstos. Selecionada a área de estudo e de mapeamento, o trabalho se dividiu em mais três etapas:

i. Pesquisa bibliográfica – nesta etapa buscou trabalhos acadêmicos e artigo relacionados e dados atuais referente a temática da pesquisa, especificamente referidas ao comércio na capital Pernambucana. Foram realizadas atividades de pesquisas na internet e nos acervos bibliotecários onde foi possível notar a ausência de exemplares que abordassem o assunto deste estudo. Esta etapa foi relevante para direcionar a escolha e a confirmação do tema a ser trabalhado;

ii. Reconhecimento, levantamento de campo e coleta de dados – nesta esta que consistiu principalmente do levantamento de campo. Nela, foram iniciadas as visitas in loco para consolidar a localização visual e posicional desse tipo de comércio. Em seguida, já com o auxílio do GPS de navegação Garmin Etrex Vista, foi possível marcar pontos de localização de cada loja e galeria que se estende nas principais ruas dos bairros de São José e Santo Antônio. A precisão de levantamento dos pontos GPS foi de até 10 metros, com baixa acurácia posicional já que a finalidade do trabalho não foi idealizada para localizações absolutas dos locais mapeados. A marcação dos pontos teve início no entroncamento da Rua da Penha com a Rua das Calçadas. O trajeto foi realizado primeiramente pela Rua da Penha, em seguida pela Rua Direita; e para encerrar, seguiu-se pela Rua das Calçadas, onde foi encerrada a medição no mesmo ponto em que foi iniciado.

iii. Organização dos dados e elaboração do mapa - com a conclusão das visitas em campo, os dados levantados foram recolhidos e levados para o escritório. Esses dados foram organizados em banco de dados e elementos geométricos pontuais formato Shapefile (SHP). Para consolidar os dados e extrair mais informações, foram usados dois locais principais de fornecimento:

   a) O site web - http://www.recife.pe.gov.br/ESIG/ que carrega o SIG Web da Prefeitura Municipal do Recife denominado Informações Geográfica do Recife – ESIG. Neste local de ambiente SIG, tem-se disponível diversos dados como, mapas de Recife em formato shapefile, bem como toda a base de dados do Recife. A Figura 1, apresenta uma visão do ESIG.

   b) O portal web de zoneamento do Recife - https://esigportal.recife.pe.gov.br/ no qual se encarrega de informações do zoneamento, ruas e seus trechos. Os dados foram comparados com a fonte de dados do Google Earth, que depois de serem verificados puderam ser lançados no sistema de software de mapeamento e Sistemas de Informações Geográficas - ArcGIS na versão 9. A Figura 3 apresenta uma exibição da área que foi comparada e verificada no Google Earth, nesta etapa foi definida a área da pesquisa, sendo marcada por pontos extremos delimitados para estudo proposto. Com a aplicação desses dados no sistema foi gerado o mapa com a finalidade de mostrar, em forma de pontos, as localidades que apresentaram a maior concentração do comercio típico asiático. O mapa foi revisado para assegurar a integridade dos dados e possíveis correções do mesmo. Em seguida, foi realizada a customização para obter um melhor entendimento dos dados apresentados, sendo então inseridos componentes como: título, legenda, datum, dentre outros componentes do mapa. Na Figura 4.

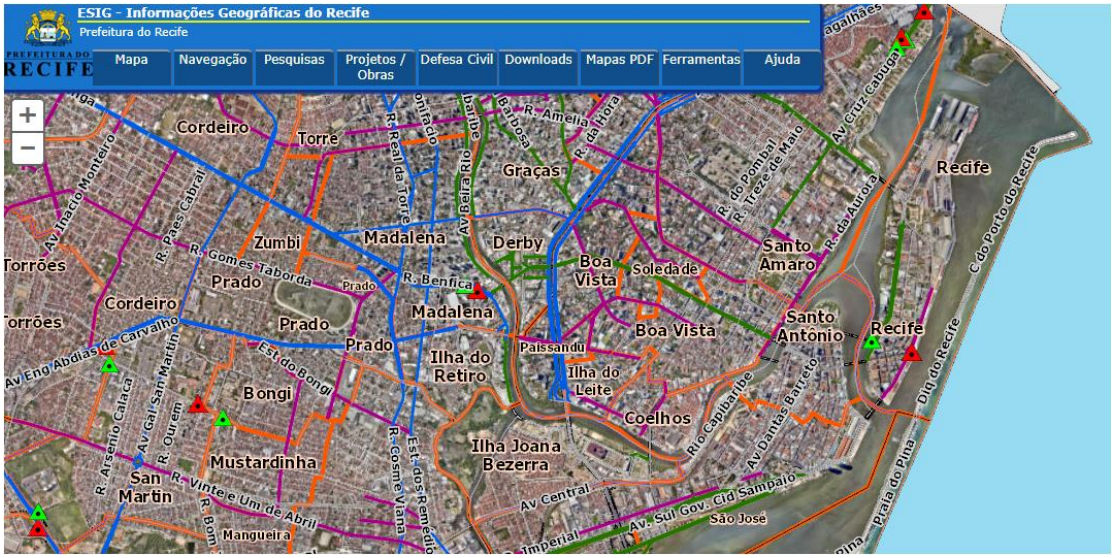


Figura 1: Tela de abertura do site do SIG Web da Prefeitura Municipal do Recife - http://www.recife.pe.gov.br/ESIG/

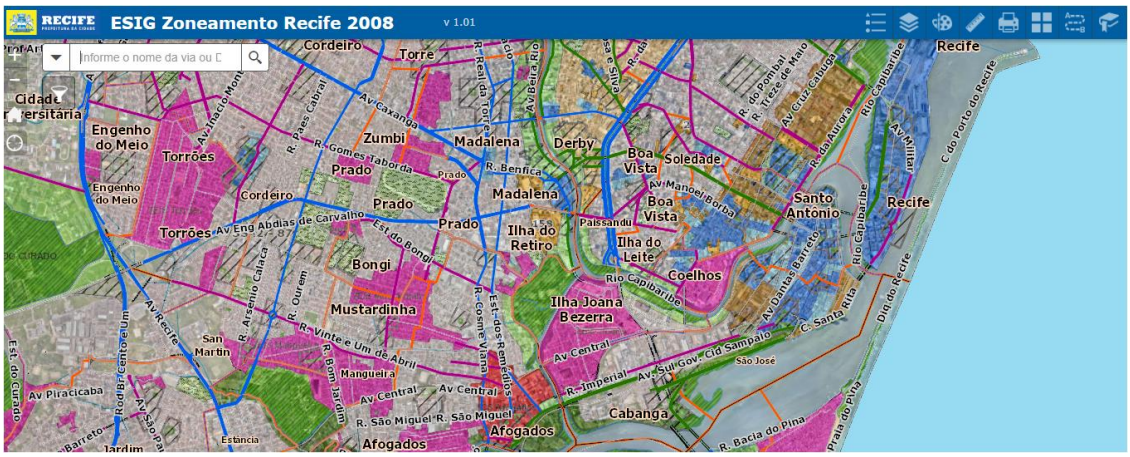


Figura 2: Tela de abertura do site do Portal Web ESIG Zoneamento da Prefeitura Municipal do Recife - https://esigportal.recife.pe.gov.br/

.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para melhor compreender como surgiu e se estruturou o mercado asiático do Recife se faz necessário nos apoiarmos nos conhecimentos da geografia, com destaque para os o ramo dos serviços desde muitos anos os serviços se fazem presentes nas sociedades e com o tempo eles foram se estruturando e se adaptando de acordo com as necessidades do espaço urbano e a lógica do capital. A questão da urbanização das cidades promoveu a forma de organização desses serviços no espaço e desempenha papel fundamental ao logo do tempo e impulsiona a diversificação de muitas funções e atividades urbanas no conjunto do qual se encaixa o setor terciário, e que sem a existência do mesmo a cidade não consegue se desenvolver visto que os serviços mantêm relações diretas com a estruturação das sociedades. Com isso, para tentar analisar a configuração e articulação dos serviços, se faz necessário analisar a sociedade:

"Ao se constatar que o espaço urbano é simultaneamente fragmentado e articulado, e que esta divisão articulada é a expressão espacial de processos sociais, introduz-se um terceiro momento de apreensão do espaço urbano: é um reflexo da sociedade". (CORREA, 2003, p.08)

Onde se pode pressupor que, por ser reflexo social e onde a sociedade tem a sua dinâmica, o espaço urbano é também mutável, dispondo de uma mutabilidade que é complexa, com ritmos e naturezas diferenciados (CORRÊA, 2003). Tal mutabilidade caracterizaria esta instalação das lojas de produtos importados, especificamente nos bairros de São José e Santo Antônio no Recife, onde chineses, coreanos e japoneses viram facilidades para implantar seu comércio e obter lucros, já que o espaço é o reprodutor das relações de produção e, devido à grande e rápida troca de informações, tem se

intensificado e diversificado.

Com o grande avanço da globalização que, impulsionada pela evolução nos meios de comunicação em massa, internet, se torna cada vez mais fácil ter uma interação com grandes produtores através do comércio internacional. Pode-se citar como exemplo a China, que vem apresentando um crescimento muito acentuado do PIB. Esse elevado crescimento chinês durante os últimos anos se deve pela produção de produtos com um preço muito competitivo e inferior a outros mercados inclusive o brasileiro, mas apresentando uma evolução na qualidade de fabricação perceptível ao consumidor final, que se localiza em qualquer parte do globo e, devido a todas essas facilidades estão conquistando cada vez mais os mercados consumidores espalhados por todo o mundo.

O crescimento do espaço urbano está diretamente atrelado ao surgimento dos serviços que tem se tornado mais especializado de acordo com a demanda de cada localidade, pois concernem às necessidades e aos novos estilos de vida da população urbana. No caso da Cidade do Recife, mencionando sua formação histórica que aconteceu em função do desenvolvimento das atividades portuárias concentradas desde os séculos XVII e foi em torno dessa área, como se configura muitos casos no mundo, que se consolidou um número bastante expressivo de rede de serviços destinados inicialmente ao abastecimento das embarcações e a recepção dos tripulantes.

Segundo Camarotto (2009): “O Recife estava organizado em torno do comércio sendo uma cidade com característica de grande entreposto de importação e exportação, seu porto funcionava como elemento estruturador da ocupação espacial do setor comercial, por exemplo,”. Assim, Recife configura-se como um centro comercial de grande variedade e de diferentes ramos, que desde muitos anos o ponto principal para a circulação de mercadorias estava intrinsecamente ligado ao do Porto do Recife, e o desenvolvimento socioeconômico e cultural do Estado de Pernambuco e do Nordeste do Brasil, uma vez que aquele porto, além de representar o ponto principal de troca de mercadorias, ainda abastecia as capitanias do Piauí, do Ceará, da Paraíba, de Alagoas e de Sergipe.

A escolha dos asiáticos para desenvolver suas negociações na cidade do Recife envolve uma série de valores. Segundo Corrêa (2003), a coesão espacial que pode ser definida como aquele movimento que leva as atividades a se localizarem juntas, que é sinônimo de economias externas de aglomeração, que mesmo não tendo ligação entre si, como lojas de produtos varejistas de mesma linha de produto, formam um conjunto funcional que cria um monopólio espacial, atraindo consumidores que têm a disponibilidade de escolher entre vários tipos, marcas e preços. Pode-se notar como um grande exemplo a coesão espacial existente nos Bairros do Recife, onde as lojas são de produtos importados como: bolsas, bijuterias, produtos de decoração, réplicas de grifes famosas, e entre outros, onde os proprietários são comerciantes que vieram de fora do Brasil.

Segundo a ABNT mapa é "representação gráfica, em geral uma superfície plana e numa determinada escala, com a representação de acidentes físicos e culturais da superfície da Terra"; ou seja, um mapa é uma representação de aspectos que podem ser vistos ou identificados a partir de análises mais precisas, ou não, de uma localidade que se deseja representar. No seu conceito mais simples, um mapa é uma representação convencional da superfície terrestre, vista de cima, (ROSA, 2004).

Englobando teóricos voltados para a cartografia, se faz necessário compreender que os mapas servem de orientação e de base para o planejamento e conhecimento do território, onde a sociedade acaba sendo consumidora dessas representações cartográficas que são um meio de comunicação e que são realizadas a partir de convenções cartográficas mundiais. Porém, na maioria das vezes, esses mapas não têm cumprido o seu papel. Nas palavras de Nogueira (2009, p. 27), “A função de um mapa quando disponível ao público é a de comunicar o conhecimento de poucos para muitos, por conseguinte ele deve ser elaborado de forma a realmente comunicar”.

Concordando com a visão de Nogueira (2009) entende-se que para a elaboração de mapas temáticos se faz necessário as seguintes etapas: coleta de dados, análise, interpretação e representação das informações sobre um mapa base que geralmente, é extraído da carta topográfica. Os mapas temáticos são elaborados com a utilização de técnicas que objetivam a melhor visualização e comunicação. Neste caso, faz-se necessário mencionar a semiologia gráfica, que fora desenvolvida por Bertin (1967) e está ao mesmo tempo ligada às diversas teorias das formas e de sua representação, e às teorias da informação. Aplicada à cartografia, “ela permite avaliar as vantagens e os limites da percepção empregada na simbologia cartográfica e, portanto, formular as regras de uma utilização racional da linguagem cartográfica, reconhecida atualmente, como a gramática da linguagem gráfica, na qual a unidade linguística é o signo.” Bertin (1967).

O Mapa apresentado na Figura 2 seguiu a proposta de mapear a área de atuação dos vendedores asiáticos, para posteriormente avaliar uma possível regularização burocrática com esse tipo de comerciantes.

No mapa foram representados treze pontos que identificam a localização desse tipo específico de lojas. Para que se obtivesse uma melhor visualização, outras áreas ao entorno de onde o comércio asiático se localiza foram desprezadas, generalizando o mapa.

Na delimitação da área de estudo foram consideradas como limites: Ao Noroeste, Avenida Nossa Senhora do Carmo (Ponto 1); Ao nordeste, a rua do Rangel (Ponto 2); A sudeste, O Viaduto das Cinco Pontas (Ponto 3); Ao sudoeste, a Avenida Dantas Barreto (Figura 3).

Figura 3: Representação dos pontos extremos delimitados para estudo. Fonte: Google Earth, 2015. Com adaptações realizadas pelo autor.

. Na Figura 4 é apresentado o mapa final do mercado asiático segundo os limites definidos na Figura 2. In loco, foi possível observar que as lojas não tinham uma característica do tipo de comércio que fora definido como objeto de estudo; além da característica de que diversos tipos de produtos são comercializados, sem que haja nenhum tipo de regulamentação, com relação ao tipo de loja e produtos ofertados, por exemplo: bolsas, celulares, aparelhos eletrônicos, roupas e acessórios, são bastante encontrados na localidade.

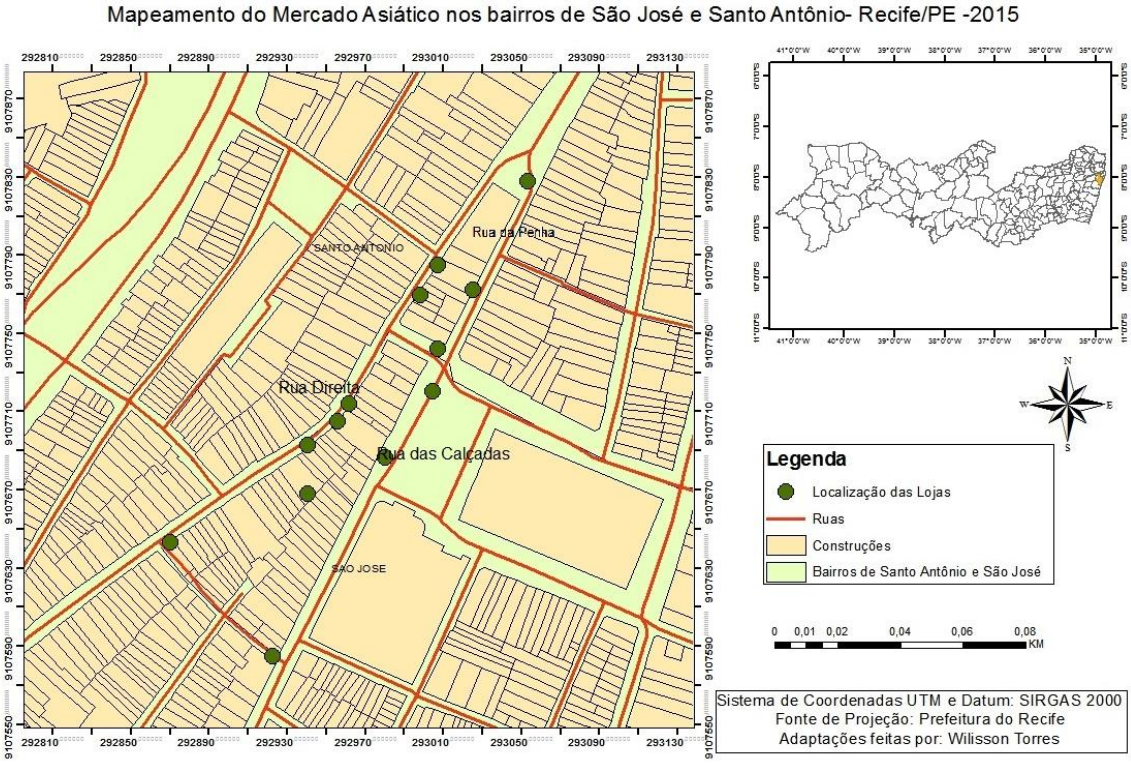


Figura 4: Mapa da Concentração do Comércio Asiático nos Bairros de São José e Santo Antônio. Fonte: Autor, 2015.

4 CONCLUSÕES

A partir do trabalho finalizado foi possível constatar a importância que o mapeamento digital tem para diversos tipos de serviços encontrados nas cidades, a exemplo, saúde, lazer, educação e neste caso, econômico. Através do mapeamento realizado e no meio digital tornou-se possível obter uma visão da dimensão dos eventos ocorridos na cidade, oferecendo possíveis soluções como: organizar burocraticamente as mesmas auxiliando a detectar onde se encontram os pontos a serem ajustados, como no caso estudado em que se constata uma competitividade econômica desleal entre o comercio tradicional e o importado.

Através do trabalho realizado, foi possível observar a veracidade da expansão do comércio asiático, que funciona de maneira informal na cidade do Recife, uma vez que não são obedecidas as legislações municipais (impostos) e da Câmara de Dirigentes Lojistas - CDL. O desvio de impostos que seriam cobrados poderia ser investido em infraestrutura na localidade, se esta área da cidade já estivesse sido mapeada e cadastrada, consequentemente reestruturada.

É importante deixar claro que o mapeamento digital é um meio importante de se fazer uma análise sobre determinado fenômeno que está a ocorrer em uma área em questão, sendo possível traçar rotas que definam a interrupção desse fenômeno ou até mesmo a adequação deste nas normas regulamentadoras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTIN, Jacques 1967. **Les constantes de La Cartographie.** *International yearbook of cartography* 11: 182-187.

CAMAROTTO, Murillo. **O comércio chinês no Recife. 2011**. Disponível em <http://jornalggn.com.br/…/luisn…/o-comercio-chines-no-recife> > Acesso em: 20 novembro 2014.

CORRÊA, Roberto Lobato. **O Espaço Urbano.** São Paulo, ed. Ática, 2003.

FRANCISCO, W. C**. Economia informal** <http://www.brasilescola.com/brasil/economia-informal.htm> Acesso em: 14 de Julho de 2015

NOGUEIRA, R. E. **Cartografia: Representação, comunicação e visualização de dados espaciais**. 3 edição, rev.e amp.- Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Cartarina - UFSC, 2009.

PREFEITURA DO RECIFE, **ESIG**. Disponível em < http://www.recife.pe.gov.br/ESIG/ > Acesso em 20 de Junho de 2015

ROSA, Roberto. **Cartografia Básica.** Universidade Federal de Uberlândia, 2004.

METODOLOGIA PARA PRODUÇÃO DE CARTAS TEMÁTICAS PARA O EXERCÍCIO DE SIMULAÇÃO DE COMBATE DO COMANDO MILITAR DO NORDESTE (CMNE)

JEFFERSON VELOSO NOGUEIRA JÚNIOR[1]
THIAGO ARRUDA SILVA[2]
LEANDRO LUIZ SILVA DE FRANÇA[2]
LIGIA ALBUQUERQUE DE ALCÂNTARA[1]
ERISON ROSA DE OLIVEIRA BARROS [1]

[1]Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
jeffersonvnjunior94@gmail.com; ligia.alcantara@yahoo.com.br; erison.barros.ufpe@gmail.com

[2]Diretoria de Serviço Geográfico – DSG
3° Centro de Geoinformação - 3° CGEO
arruda.thiago@eb.mil.br; franca.leandro@eb.mil.br

RESUMO - Este artigo tem como objetivo descrever a metodologia para a produção de insumos cartográficos e mapas temáticos destinados ao Exercício de Simulação de Combate do CMNE (Projeto COMBATER). Criou-se uma metodologia de mapeamento que atendesse a finalidade e especificações do software utilizado na simulação, ajustando-se alguns procedimentos para a classificação de classes de feições existentes nos insumos, bem como sua estruturação e validação afim de se gerar cartas temáticas em escalas de 1:25.000.

ABSTRACT - This article aims to describe the methodology for the production of cartographic data and thematic maps to the Combat Simulation Exercise of the Brazilian Northeast Military Command (*Comando Militar do Nordeste* – CMNE) in the COMBATER Project. A mapping methodology was developed in order to meet the purpose and specifications for the software used in the simulation, adjusting some procedures for the classification of features classes in the inputs, as well as their structuring and validation in order to generate thematic charts in scales of 1: 25,000.

1 INTRODUÇÃO

A metodologia para produção de cartas temáticas para o exercício de simulação de combate do Comando Militar do Nordeste (CMNE) é o resultado da parceria entre o Departamento de Engenharia Cartográfica (DeCart) da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE com o 3° Centro de Geoinformação do Exército (3°CGEO). Entendendo a necessidade de produzir e atualizar anualmente mapas temáticos para a realização dos exercícios de simulação de combate do CMNE, conhecidos como Jogos de Guerra, e buscando alternativas para geração de dados com qualidade em menor tempo de produção, se comparado à produção de cartas do mapeamento sistemático, decidiu-se criar uma metodologia específica para geração de produtos que atendessem à demanda, explicando e orientando os procedimentos de aquisição, classificação e validação dos dados.

O termo "Jogo de Guerra" é referente a um exercício tático envolvendo tropas e todos os sistemas simulados realizados no contexto de um exercício de posto de comando, no qual são utilizados meios computacionais afim de se apresentar de forma digital um cenário para simulações de operações continuadas de combate, apoio ao combate e logístico. A ênfase dessa modalidade é na interação entre agentes, divididos em forças oponentes que se enfrentam, reagindo a problemas militares apresentados sob o controle de uma direção de exercício. Seu emprego principal é no adestramento de comandantes e estados-maiores, no processo de tomada de decisão, e no funcionamento de postos de comando e de sistemas de comando e controle, utilizando o software do Sistema COMBATER.

Segundo o Comando da 3ª Divisão de Exército, o Sistema COMBATER é um simulador construtivo para exercícios de simulação, desenvolvido a partir do software francês Sword, pela empresa RustCon. O Combater pode ser utilizado em exercícios de nível Unidade, Brigada e Divisão permitindo simular operações de combate nos diversos ambientes operacionais do território nacional seguindo a doutrina militar do Exército Brasileiro.

Como é necessário inserir as informações no software COMBATER, o 3°CGEO tomou a iniciativa de se criar a metodologia com o apoio do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE. Baseado na demanda de prioridade para uma área específica no território do Estado de Pernambuco em escala definida, foram utilizados dados do Projeto Pernambuco Tridimensional – PE3D disponibilizados pela Secretaria de Infraestrutura do Estado de Pernambuco.

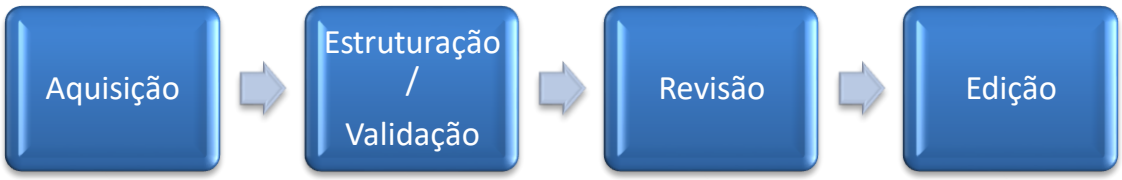
Segundo José Almir Cirilo, O PE3D é um programa de mapeamento do Estado de Pernambuco, lançado pelo então governo do Estado, executado pelo Consórcio Águas de Pernambuco, formada por três empresas privadas, onde o estado foi mapeado com Ortofotos e Perfilamento a Laser na escala de 1:5.000 com mais dezessetes cidades do estado também mapeadas em 1:1000. Surgiu após as enchentes que atingiram drasticamente os municípios da Mata Sul do Estado de Pernambuco, entre 2010 e 2011 onde foram realizados serviços de mapeamento das áreas afetadas e de calha dos principais rios das bacias hidrográficas atingidas, realizado por meio da Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos (SRHE). Atualmente, cabe à Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SDEC) gerenciar o Programa de Sustentabilidade Hídrica de Pernambuco (PSHPE), financiado pelo Banco Mundial. Com o êxito obtido, foi tomada a decisão de inserir como metas o mapeamento para todo território do Estado, dando assim início ao programa.

Os serviços contratados pelo PE3D, incluem recobrimento aerofotogramétrico e perfilamento a laser em dois níveis de precisão. O primeiro abrange todo o território de Pernambuco com um recobrimento aerofotogramétrico e geração de ortofotos na escala 1:5.000, perfilamento a laser com precisão altimétrica melhor que 25 cm e geração de Modelos Digitais de Terreno (MDT), Modelos Digitais de Elevação (MDE) e imagens de Intensidade Hipsométrica. O segundo abrange 870 km², distribuídos em 26 municípios, com recobrimento aerofotogramétrico e geração de ortofotos na escala 1:1.000, perfilamento a laser com precisão altimétrica melhor que 10 cm e geração de Modelos Digitais de Terreno (MDT), Modelos Digitais de Elevação (MDE) e Imagens Hipsométricas, que representam o terreno associando faixas de altitude a escalas de cores. O MDT representa apenas a superfície do terreno e o MDE, além da superfície do terreno, considera os alvos mais elevados, identificando o topo de edificações, árvores, pontes, etc. Estão disponibilizados cerca de 75 bilhões de pontos com coordenadas planimétricas e altimétricas, o que equivale a um ponto a cada 1,3m² de todo território pernambucano. Todos os produtos apresentados estão referenciados no Sistema de Coordenadas Projetadas - UTM SIRGAS 2000, nos fusos 24S ou 25S.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

Para a produção das cartas temáticas que serão utilizadas nos Jogos de Guerra, definiu-se que a escala da carta temática seria de 1:25.000, sendo assim necessário identificar e classificar cada feição da imagem presente no terreno. Foram criadas as Camadas de Cobertura Terrestre, Trecho de Drenagem, Mobilidade, Relevo e Edificação, onde cada uma dessas camadas tinha suas subdivisões.

Imagem 01: Fluxograma de Fases do Projeto.



2.1 Aquisição

Tendo a posse dos dados do PE3D foi utilizado o software livre QGIS, um software de Sistema de Informações Geográficas - SIG, que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados, tendo como principal linguagem de programação o Python. O QGIS foi utilizado com finalidade de se adquirir camadas através do processo de vetorização das ortoimagens e atualizar com base no complemento (plugin) “Quick Map Services” (Google Hybrid, Bing, Open Street Maps, entre outros).

2.1.1 Cobertura Terrestre

A camada de Cobertura Terrestre inicialmente foi dividida em 7 (sete) classes, mas durante o processo de vetorização das ortoimagens foi percebido a necessidade da criação de mais 2 (duas) camadas pelo fato de algumas áreas levantadas não se classificarem nas camadas pré-determinadas, conforme é possível observar na imagem 02 a seguir.

Imagem 02 – Divisões da camada de Cobertura Terrestre.

Tabela 01 – Descrição das Camadas de Cobertura Terrestre do Projeto COMBATER

Camadas	Descrição
(1000) Floresta	Comunidade arbórea densa ou aberta, cobrindo média ou extensa área, na qual ocorrem árvores altas, copadas e com troncos de porte ou por vegetação emaranhada e de grande complexidade de espécies, formada por árvores altas, cujas copas se tocam formando um teto.
(1001) Plantação	Classifica-se como Plantação, toda área com concentração de espaços agrícolas em pequeno, médio ou grande porte, com áreas abertas destinadas ao plantio.
(1002) Área Úmida	Classifica-se como Área Úmida aquela que possui uma lâmina d'água com pequena profundidade, típica de regiões com vegetação do tipo brejo ou pântano.
(1003) Área Urbana	Classifica-se como Área Urbana, toda área com alta densidade populacional e de infraestruturas (vias públicas e de transportes, residências, prédios, fábricas, indústrias, e grandes centros comerciais).
(1004) Massa d'Água	Classifica-se como Massa d'Água um corpo d'água representado por polígono, tais como oceano, baías, enseadas, meandros abandonados, lagos, lagoas, e os açudes, que não apresentam fluxo d'água.
(1005) Terreno Exposto	Classifica-se como Terreno Exposto um local onde ocorre exposição do solo, caracterizada pela preponderante ausência de vegetação, mesmo que apresente elementos de vegetação esparsos irrelevantes no contexto da área.

2.1.2 Mobilidade

A camada de mobilidade foi divida em sete classes de acordo com a sua classificação, e as feições da classe "roads" do Open Street Maps (OSM) serão requalificadas para as classes de Mobilidade do Combater. As feições das classes de mobilidade serão representadas conforme os exemplos da Imagem 03, a seguir:

Imagem 03: Simbologia utilizada para representar cada camada de mobilidade representada na carta temática.

Tabela 02 – Descrição das Camadas de Mobilidade do Projeto COMBATER

Camadas	Descrição
(2001) Autoestrada	Classifica-se como Autoestrada, todas as Rodovias Federais Pavimentadas.
(2002) Rodovia Larga	Classifica-se como Rodovia Larga, todas as Rodovias Estaduais com revestimento, para ligação entre municípios, ou sem revestimento, mas contendo largura maior do que 12 (doze) metros.
(2003) Rodovia Média	Classifica-se como Rodovia Média, todas as estradas dentro de área urbana e arruamentos.
(2004) Rodovia Estreita	Classifica-se como Rodovia Estreita, todas as rodovias sem revestimento ou calçamento, caminho carroçável.
(2005) Ponte	Classifica-se como Ponte, qualquer estrutura que ligue duas partes homólogas que deve cobrir um vão onde passa água ou não.
(2006) Estrada de Ferro	Classifica-se Estrada de Ferro o conjunto de feições destinadas ao transporte ferroviário, bem como as suas estruturas de suporte relacionadas.
(2007) Túnel	Classifica-se túnel como toda passagem subterrânea em uma via e no seu sentido longitudinal.

2.1.3 Trecho de Drenagem

Classifica-se como trecho de drenagem todas as feições que representam o conjunto das águas interiores e oceânicas da superfície terrestre, bem como elementos, naturais ou artificiais, emersos ou submersos, contidos nesse ambiente. Esta camada foi dividida em três categorias. Conforme a sua classificação, a camada Trecho de Drenagem será representada por áreas ou linhas (contínuas ou tracejadas) representadas da seguinte maneira:

Imagem 04: Simbologia utilizada para representar cada camada de trecho de drenagem representada na carta temática.

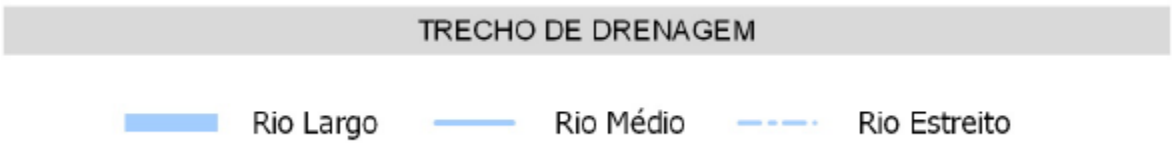


Tabela 03 – Descrição das Camadas Trecho de Drenagem do Projeto COMBATER

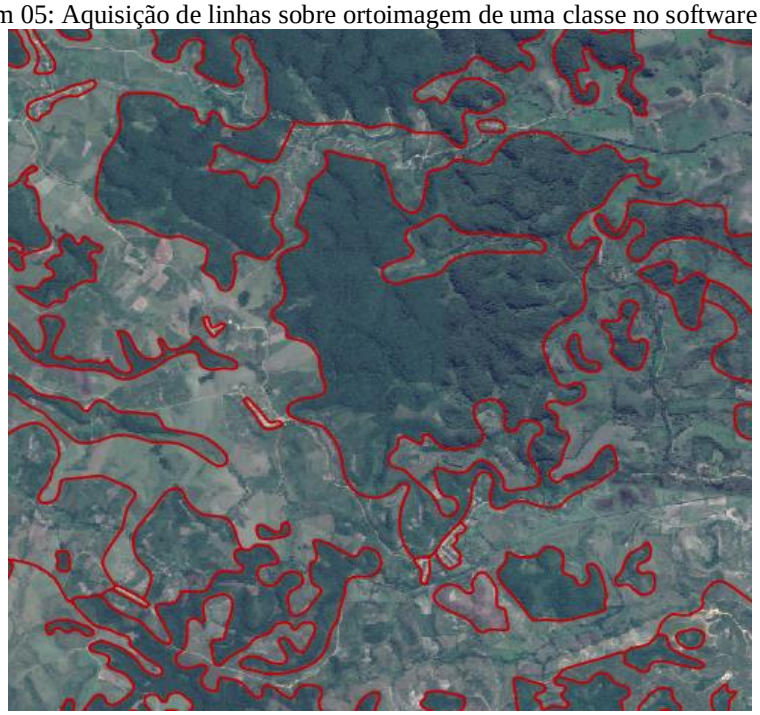
Camadas	Descrição
(2101) Rio Largo	Classifica-se como Rio Largo é todo aquele que pode ser também representado por polígono, ou seja, tem área e largura mínima para ser representada em escala de 1:25.000.
(2102) Rio Médio	Classifica-se como Rio Médio, todos aqueles que não possuem área nem largura mínima para ser representado como área na escala de 1:25.000, porém é visível a calha e a presença de água.
(2102) Rio Estreito	Classifica-se como Rio Estreito, todos os rios que não são possíveis observar, é inferida baseado no MDT e curvas de nível, ou seja, faz com que a classificação seja feita somente nas ortoimagens e MDT. Seria assim necessário ir a campo para conferir cada trecho de drenagem na fase de reambulação.

Tendo em posse os insumos do PE3D, é necessário a aquisição dos dados, linhas, pontos, polígonos para prosseguir na etapa de estruturação e validação, etapas realizadas com auxílio do plugin do DSG Tools no QGIS e de outras ferramentas (*scripts*) obtidas no github (https://github.com/LEOXINGU).

2.1.4 Aquisição de Linhas

As linhas que definem a Cobertura Terrestre serão adquiridas na classe auxiliar do tipo linha "aux_obj_desc_l", criado em um Banco de Dados Geográficos (BDGeo) PostGIS.

Imagem 05: Aquisição de linhas sobre ortoimagem de uma classe no software QGIS.



2.2 Estruturação / Validação de Linhas

Para auxiliar na realização da estruturação e validação de linhas foi utilizado um complemento do QGIS, o DSG Tools, além de algumas ferramentas programadas em Python.

O "*DSG Tools*" é um plugin totalmente gratuito e aberto ao público, desenvolvido em python, produzido pelo Exército Brasileiro em Abril de 2015 e está disponível para download pelo próprio QGIS (Complementos > Gerenciar e Instalar Complementos > Buscar "DSG Tools"), ou pelo endereço http://plugins.qgis.org/plugins/DsgTools/. Trata-se de uma iniciativa pioneira de disponibilizar à sociedade um conjunto de funcionalidades destinadas a criação e a manutenção de bases de dados geoespaciais aderentes a ET-EDGV 2.1.3 que permite sua implementação em bancos de dados geográficos. Este plugin, permite aos usuários a criação e utilização de produtos cartográficos de acordo com as Especificações da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) vigentes.

Após realizada a instalação dos complementos no QGIS, deve-se seguir uma sequência com os procedimentos a serem realizados nessa etapa de Estruturação e Validação de Linhas, conforme representado no fluxograma a seguir (Imagem 06):

Imagem 06: Fluxograma de operações com DSG TOOLS para Estruturação e Validação de linhas

3.3.1 Remover Feições Duplicadas – (DSG Tools):

É um processo de remoção que funciona usando *flags* levantadas pelo processo - "Identificar geometrias duplicadas".

3.3.2 Remover Geometrias Vazias – (DSG Tools):

Este processo funciona removendo as feições cujas as geometrias são nulas. Ao término do processo é possível ver em detalhes quantas feições foram removidas ao abrir o log de mensagens do QGIS.

3.3.3 Colar na grade – (DSG Tools):

Este processo funciona com o uso da função "ST_SnapToGrid" do PostGIS, que cola todos os pontos de geometria num grid regular. O objetivo desta ferramenta é ajustar a precisão das coordenadas, é essencial para que os processamentos topológicos funcionem corretamente, para garantir que duas geometrias se toquem de fato.

Sem o uso deste processo, mesmo que duas geometrias teoricamente se toquem (por terem sido adquiridas com a "Aderência" do QGIS ligado), não é possível garantir a relação de contato.

3.3.4 Limpar Geometrias – (DSG Tools):

Este processo funciona com o uso do GRASS, executando os seguintes passos:

- Carregamento na estrutura do GRASS com uso da "aderência" conforme os parâmetros informados pelo operador;
- Quebra de linhas/limites em interseções e também quebra de linhas/limites que formam um *loop colapsado;*
- Remoção de pequenos ângulos (tão pequenos que são medidos como 0º); e
- Remoção de pontas soltas.

3.3.5 Realizar Limpeza Topológica – (DSG Tools):

Este processo é muito semelhante ao processo "Limpar Geometrias" funciona, porém, com a criação de uma camada unificada, para que faça o uso da topologia GRASS, que será utilizada para executar a limpeza conforme descrita no processo "3.3.4. Limpar Geometrias".

3.3.6 Desagregar Geometrias – (DSG Tools):

Esse processo separa multi-geometrias facilitando o processamento das mesmas pelo banco de dados, ou seja, caso se tenha um arquipélago com um único ID no banco de dados, eles serão separados criando um ID para cada ilha componente do arquipélago.

3.3.7 Auto-interseção:

Esta ferramenta verifica a existência de auto-interseções para todas as feições do tipo linhas e polígonos carregados na lista de camadas.

Disponível em: https://github.com/LEOXINGU

3.3.8 Sobreposição de Linhas:

Esta ferramenta identifica a sobreposição ou duplicação de linhas para todas as classes do tipo linha de um banco EDGV.

Disponível em: https://github.com/LEOXINGU

3.3.9 Aplicar Fechar anel linear:

Esta ferramenta fecha o Anel Linear (*LinearRing*) de linhas que tem pontos inicial e final dentro de uma determinada tolerância em metros, a fim de considerar ponto final e inicial como mesmo ponto.

O Tipo de Conexão entre os pontos inicial e final podem ser:

- Deslocar o ponto inicial e final para o respectivo Ponto Médio;
- Criar mais um segmento de ligação entre o ponto final e inicial;
- Deslocar o último ponto para coincidir com o primeiro ponto;
- Deslocar o primeiro ponto para coincidir com o último ponto.

Disponível em: https://github.com/LEOXINGU

3.3.10 Mesclar na Direção – 30 graus:

Este algoritmo mescla linhas que se tocam e tem a mesma direção nos seus respectivos pontos inicial ou final. A tolerância máxima (em graus) para considerar que as linhas se encontram na mesma direção. Serão aceitos valores entre 0° e 90°.

Disponível em: https://github.com/LEOXINGU

3.3.11 Remover Linhas Pequenas - (DSG Tools):

Este processo funciona removendo as feições a partir das *flags* levantadas pelo processo "Identificar linhas pequenas".

3.3.12 Colar linhas na moldura – (DSG Tools):

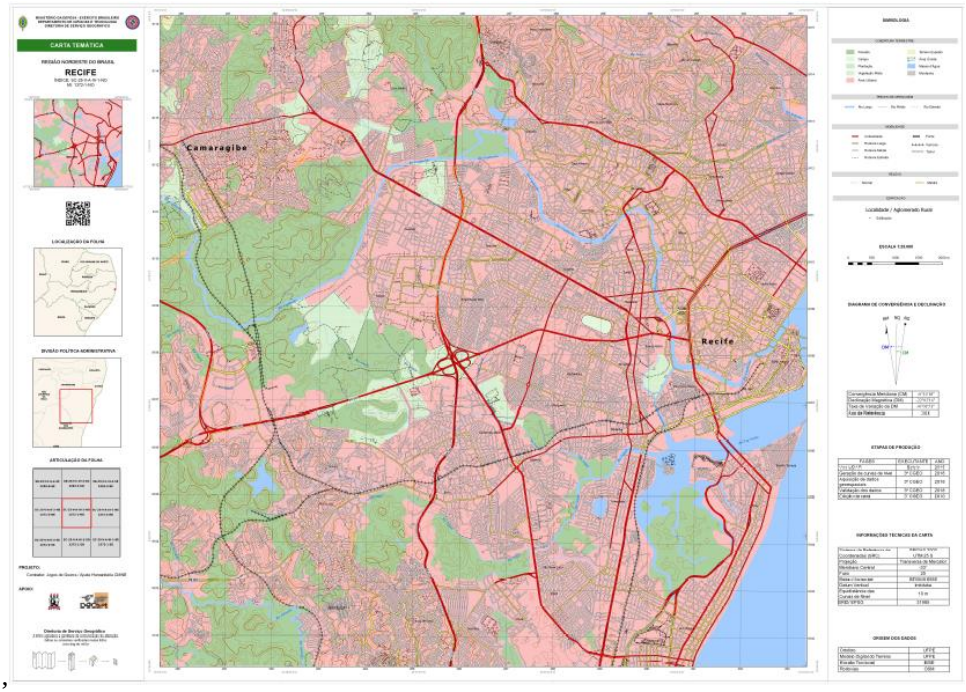
O processo de colar linhas na moldura prolonga linhas e faz que a "Aderência" das mesmas para a moldura do produto. Este processo densifica a moldura criando vértices nela que são usados no processo de fechamento de áreas usado no processo "Fechar polígonos de Cobertura Terrestre". Da mesma forma como o processo de identificação de linhas pequenas é necessário que o operador informe a tolerância para o processo e as classes que serão processadas.

4 RESULTADOS

Após ter sido aplicado todo procedimento descrito na Metodologia Para Produção de Cartas Temáticas do Exercício de Simulação de Combate do Comando Militar do Nordeste (CMNE), tem como resultado final cartas militares aptas a serem utilizadas no Exercício de Jogos de Guerra do Exército Brasileiro. Na Imagens 07 e 08 representadas a seguir, é

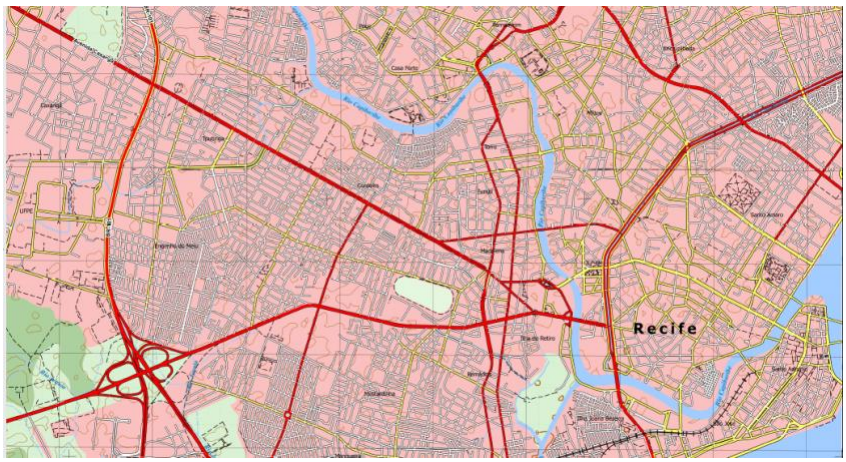
possível observar o resultado das etapas de classificação, estruturação e validação realizadas em todas vinte cartas que foram elaboradas pelo 3° Centro de Geoinformação do Exército.

Imagem 07: Carta Temática de Recife – PE, gerada com utilização da Metodologia do Combater.



,

Imagem 08: Recorte da Imagem 07, onde é possível observar com mais clareza as feições nela representadas.



5 CONCLUSÃO

O documento construído, Metodologia Para Produção de Cartas Temáticas para o Exercício de Simulação de Combate do Comando Militar do Nordeste (CMNE), é uma ferramenta que pode ser utilizada como parâmetro para realizar as produções e atualizações das cartas militares a serem utilizadas no Exercícios de Simulação de Combate, sendo inserida no software COMBATER, um simulador para os Jogos de Guerra, permitindo recriar operações de combate nos diversos ambientes operacionais do território nacional seguindo a doutrina militar do Exército Brasileiro.

O projeto Pernambuco Tridimensional, mais conhecido como PE3D, foi de extrema importância para que o produto final gerado estivesse atualizado. As Ortofotos e Perfilamento a Laser na escala de 1:5.000 onde todo esse levantamento realizado no ano de 2015 é disponibilizado a toda população de forma gratuita em sua plataforma, permitiram uma atualização dos dados geoespaciais do projeto.

Caso o material do PE 3D não estivesse disponível, a realização desse trabalho só teria a disposição como insumo cartográfico as cartas topográficas da década de 1970, onde grande parte das informações nela presentes estariam desatualizadas em relação a novas rodovias, coberturas terrestres, não sendo possível realizar um planejamento mais próximo da situação atual para o exercício de simulação de combate. Outra alternativa seria contratar uma empresa para realizar um novo levantamento, algo que não seria viável devido ao pouco tempo disponível para construção destas cartas militares e ao alto custo para realizar este tipo de levantamento.

Estas cartas militares produzidas, também poderão ser utilizadas em Exercícios e Missões de Ajuda Humanitária, pois conforme consta na Constituição Federal o Exército Brasileiro mantém efetivos militares em condições permanentes de atuar em ações subsidiárias em apoio à população brasileira em situações de calamidades.

REFERÊNCIAS

Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET - EDGV) disponível para download em <http://www.geoportal.eb.mil.br/index.php/inde2?id=139>. Acesso em 09 de maio de 2018;
Especificação Técnica de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET- ADGV) disponível para download em <http://www.geoportal.eb.mil.br/index.php/inde2?id=140>. Acesso em 09 de maio de 2018;
Ferramentas de Produção do QGIS e Manual de Produção do Software QGIS;
Manual e Ferramentas de Produção do DSG Tools;
https://github.com/LEOXINGU;
Ferramentas de Produção – DSG Tools, disponível em <https://github.com/dsgoficial/DsgTools/wiki/Ferramentas-de-Produ%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em 14 de maio de 2018;
Manual DSG Tools, disponível em <https://github.com/dsgoficial/DsgTools/wiki/Manual_DSG_Tools >. Acesso em 14 de maio de 2018;
José Almir Cirilo, Suporte de Informações Georreferenciadas de Alta Resolução para Implantação de Infraestrutura e Planejamento Territorial, Revista Brasileira de Geografia Física, vol 07, n.04 (2014) 755-763.

MODELAGEM ESPACIAL DA QUALIDADE DE SERVIÇOS HOTELEIROS DE BOA VIAGEM, RECIFE.

ANDERSONN MAGALHÃES DE OLIVEIRA[1]
ERISON ROSA DE OLIVEIRA BARROS[2]
RAYANE CAVALCANTI DA FONSECA[1]
LUCAS ISRAEL DAMASCENO SILVA[2]

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
[1]Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, PE
[2]Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Recife, PE
amagalhaes.eng@gmail.com, erison.barros@ufpel.com, rayanec.fonseca@gmail.com, lucasisrael1000@gmail.com

RESUMO – Dada a crescente adesão de usuários aos sistemas de informações geográficas voluntários – VGI, especialmente ao que trata de *feedback* sobre estabelecimentos e seus serviços, o estudo trata de análise e modelagem espacial de dados da qualidade de serviços hoteleiros do bairro de Boa Viagem, Recife. Dados esses, atribuídos por usuários de ferramentas de VGI. Na metodologia proposta, é realizada a eleição de métodos geoestatísticos que justificam a geração de superfície que descreve o comportamento espacial do fenômeno da qualidade dos serviços hoteleiros. Sendo assim, o estudo se propõem como apoio para o aprofundamento de temas relacionados ao comportamento da qualidade de serviços de hotelaria.

ABSTRACT - Due to the increasing membership of users in the VGI, especially to those that deal with feedback on establishments and their services, the study deals with the analysis and spatial modeling of data on the quality of hotel services in the Boa Viagem neighborhood of Recife. These data are assigned by users of VGI tools. In the proposed methodology, the geostatistical methods that justify the surface generation that describes the spatial behavior of the hotel services quality phenomenon are chosen. Therefore, the study is proposed as support for the deepening of themes related to the behavior of the quality of hotel services.

1 INTRODUÇÃO

Nas grandes cidades tropicais da América Latina, o turismo é pilar fundamental dessas economias, cuja principal infraestrutura está relacionada com a rede de serviços hoteleiros dessas regiões. Consequentemente, a qualidade desses serviços podem apontar defasagens na exploração econômica do turismo. Os indicadores de qualidade consistem em ferramentas de auxílio para avaliar o desempenho de uma empresa e são importantes instrumentos para adoções nos processos gerenciais, pois seus resultados contribuem na tomada de decisões na área organizacional, permitindo melhorias aos serviços prestados. Martins (2004) afirma que na perspectiva de gestão, esses indicadores servem como subsídio para analisar o desempenho de uma instituição de acordo com estratégias corporativas e funcionais, assim como seus objetivos.

Nesse sentido, o trabalho propõe aliar técnicas de modelagem espacial por geoestatística para indicar o comportamento da qualidade dos serviços de hotelaria.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 Indicadores de Qualidade de Serviços

Segundo MacArthur (1996) o indicador de qualidade pode ser conceituado como sendo uma quantificação da forma em que as atividades são desenvolvidas e, comparadas com as metas estabelecidas. Andersen (1999) complementa que além deste caráter quantitativo, também se tem o qualitativo e o comportamental. No qualitativo, os resultados gerados são de forma subjetiva, nestes, torna-se necessário o uso de escalas comparativas, enquanto o comportamental, analisa as atitudes e as posturas, sejam elas de caráter individual e em grupo.

No setor hoteleiro os indicadores de qualidade são frequentemente utilizados para acompanhar a qualidade dos serviços, bem como realizar correções ou reajustes conforme necessidade da avaliação. Para isso algumas abordagens devem ser usadas para mensurar o seu desempenho, como exemplo, Callado et al (2008) fez uso destes indicadores para verificar a performance de determinado segmento hoteleiro, classificando-o em três dimensões denominadas como: dimensão econômica e financeira, mercadológica e de qualidade.

A obtenção de bons resultados com a implementação destes indicadores, nas etapas de planejamento e na adoção de estratégias, é possível a partir do acesso a uma rede de informações que sejam confiáveis e contínuas. De acordo com Kaplan e Norton (1992) nenhum indicador de desempenho quando isolado, apresentará potencial capaz de representar o desempenho organizacional de uma instituição, além da dificuldade em abranger as áreas relevantes ao mesmo tempo.

Neste contexto, a integração dos dados de forma contínua torna-se uma necessidade nos dias atuais, que vem sendo implementada por meio do Sistema de Informação Geográfica - SIG que permitem a participação do usuário, assim como sua contribuição na inserção dos dados. Goodchild (2007) descreve que essa participação voluntária do usuário nas atividades de criação, edição e disseminação de dados georreferenciados, pode ser designado como *Voluntereed Geographic Information* - VGI.

2.2 *Voluntereed Geographic Information* - VGI

O VGI é um termo designado para a participação voluntária de usuários que desejam acrescentar informações sobre determinados fenômenos. Souza e Firkowski (2012) destacam que podem ser consideradas iniciativas VGI, os usuários que apresentam conhecimento sobre determinados assuntos que ocorrem no ambiente em que estão presentes, e que os repassam conforme sua interpretação.

Esta participação do usuário contribui para que os dados cheguem em tempo real e de forma contínua, pois muitas vezes são disseminadas através de plataformas digitais e/ou móveis (GOODCHILD, 2007). Entretanto, esse viés colaborativo, deixa em questão a necessidade de avaliar o quão relevante a informação disseminada pode ser considerada, quais suas implicações e a qualidade dos seus dados geográficos ou não. Esse modelo de produção de dados cartográficos, no contexto do setor hoteleiro, colabora para uma avaliação mais eficiente da qualidade em que os serviços são prestados pelas empresas, mediante a perspectiva do usuário. Neste sentido, destaca-se nesse trabalho a aplicação deste recurso computacional, que vem sendo de crescente aplicabilidade nas mais diversas áreas da cartografia.

2.3 Geoestatística e Modelagem Espacial

O objetivo da geoestatística se contempla com a realização da modelagem de determinado fenômeno espacial, isto é, ao estimar a variabilidade e distribuição espaciais da variável dependente. (YAMAMOTO & LANDIM, 2013).

Ao se estudar um fenômeno regionalizado, ou seja, que se espalha pelo espaço e apresenta uma estruturação espacial, com a finalidade de se realizar estimativas, se diz que trata da aplicação das variáveis regionalizadas, isto é, da aplicação de Geoestatística (MATHERON, 1965). Dessa forma, dada uma função aleatória, se pode descrever a sua estrutura espacial pelos termos das expressões dos métodos de probabilidade (STARKS & FANG, 1982).

Embora existam diversos métodos clássicos de autocorrelação para se verificar o estado da variabilidade espacial de uma amostra, ainda estes não estimam e quantificam diretamente a dependência espacial, ou para verificar as variâncias de termos posicionais da amostra (SEN, 1989). A função do semivariograma relaciona a variância de distância entre pontos. Dessa forma se entende que para pontos próximos exista pouca variância, que à medida que se distanciam entre si, aumentam a variância entre elas.

O que se observa é que a partir de determinada distância essa variância se estabiliza em uma máxima, isto é, mesmo que se continue a aumentar a distância, a função do semivariograma oscila em torno da variância máxima, também chamada de patamar (YAMAMOTO & LANDIM, 2013).

Ainda Yamamoto & Landim (2013) se referem à modelagem espacial como um método que envolve uma rotina de repetição para se ajustar a um modelo matemático que possa descrever a correlação espacial nas informações estudadas.

Na Geoestatística, o ponto mais determinante para determinado estudo é a do cálculo e modelagem do semivariograma experimental, tanto para a realização de estimativas como para simulações estocásticas.

Embora este método possua desvantagens ao se tratar de amostras com descontinuidades na distribuição espacial da amostra, ou quando ocorre uma distribuição de dados assimétrica, a técnica do semivariograma é utilizado nas diversas áreas do conhecimento e das engenharias, justamente pela possibilidade que o método propicia para a qualificação de informações espaciais (SEN, 1989).

Para uma melhor e não tendenciosa predição linear de dados e variáveis regionalizadas, o Semivariograma fundamenta o uso da técnica de krigagem (MATHERON,1965).

De acordo com Burrough & McDonnell (1998), através do método de krigagem usada na teoria das variáveis regionalizadas, a estrutura dessa metodologia pode ser descrita pela Equação 01, onde $m(x)$ é a função determinística que descreve a função dependente $Z(x)$, o termo $\varepsilon'(x)$ descreve a parcela do erro que é explicada pela dependência espacial, e o termo $\varepsilon''(x)$ se refere ao erro aleatório não-explicado.

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon'(x) + \varepsilon''(x) \quad (1)$$

Conforme Yamamoto & Landim (2013) o processo de Krigagem é a estimativa de valores de variáveis distribuída espacialmente, tento por fundamento os valores adjacentes quando que pela análise variográfica sejam considerados interdependentes.

Pelo processo de Krigagem a avaliação espacial é na forma da Equação 02, sendo $Z(x_0)$ igual a Equação 03, onde λ_i são os ponderadores de Krigagem definidos dinamicamente pelos variogramas experimentais, dado pelo gráfico $\gamma(h)$ versus h, sendo $\gamma(h)$ a semivariância estimada pela Equação 04, onde n é o número de pares de pontos, $z(x_i)$ os pontos amostrais, e h a distância entre os pares de pontos.

$$Z(x_0) = m(x_0) + z(x_0) \quad (2)$$

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i . z(x_0) \quad (3)$$

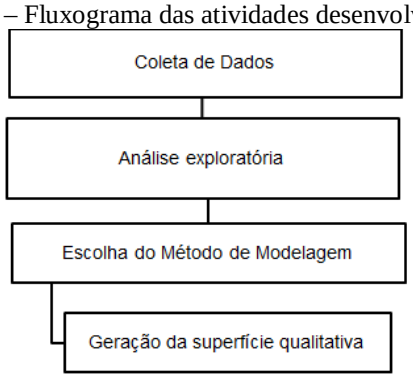
$$\gamma(h) = \left(\frac{1}{2n}\right) \sum \{z(x_i) - z(x_i + h)\}^2 \quad (4)$$

Feito isso, se entende que das amostras extraídas foi estimada a aproximação do verdadeiro comportamento da população, e por sua vez eficiente para o processo de modelagem.

3 METODOLOGIA DO TRABALHO

A região adotada para o estudo se trata do bairro de Boa Viagem, na cidade do Recife. A escolha da área se justifica por ser o principal polo hoteleiro da cidade. A região é caracterizada pela alta verticalização, oferta de serviços, proximidade com o aeroporto e pela praia de Boa Viagem, importante referência turística do estado. Na Figura 01 se pode observar o fluxograma das atividades para o desenvolvimento da metodologia proposta.

Figura 1 – Fluxograma das atividades desenvolvidas



Fonte: Autores

- **Coleta de dados**

Adquirir amostra de atribuição de notas de hóspedes a hotéis da região estudada. Aquisição dessas informações a partir de sistema VGI que qualifique o sistema hoteleiro. Coleta-se também a posição espacial referente a esses hotéis.

- **Análise exploratória**

Examinar, por meio de matriz de correlações a relação da variável explicada com outras características da informação.

- **Escolha do Método de Modelagem**

Através da espacialização dos dados, ocorre a geração de modelos espaciais determinísticos de interpolação, bem como por métodos geoestatísticos, a fim de identificar tendências espaciais e a escolha do método.

- **Geração da superfície qualitativa**

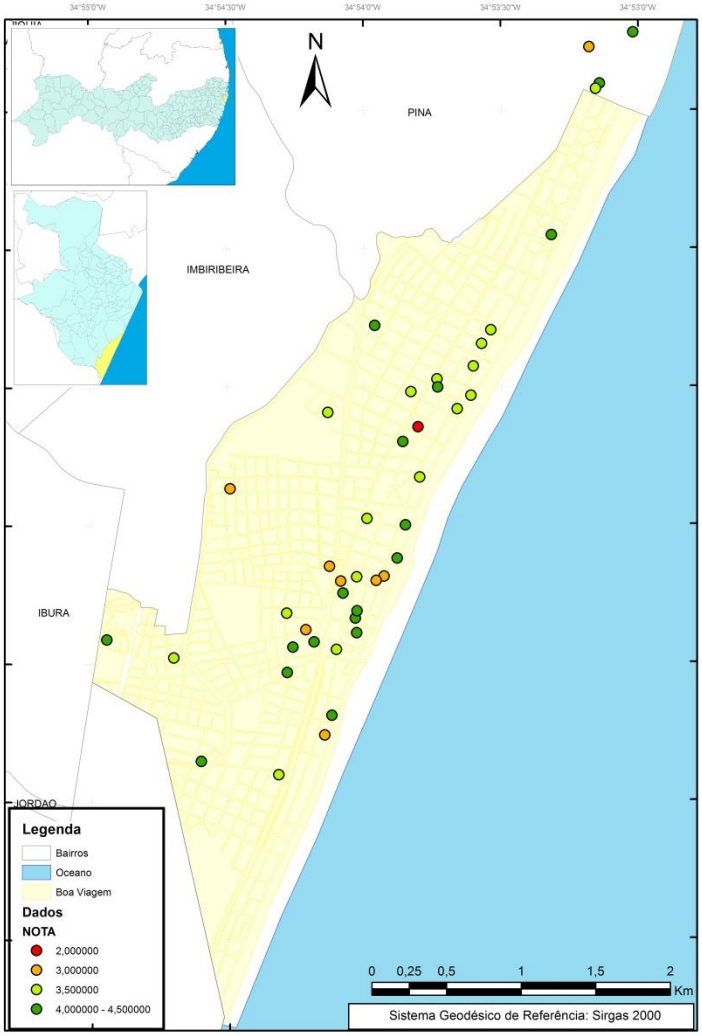
Dada a espacialização dos dados de forma pontual e eleito o método, se gera por geoestatística a superfície de qualidade do serviço hoteleiro.

4 DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO

Como fonte das informações VGI do setor hoteleiro se escolheu dados do TripAdvisor (2018), foram coletadas informações de 39 hotéis no bairro de Boa Viagem e mais 4 dados no bairro do Pina, vizinho norte de Boa Viagem, tal escolha se justifica pela necessidade de se intensificar os dados para a modelagem espacial.

Além das informações sobre a nota atribuída aos hotéis pelo TripAdvisor (2018), ainda foram coletadas as informações posicionais dos mesmos, além de: Número de avaliações pelo VGI, Valor da diária, Número de estrelas, acesso a wifi, disponibilidade de estacionamento, contemplação de café-da-manhã na diária, presença de piscina e/ou de academia no hotel. A distribuição espacial das notas contidas no TripAdvisor (2018) aos hotéis podem ser verificadas na Figura 02.

Figura 2 – Distribuição espacial das notas dos hotéis, dada pelos usuários do TripAdvisor (2018).



Fonte: ESIG (2018), adaptado pelos autores.

O resultado do exame das correlações entre as variáveis pode ser observado através da matriz de correlações da Tabela 01. As maiores correlações sobre a nota são sobre o valor da diária e sobre o número de avaliações realizadas na plataforma digital do TripAdvisor (2018), no entanto, essas poucas variáveis são insuficientes para uma explicação dada por modelagem inferencial, o que justifica a análise e modelagem espacial do fenômeno.

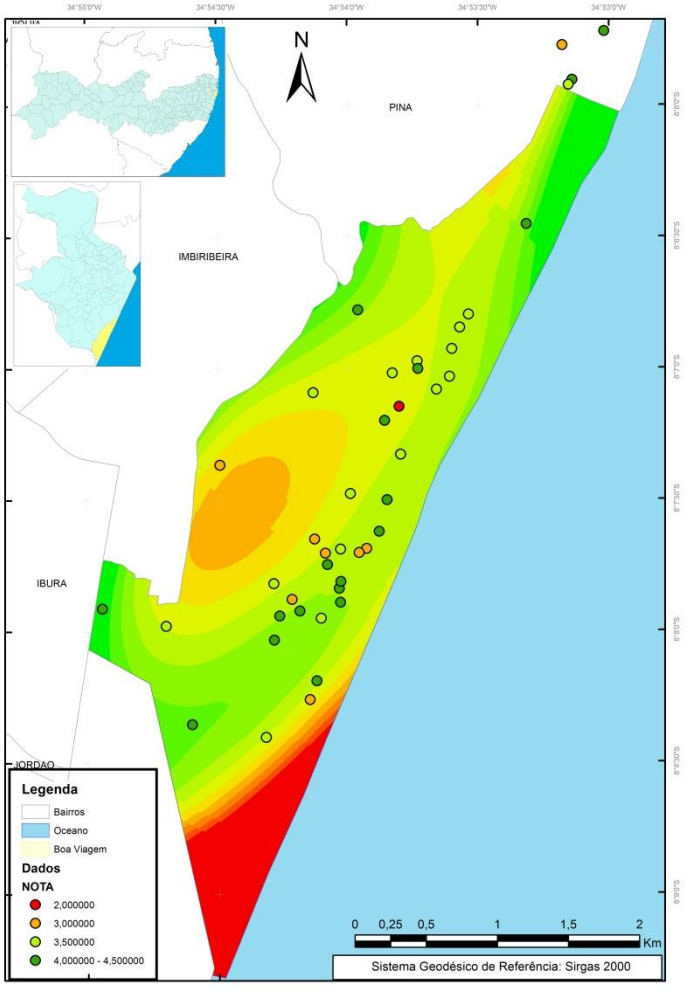
Tabela 1 – Matriz de correlações das variáveis.

	Diária (R$)	***wifi***	***Estac.***	***Café***	***Piscina***	***Estrelas***	***Nº Aval.***	***Nota***
Diária (R$)	1,0000							
Wifi	0,3152	1,0000						
Estac.	0,4154	0,3278	1,0000					
Café	0,4106	0,3955	0,6487	1,0000				
Piscina	0,4742	0,1987	0,2549	0,2164	1,0000			
Estrelas	0,5116	0,1568	0,0925	0,0816	0,2862	1,0000		
Nº Aval.	0,8429	0,2611	0,4176	0,2936	0,4615	0,5167	1,0000	
Nota	0,5675	0,0757	0,2781	0,2343	-0,0752	0,2159	0,5108	1,0000

Fonte: Autores

Devido a baixa quantidade de informações espaciais, e pobre uniformidade espacial da disposição das informações, se escolheu o modelo geoestatístico universal polinomial de 3º grau para a representação da qualidade dos serviços hoteleiros. Por esse método, *a priori* se realizou a interpolação espacial por método determinístico de 3ª ordem, os resultados desse processo podem ser verificados na Figura 03.

Figura 3 – Distribuição espacial das notas dos hotéis, dada pelos usuários do TripAdvisor (2018).



Fonte: ESIG (2018), adaptado pelos autores.

Dado esta etapa, o processo geoestatístico foi permitido através da Krigagem sobre os resíduos do modelo determinístico. Elaborou-se o semivariograma experimental para um total de 43 dados espacializados de dados de notas de 0 a 5 atribuídas aos hotéis, conforme os critérios elencados na Quadro 01.

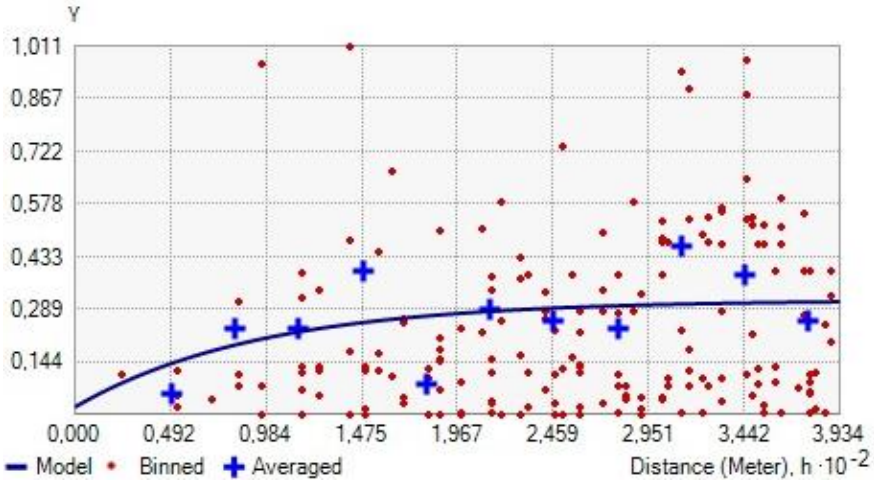
Quadro 1: Critérios do ajustamento do semivariograma experimental.

Modelo teórico	Exponencial
Pepita ($\gamma.10^{-2}$)	0,01928
Alcance (metros)	284,08
Peitoril ($\gamma.10^{-2}$)	0,2935
Anisotropia	Não

Fonte: Autores.

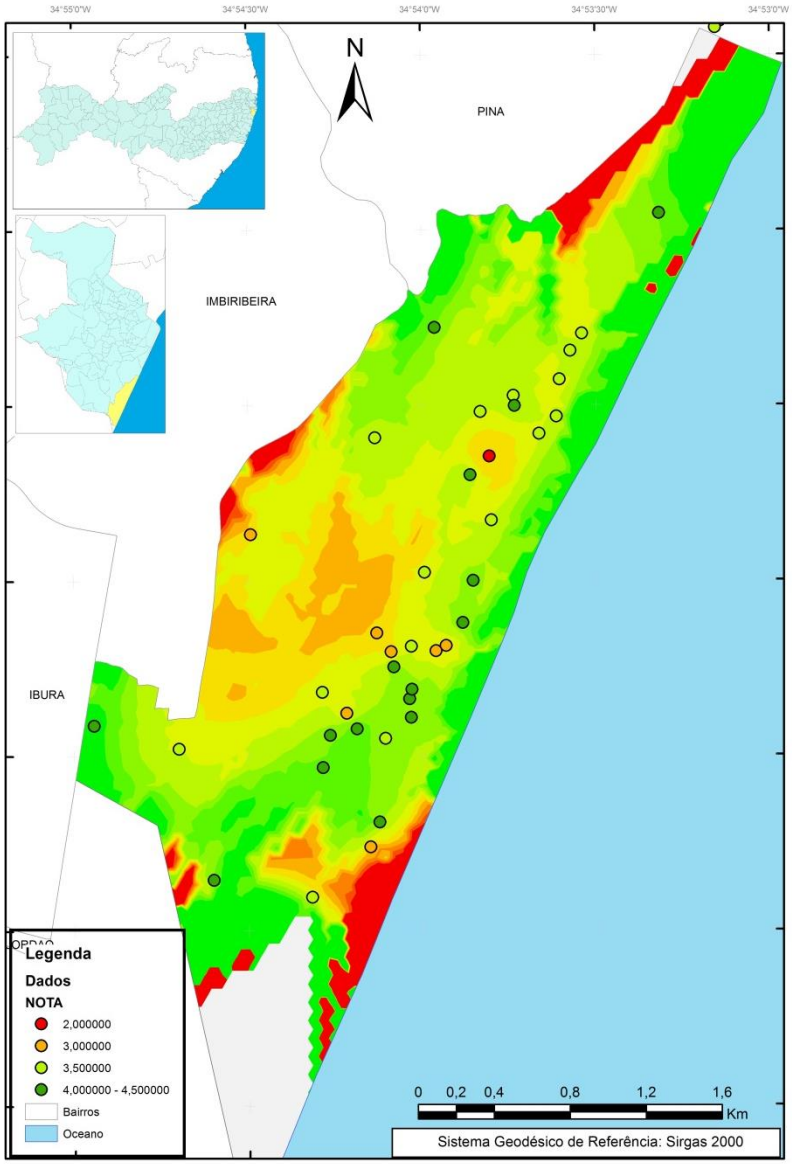
Observa-se na Figura 04, do semivariograma experimental dos resíduos, que há uma estrutura de variabilidade espacial onde para os dados mais próximos existe menos variância, enquanto que para dados mais distantes, maiores variâncias. Os resultados desse processo podem ser verificados na Figura 05.

Figura 4 – Semivariograma experimental dos resíduos



Fonte: Autores.

Figura 5 – Distribuição espacial das notas dos hotéis, dada pelos usuários do TripAdvisor (2018).



Fonte: ESIG (2018), adaptado pelos autores.

5 CONCLUSÃO

A pesquisa atendeu a recomendação metodológica, se efetivou a coleta de dados de avaliações realizadas por usuários de sistema VGI de serviços hoteleiros. A aquisição dos dados ocorreu pelo TripAdvisor (2018), que deram subsídios para a modelagem espacial. A base cartográfica adotada para inserção de dados VGI foi o ESIG (2018), da qual foi ajustado um modelo geoestatístico do tipo Universal polinomial de 3ª ordem, cujos ajuste de semivariograma experimental com modelo exponencial dos resíduos possibilitaram o ajuste da superfície apresentada.

Faz-se importante ressaltar que as dificuldades de estudos dessa natureza estão relacionadas com a pouca densidade e distribuição espacial que empreendimentos hoteleiros possuem. Sendo assim, se recomenda que mais estudos dessa temática sejam realizados em outras localidades a fim de conferir o comportamento do fenômeno da qualidade do serviço hoteleiro, importante infraestrutura do turismo e economias ligadas a este setor.

O estudo aponta como técnicas como o de geoestatística, aliados as tecnologias ligadas ao VGI se firmam como essencial instrumento de análise da qualidade de serviços de hotelaria.

REFERÊNCIAS

ANDERSEN, A. **Remuneração estratégica: uma vantagem competitiva.** São Paulo: Atlas, 1999. 224p.

BURROUGH, Peter A; MCDONNELL, Rachael A. Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, 1998.

CALLADO, A.L.C., CALLADO, A.A.C., HOLANDA, F.M.A de., LEITÃO, C.R.S. **Utilização de indicadores de desempenho no setor hoteleiro de João Pessoa-PB.** Revista Turismo-Visão e Ação- vol.10-n.1, p.23-38 jan/abr.2008

GOODCHILD, M. F. **Citizens as Sensors: The World of Volunteered Geography.** GeoJournal, Vol. 69, no. 4, pp. 211–221, 2007.

KAPLAN, R. S., NORTON, D. P. **The Balanced Scorecard – The measures that drive performance.** The Harvard Business Review, January-February. 1992.

MACARTHUR, J. B. **Performance measures that count: monitoring variables of strategic importance.** Journal of Cost Management, v. 10, n. 3, p. 39-45, 1996

MARTINS, D. M **Eficácia dos indicadores de desempenho na cadeia de fornecimento automotivo.** In SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, 7, 2004, São Paulo. Anais... São Paulo: SIMPOI, 2004

MATHERON, G. Les Variables Regionalisées et Leur Estimation. Masson, Paris, 1965.

SEN, Zekâi. Cumulative Semivariogram Models of Regionalized Variables. Mathematical Geology, Vol. 21, nº 8, 1989.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS DO RECIFE - ESIG. **Prefeitura da Cidade do Recife.** Disponível em: <http://www.recife.pe.gov.br/ESIG/>. Acesso em: 13 julho. 2018.

SOUZA, R.F, FIRKOWSKI, H. **Avaliação da qualidade de dados VGI baseadas nas necessidades do usuário. Um estudo na navegação de pedestres em ambientes urbano.** IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife-PE, 06-09 de maio de 2012, p.001-009

STARKS, T.H.; FANG, J.H. The Effect of Drift on the Experimental Semivariogram. Mathematical Geology, Vol. 14, nº 4, 1982.

TRIPADVISOR. **TripAdvisor Brasil.** Disponível em: < https://www.tripadvisor.com.br/Hotels-g304560-Recife_State_of_Pernambuco-Hotels.html>. Acesso: 6 julho 2018.

YAMAMOTO, J. K; LANDIM, P. M. B. Geoestatística. Conceitos e Aplicações. 1ª edição. Oficina de Textos. São Paulo, 2013.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

PRODUÇÃO DE MAPA *INDOOR* PARA AMBIENTE UNIVERSITÁRIO

DANIELLE MARQUES CAZUMBÁ[1]
VIVIAN DE OLIVEIRA FERNANDES[2]

Universidade Federal da Bahia - UFBA
[1]Bolsista de Iniciação Científica – PIBIC – CNPq e Graduanda de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da UFBA
[2]Docente do Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia, Salvador, BA
daniellecazumba25@gmail.com, vivian.fernandes@ufba.br

RESUMO – O objetivo deste estudo é facilitar o processo de orientação espacial e navegação do usuário em um ambiente interno. Para isso foi elaborado de um mapa *indoor* do tipo planta baixa, para o sexto pavimento da Escola Politécnica da Universidade Federal Da Bahia, e o mesmo passou por um processo de avaliação. A geração do mapa foi feita através de uma planta arquitetônica que foi atualizada, generaliza e classificada de acordo com a finalidade de uso de cada ambiente. O mapa foi avaliado por meio de questionário e execução de tarefas de orientação e a partir desses testes, concluímos que a representação é eficiente na tarefa de localização e orientação.

ABSTRACT - The purpose of this procedure is to facilitate the process of spatial orientation and user navigation in an internal environment. For this, a map of the low plant type was elaborated for the sixth floor of the Polytechnic School of the Federal University of Bahia, and the same went through an evaluation process. The generation of the map was made through an architectural structure that was launched, generated and classified according to a purpose of use of each environment. The council was published through a questionnaire and the execution of tasks of orientation and of conclusion of tests, concluded that it is an efficient task in the task of location and orientation.

1. INTRODUÇÃO

Os mapas *indoors* são aqueles que representam ambientes internos e tem a função de auxiliar o usuário na navegação nesses ambientes. A utilização de mapas em ambientes *indoor* pode ajudar significativamente pessoas a navegarem em ambientes complexos, pois eles podem melhorar o desenvolvimento de mapas cognitivos e auxiliar na aquisição de conhecimento sobre o ambiente (RYDER, 2015).

Esses mapas podem ser representados de diferentes formas, como por exemplo, os mapas plantas baixas e os mapas esquemáticos. O que vai definir o tipo de representação, e as informações a serem consideradas, são as necessidades dos usuários, bem como a relação do usuário com o ambiente. A cartografia *indoor* está sendo muito utilizada por empresas, shoppings e museus, com o intuito de facilitar a navegação dos clientes.

Este trabalho apresenta a elaboração de um mapa *indoor*, considerando a necessidade dos professores, alunos, funcionários e visitantes, em conhecer o ambiente do sexto pavimento da Escola Politécnica da UFBA e os espaços que o compõem.

2. CARTOGRAFIA *INDOOR*

As diferenças da cartografia *indoor* em relação à cartografia outdoor estão relacionadas à navegação pelos sistemas de posicionamento e tecnologias distintas, à forma como os dados são modelados e às noções básicas de cognição espacial (HUANG & GARTNER, 2010). As aplicações voltadas para o mapeamento *indoor* possuem várias finalidades, entre elas está a de tornar mais fácil a orientação no interior ambientes.

Ao desenvolver um sistema de navegação *indoor*, diferentes aspectos têm de ser considerado como o posicionamento, a apresentação de rota e se há compreensão dos elementos apresentados, entre outras características (HUANG E GARTNER, 2010).

A definição de ambiente *indoor* é a de um ambiente fechado onde praticamente não existe presença de elementos naturais. Um ambiente *indoor* pode ser de natureza diversa e apresentar tantas características diferentes, como por exemplo, uma sala de aula, um quarto de um hospital ou uma loja de um shopping, todos eles consideram-se ambientes *indoor*.

Nossum (2013) aponta que as aplicações desenvolvidas para interiores têm sido concebidas principalmente com foco na navegação *indoor* e os sistemas de posicionamento. A norma *Indoor*GML da OGC (2014), estabelece parâmetros para definição das características fixas e móveis que auxiliam na determinação posicional do usuário no ambiente *indoor*, com base na representação das propriedades do espaço e dos recursos existentes no local (OGC, 2014).

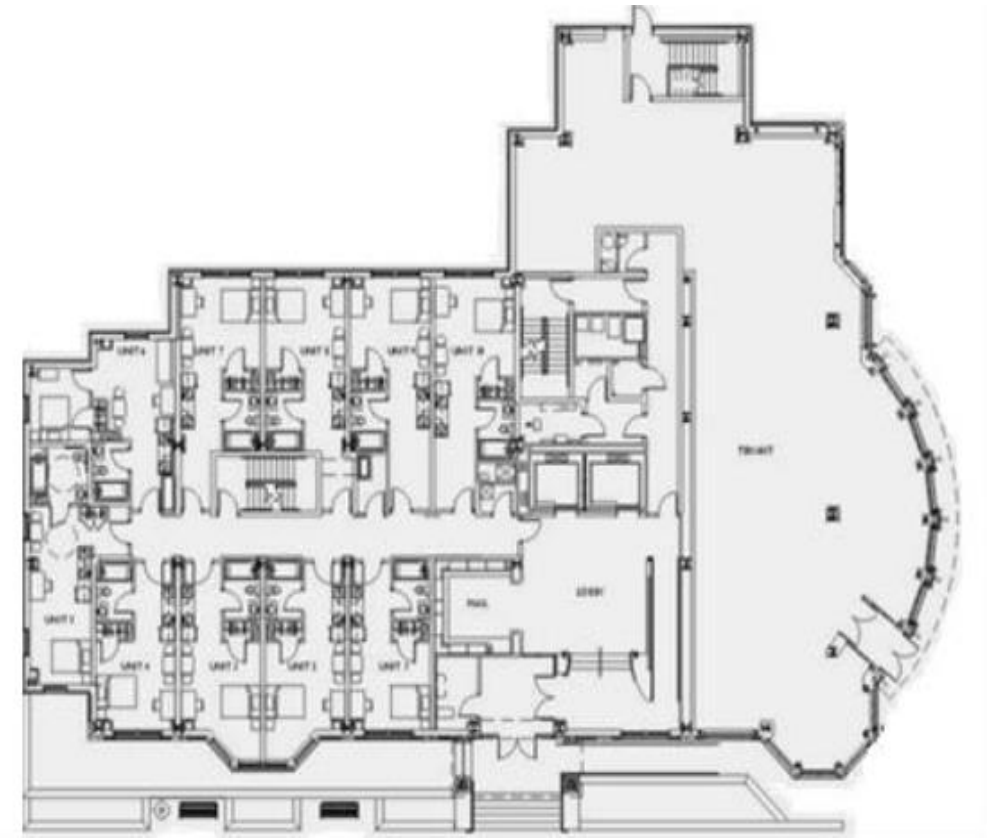
De acordo com Nossum (2013) a finalidade de uso do mapa é estabelecida através das tarefas ou necessidades do usuário, que compõem as informações essenciais a sua geração.

3. TIPOS DE REPRESENTAÇÃO PARA AMBIENTES *INDOOR*

Os ambientes *indoor* podem ser abordados com diferentes estratégias de representação e visualização. Nossum (2013) destaca três tipos de representação, são elas: mapas planta baixa, mapas esquemáticos e sistemas de realidade aumentada.

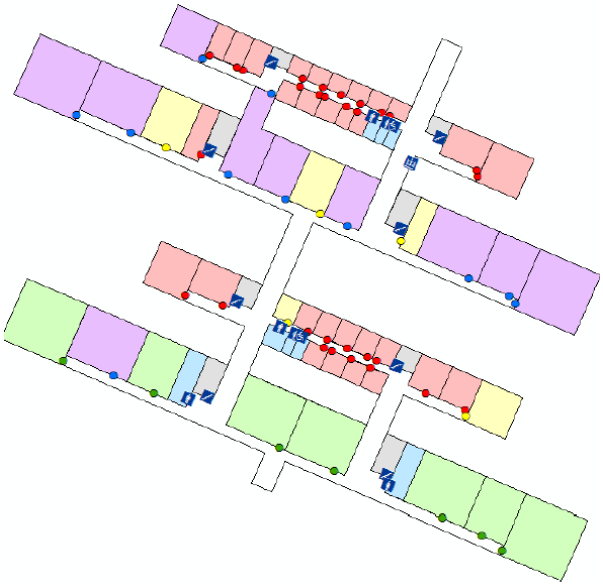
Os três tipos de mapas que foram destacados por Nossum (2013), são derivados dos desenhos arquitetônicos (Figura 1). Esses desenhos têm um nível de detalhamento muito alto, eles possuem informações sobre a estrutura de construção e dos ambientes que compõe a edificação. O mapa planta baixa (Figura 2) é uma simplificação do desenho arquitetônico. Nesses mapas, a quantidade de detalhes pode ser drasticamente reduzida e o uso de cores e símbolos deve auxiliar o usuário (NOSSUM, 2013). O mapa do tipo planta baixa foi o tipo de representação escolhido para elaboração desta pesquisa.

Figura 1 – Desenho arquitetônico



Fonte: Boston University (2018)

Figura 2 – Mapa planta baixa



Fonte: Sarot (2015)

Os mapas esquemáticos são ainda mais simplificados, pois transmite apenas informações pertinentes ao ambiente. Eles são gerados pelo processo de esquematização e nesse processo, apenas detalhes importantes são enfatizados. Mapas esquemáticos como o da figura 3, têm sido cada vez mais utilizados em resposta à necessidade de se descrever as redes de transportes complexas (MOURINHO, 2010). Já os sistemas de realidade aumentada (Figura 4) podem ser detalhados ou simplificados. Neste modelo o usuário fica imerso no ambiente representado e, portanto, fornece uma plataforma interativa para navegação.

Figura 3 – Mapa esquemático do metrô de Lisboa

Fonte: Travelers Lisbon (2018)

Figura 4 – Sistema de realidade aumentada

Fonte: Digital AV Magazine (2018)

4. ORIENTAÇÃO DO USUÁRIO COM BASE NA REPRESENTAÇÃO

Em um ambiente o usuário se orienta por meio de pontos de referência que relacionam novas informações sobre o ambiente Schmidt (2012). Os pontos de referência auxiliam á orientação em um ambiente desconhecido e servem de base para o desenvolvimento posterior e criação de rotas pelos usuários. À medida que o usuário navega no ambiente com sucesso, ele desenvolve confiança com a ferramenta e adquire conhecimento em relação ao local (KLIPPEL & WINTER 2005).

Na pesquisa que realizada por Sarot (2015) os usuários indicaram os pontos de referência mais utilizados para se orientar dentro do ambiente, são eles: banheiro, escadas e salas de aula. Estes pontos de referência para orientação espacial são definidos pelos usuários de forma espontânea. Dessa forma, a definição da simbologia dos pontos de referência deve acontecer de forma que os usuários memorizem rapidamente, para facilitar o processo de orientação.

5. MAPEAMENTO *INDOOR* COMERCIAL

Com o crescimento do mercado de mapeamento e navegação, muitas empresas têm construído suas aplicações de mapeamento *indoor*, com objeto principal de conectar o cliente a empresa e com isso trazer vantagens comerciais. Já outras empresas vêm disponibilizando o serviço de elaboração desse tipo de mapeamento.

Os primeiros mapas *indoors* para dispositivos móveis foram lançados em 2009 pela empresa Micello, mas o destaque no mercado de mapas *indoor* aconteceu em 2011, quando a Microsoft e a Google lançaram seus mapas para alguns aeroportos, shopping centers e museus. Em 2013 O Google disponibilizou no Brasil em plataformas Android e IOS para smartphone e desktop mapas plantas baixa de alguns estádios, shoppings, aeroportos e teatros.

6. METODOLOGIA

A proposta deste trabalho é a de produzir um mapa *indoor* para um pavimento da Escola Politécnica da UFBA e realizar uma avaliação do mesmo pelos alunos, para assim determinar a sua eficiência. A metodologia para esta pesquisa está descrita nos itens que se seguem.

6.1 Área de estudo

A área de estudo desta pesquisa refere-se ao sexto andar da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Esta área foi escolhida para estudo por acolher diariamente muitos estudantes, além de conter uma grande diversidade de informações como: salas de aula, laboratórios, auditórios, salas de professor, secretarias, copas e banheiros. A planta utilizada foi disponibilizada pela Superintendência de Meio Ambiente e Infraestrutura (SUMAI) da UFBA.

6.2 Atualização e generalização da planta arquitetônica

A planta disponibilizada pela SUMAI em formato (.dwg) encontrava-se desatualizada, pois o sexto pavimento havia passado por alterações na estrutura. Portanto para a confecção do mapa *indoor*, o primeiro passo foi atualizar a planta em software CAD.

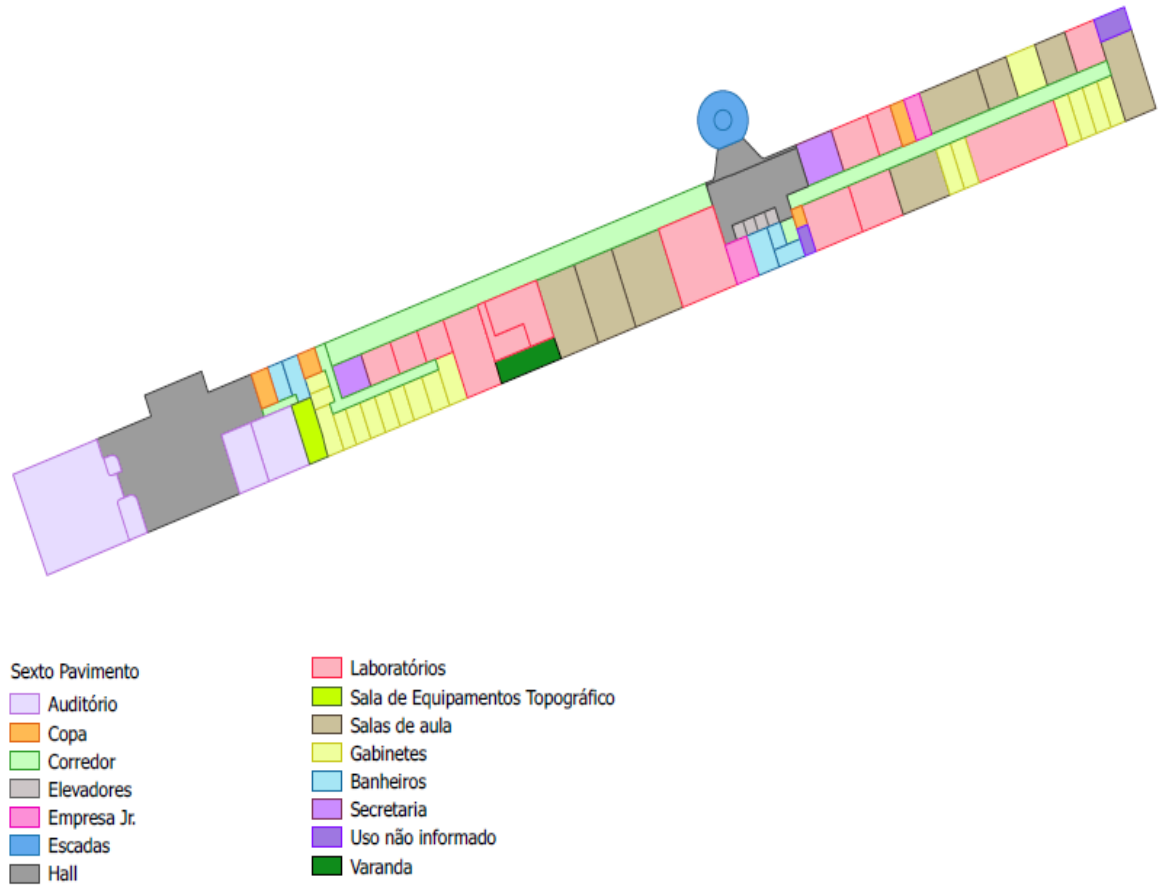
Em seguida foi realizada a generalização da planta. Como foi dito no item 3, o mapa planta baixa é uma simplificação da planta arquitetônica, portanto elementos como portas, janelas, vasos sanitários e elevadores foram removidos da planta, afim de tornar mais fácil o entendimento do mapa por parte do usuário. De acordo com Taura (2007), o processo de generalização cartográfica deve preservar a comunicação cartográfica em representações produzidas a partir de derivações.

6.3 Construção do mapa *indoor*

Com o auxílio do software Quantum GIS, a planta generalizada foi transformada em um arquivo Shapefile e em seguida os ambientes foram classificados de acordo com a finalidade de uso. O mapa planta baixa tem os seguintes ambiente: sala de aula, sala de professor, laboratórios, secretaria, auditórios, banheiros, copa, empresa jr., e outros.

Os ambientes não foram classificados de acordo com a sua importância, eles foram classificados de acordo com as atividades que são desenvolvidas em cada ambiente, sendo que a diferenciação de cada categoria foi dada através de tom de cor. A figura 5 mostra o mapa planta baixa no ambiente QGIS, com a sua respectiva legenda.

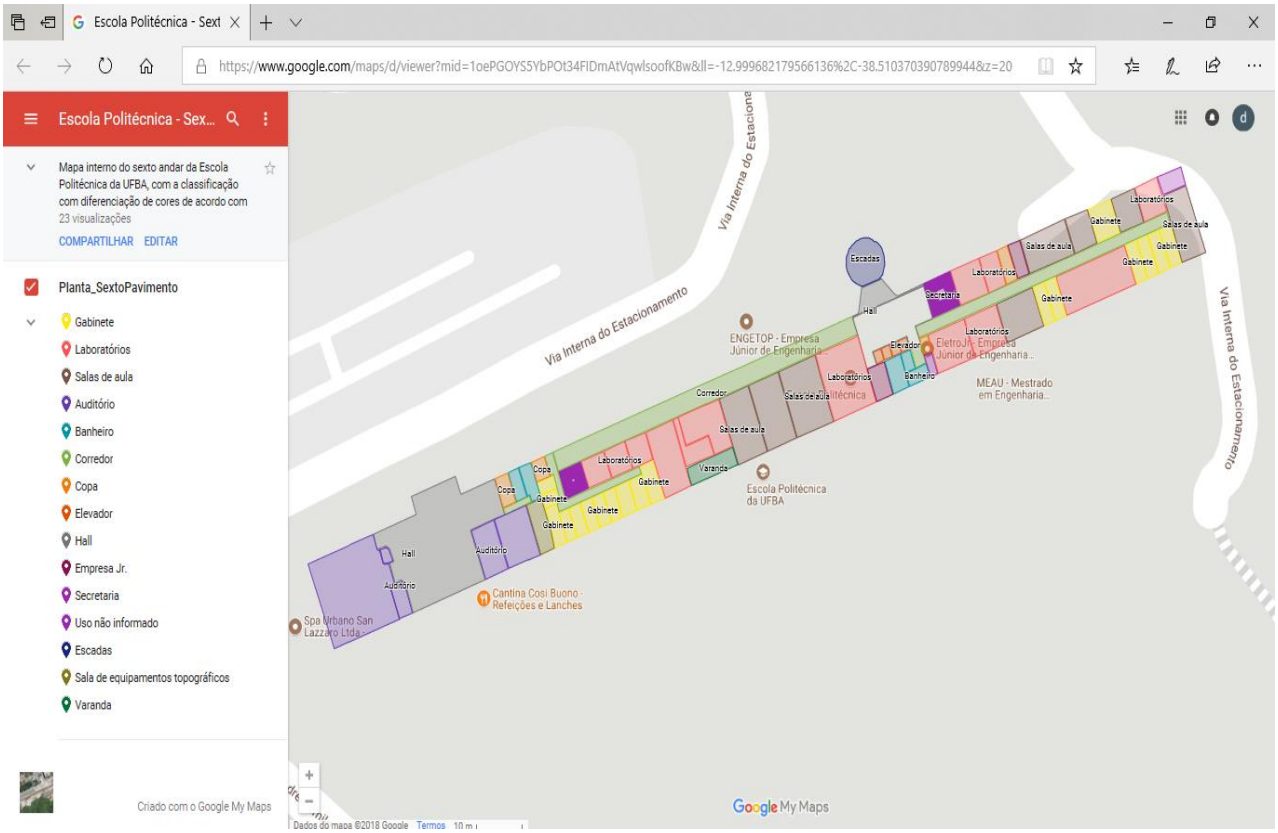
Figura 5 – Geração do mapa *indoor* do tipo planta baixa



Fonte: Autores (2018)

Após a geração do mapa planta baixa no software QGIS, os dados foram convertidos para o formato (.kml) para tornar possível a importação no programa de visualização de mapas online My Maps, para que os usuários tenham acesso ao mapa e possam interagir com mapa gerado. As feições foram importadas pelo programa e foram novamente editados para facilitar a leitura e o manuseio pelo usuário (Figura 6).

Figura 6 – Mapa *indoor* no My Maps



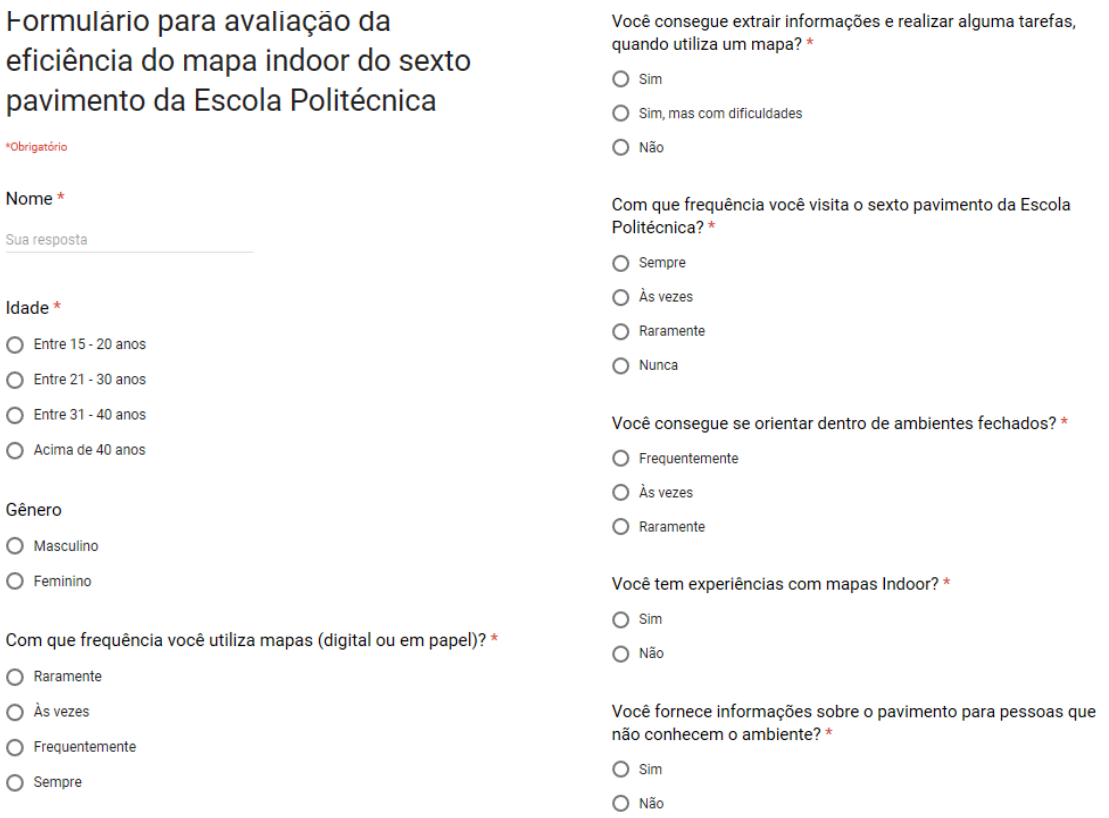
Fonte: Autores (2018)

6.4 Processo de avaliação

Quinze colaboradores, entre professore e alunos de diferentes cursos da Universidade Federal da Bahia realizaram os testes para avaliar a eficiência do mapa *indoor* confeccionado. A avaliação foi feita através de um questionário online (Figuras 7 e 8), composto de treze perguntas que estão relacionadas desde a identificação do participante, até a familiaridade do mesmo com o ambiente, a sua experiência com mapas *indoor* e a importância desse mapa para ele e para as outras pessoas que circulam pela área de estudo.

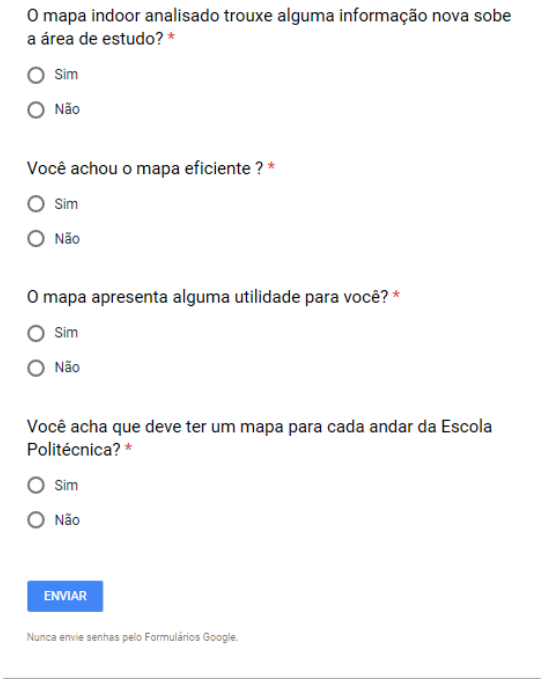
Para completar a avaliação, houve a execução de três tarefas. Essas tarefas foram realizadas de forma direta, com o auxílio de um tablet para a visualização do mapa no MyMaps. A primeira tarefa consistiu em encontrar um determinado espaço no mapa; a segunda foi para o entrevistado apontar um trajeto e chegando ao final do trajeto o participante deveria explicar o percurso realizado; e a terceira tarefa foi para o usuário identificar um ponto que ele considera de referência no mapa.

Figura 7 – Questionário online



Fonte: Autores (2018)

Figura 8– Questionário online



Fonte: Autores (2018)

7. ANÁLISES E RESULTADOS

Foram entrevistadas quinze pessoas e destas 86,6% são estudantes de graduação e pós-graduação da UFBA, 13,3% dos participantes são professores da instituição de ensino. do total de colaboradores desta pesquisa 93,3% tinham idades entre 21 - 30 anos e 6,67 com idade entre 31 - 40 anos, sendo 80% do gênero feminino e 20% do gênero masculino.

As análises foram realizadas de acordo com a sequência do questionário. As primeiras perguntas estabelecem uma relação entre os usuários e mapas em geral. Quando perguntados sobre a frequência de utilização de mapas, 53,3% responderam que usam frequentemente, 33,33% responderam que usam sempre e 13,3% responderam que raramente usa mapas. Das pessoas entrevistadas, 100% não apresentaram aversão a utilização de mapas. E quando perguntados se conseguem extrair informações ou realizar tarefas utilizando mapas, 73,3% responderam que sim, 26,7% disseram que sim, mas tem dificuldades.

Todos os participantes da pesquisa já visitaram o sexto andar da Escola Politécnica, sendo que destes, 40% visitam sempre, 40% dos participantes vistam com frequência e 20% visitam raramente. Portanto, 100% dos participantes, possuem conhecimento sobre a área. Mas apenas 60% deles afirmaram fornecer informações para pessoas que não conhece o ambiente.

Já quando se trata de se orientar dentro de ambientes fechados, 60% dos participantes conseguem se orientar com frequência, 13,3% conseguem às vezes e 26,6%o deles diz que raramente se orientar em ambientes *indoor*. 66,6% dos participantes afirmaram ter experiência com mapas *indoors*. E 80% dos entrevistados afirmaram que o mapa objeto de pesquisa trouxe alguma informação nova.

Dos alunos que realizaram teste, apenas 6,6% afirma que o mapa não apresenta nenhuma utilidade, mas 100% acharam o mapa eficiente e que ele deve ser replicado para os demais andares da Escola Politécnica.

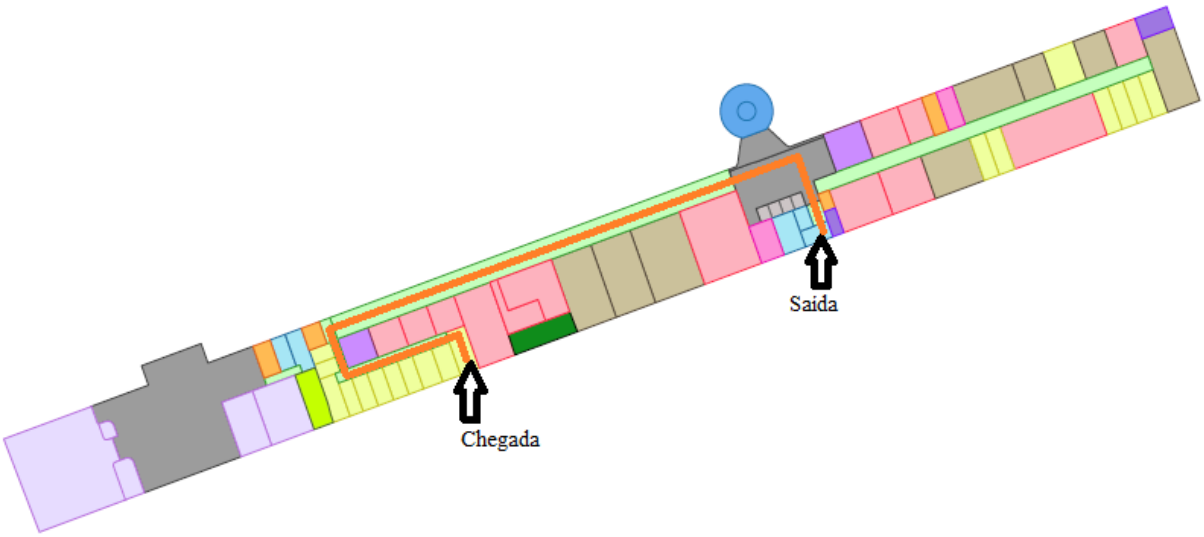
Na execução da tarefa 1, foi cronometrado o tempo para a Sala de Equipamento Topográficos ser localizada no mapa, todos os colaboradores conseguiram completar a tarefa. O tempo médio foi de 34,2 segundos, como apresentado no quadro 1. A tarefa 2 também foi realizada por todos os participantes e todos eles apontaram o mesmo trajeto. O trajeto solicitado foi o indicado na figura 9, que sai do banheiro, passa pelo corredor e chega até um dos gabinetes. A descrição do trajeto foi feita de forma ágil e clara por todos os participantes.

Quadro 1 – Tempo

TEMPO	SEGUNDOS
Menor tempo	13,7
Tempo médio	34,2
Maior tempo	61,1

Fonte: Autores (2018)

Figura 9- Mapa com o trajeto da tarefa 2



Fonte: Autores (2018)

Na tarefa 3, a qual os participantes tinham que indicar um ponto que julgava ser de referência, somente três locais foram destacados. 80% dos entrevistados disseram que considera a escada como um ponto de referência, 13,3% apontaram o Hall onde ficam os elevadores e 6,67% indicaram os elevadores como referência.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nesta pesquisa foi confeccionado um mapa *indoor* para o sexto pavimento da escola politécnica e o mesmo foi avaliado por quinze estudantes. Notou-se que os usuários apresentaram níveis diferenciados de familiaridade com ambientes *indoor* e, portanto, de deslocam com dificuldades.

Acredita-se que caso o usuário tenha disponível informações sobre o interior de ambientes, através de um mapa *indoor*, ele terá um acréscimo informacional a respeito dos elementos existentes no ambiente e como consequência ele irá se orientar de forma mais consciente. Isso mostra a importância dos mapas para os ambientes internos de edificações.

Diante da sua importância e do desejo dos estudantes entrevistados, recomenda-se que seja elaborado mapas internos para os demais andares da Escola Politécnica e que os mesmos sejam disponibilizados a todos os usuários. O mapa elaborado para essa pesquisa foi considerado eficiente e útil para os usuários.

REFERÊNCIAS

HUANG, H. & GARTNER, G. **A Survey of Mobile Indoor Navigation Systems.** Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, p 305–319, 2010.

KLIPPEL, A., & WINTER, S. **Structural salience of landmarks for route directions.** Lecture Notes in Computer Science (including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 2005.

Lisbon, Travelers. Disponível em: <www.travelerslisbon.com>. Acesso em: 16 Julho. 2018.

Magazine, Digital Av. Disponível em: <http://www.digitalavmagazine.com/en/ 2012/11/19/desarrollan una-solucion-de-localizacion-en-interiores-parainvidentes-basado-en-la-realidad-aumentada/>. Acesso em: 04 Julho. 2018.

MOURINHO, J.; GALVAO, T.; FALCAO, J. & VIEIRA, F. **Development of a Software Framework for the Production of Automated Schematic Maps**. Eproceedings of CAISE‟11 Forum, p 57-64, 2010.

NOSSUM, A. S. **Developing a Framework for Describing and Comparing Indoor Maps.** The Cartographic Journal, 2013.

OGC INDOORGML. **"Open Geospatial Consortium Inc". Número de referencia do projeto OGC: OGC 14-005.** Versão: v.0.8.2, Janeiro., 2014.

RYDER, K. J. **Designing and Publishing Indoor Maps for Patients and Visitors in an Academic Teaching Hospita**l, Masters dissertation. Dublin: Royal College of Surgeons in Ireland, 2015.

SAROT, R. V. **Avaliação de mapas indoor para dispositivos móveis para auxílio à tarefa de orientação**. Dissertação de Mestrado UFPR, 2015.

SCHMIDT, Marcio A. R**. "Uso de Mapas 3D para Navegação Virtual: Uma Abordagem Cognitiva".** Tese. Universidade Federal do Paraná., 2012.

TAURA, Tatiana A. **"Estudo da simbologia para cartas nas escalas 1: 2.000, 1:5.000 e 1:10.000 de mapeamento urbano do Paranacidade e generalização cartográfica".** Dissertação. Universidade Federal do Paraná., 2012.

University , Boston. Disponível em: <http://www.bu.edu>. Acesso em: 19 de Julho. 2018.

REAJUSTAMENTO DA REDE ALTIMÉTRICA DO SGB EM NÚMEROS GEOPOTENCIAIS (REALT-2018)

JÉSSICA CAROLINE DOS SANTOS SIQUEIRA
MAIRA KRONEMBERG LIMA
ROBERTO TEIXEIRA LUZ

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Coordenação de Geodésia - CGED
Gerência de Redes de Referência Vertical do SGB, Rio de Janeiro, RJ
jessica.siqueira@ibge.gov.br, roberto.luz@ibge.gov.br, maira.lima@ibge.gov.br

RESUMO – A necessidade de modernização do sistema de referência vertical brasileiro, em consonância com as recomendações científicas pertinentes da Associação Internacional de Geodésia (IAG), aliada à importância da divulgação de altitudes com significado físico, resultou na decisão de se realizar um novo ajustamento da Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), recentemente divulgado. O processo de análise e crítica dos desníveis brutos e gravidade de toda a rede altimétrica, incluindo a análise temporal de mais de 2300 seções e cálculo de 1482 circuitos, foi otimizado com ferramentas computacionais especificamente desenvolvidas para o REALT-2018. As diferenças de geopotencial de toda a rede foram calculadas com esses dados iniciais depurados (desníveis e gravidade) e submetidas ao ajustamento (ou transporte, no caso dos ramais), divididas em um bloco principal e em conjuntos ajustados separadamente. A última etapa do processo, após o ajustamento/transporte, foi a conversão do número geopotencial ajustado em altitude normal, para cada RN da rede. As análises posteriores revelam que 98% das seções receberam correção menor que 2mm.√km, e que 94% das RRNN apresentam diferenças entre +5mm e –15mm em função do tipo de altitude (entre normal e normal-ortométrica) para a rede depurada.

ABSTRACT - The need to modernize the Brazilian vertical reference system, following the scientific recommendations of the International Association of Geodesy (IAG), together with the importance of the dissemination of heights with physical meaning, led to the decision to carry out a new adjustment of the Altimetric Network of the Brazilian Geodetic System (SGB), recently released. The process of analysis and criticism of the Hdiff and gravity of the entire network, including the temporal analysis of more than 2300 sections and 1482 loops computation, was optimized with computational tools specifically developed for REALT-2018. Geopotential differences of the entire network were calculated with these initial data (Hdiff and gravity) and submitted to the adjustment (or height transport, in the case of open lines), divided into a main block and separately adjusted sets. The last step of the process, after adjustment/transport, was the conversion of the adjusted geopotential numbers into normal heights for each RN of the network. Subsequent analyzes revealed that 98% of the sections received a correction of less than 2mm.√km, and that 94% of the RRNN presented differences between + 5mm and -15mm as a function of the height (between normal and normal orthometric).

1 INTRODUÇÃO

A referência para o posicionamento de alta precisão no território brasileiro é a Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), materializada através de estações denominadas referências de nível (RRNN), implantadas com espaçamento máximo de 3 km ao longo das rodovias e ferrovias. À medida que novas linhas de nivelamento são agregadas à Rede e novas técnicas de medição e processamento são desenvolvidas, as altitudes de suas RRNN são periodicamente recalculadas, por meio do tradicional ajustamento por mínimos quadrados. Desta forma, o IBGE visa garantir a integridade, a consistência e a confiabilidade das informações divulgadas aos usuários em seu Banco de Dados Geodésicos (BDG). A busca crescente pela conversão cada vez mais precisa de altitudes provenientes de levantamentos com os Sistemas Globais de Posicionamento e Navegação por Satélites (GNSS), puramente geométricas, em altitudes com significado físico, aliada à necessidade de modernização da componente vertical do SGB em consonância com as recomendações científicas pertinentes do SIRGAS, resultou na decisão de se realizar um novo

ajustamento da Rede Altimétrica brasileira. No trabalho ora apresentado, foram consideradas informações da gravidade nas RRNN para conversão dos desníveis observados em diferenças de geopotencial, visando a obtenção de altitudes com significado físico.

1.1 Conceitos

Os elementos principais de um SGR vertical (SGRV) são as coordenadas verticais, isto é, as altitudes físicas ou números geopotenciais das estações da rede de referência, e a superfície de referência, ou nível de referência, a partir do qual são estabelecidas aquelas coordenadas verticais (IHDE et al., 2017). Tradicionalmente, a definição e realização dos SGRVs continentais e nacionais baseava-se na adoção do nível médio do mar (NMM) como datum vertical, considerado uma aproximação adequada do geoide, e na utilização exclusiva do nivelamento geométrico de alta precisão, com a correção da gravidade normal (teórica), para propagação desse datum em toda a região de interesse. Assim foi estabelecida a componente vertical do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) a partir de 1945.

Para o posicionamento vertical, são necessárias coordenadas que vinculam-se de forma rigorosa ao campo da gravidade, e por isso, respeitam o significado intrínseco dos conceitos "alto" e "baixo" associados ao fluxo de água, e, consequentemente, denominadas altitudes físicas (H) (Luz, 2008, p.46). As altitudes elipsoidais ou geométricas, resultantes dos levantamentos GNSS, não mantêm associação com o campo da gravidade terrestre e, por isso, não são adequadas para o posicionamento vertical.

As redes altimétricas de referência são materializadas através da técnica de nivelamento geométrico para determinar os desníveis entre as referências de nível (RRNN). No entanto o desnível entre dois pontos não é unívoco, pois depende do trajeto seguido na medição, pois nas posições niveladas as diferentes superfícies equipotenciais não são paralelas entre si (Freitas e Blitzkow, 1999). Como alternativa, o número geopotencial serve de base para a definição de coordenadas verticais e constitui-se em uma grandeza física e unívoca, ou seja, independe do trajeto entre dois pontos na superfície. É definido como a diferença entre o potencial da gravidade na superfície de referência (Wo) e no ponto considerado. Na prática, é preferível o cálculo das diferenças de geopotencial $\Delta C_{AB,}$ desde que a distância entre os pontos A e B seja suficientemente pequena (Luz, 2008, p.45):

$$\Delta C_{AB} = C_B - C_A = -\left(W_B - W_A \right) \approx g_{AB}^{obs} \, \Delta H_{AB}^{obs} \tag{1}$$

O ajustamento destes resulta nos números geopotenciais (C), cuja unidade (kilogal.metro ou m^2/s^2) em que são expressos torna inadequada sua adoção direta como descritor rigoroso da posição vertical. Para contornar tal situação, é feita a conversão dos números geopotenciais em altitudes físicas, expressas em metros:

$$H^{física} = \frac{C}{G} \tag{2}$$

O tipo de altitude física calculada vai depender do valor específico de G (gravidade) considerado. A altitude ortométrica é a distância entre o ponto na superfície e o geoide ao longo da vertical, para a qual é necessário conhecer a distribuição de massas ao longo desse percurso para a determinação do valor de gravidade média real. Como é inviável a observação da gravidade no interior da crosta para a maioria das estações altimétricas, é impossível o cálculo rigoroso das respectivas altitudes ortométricas. A fim de contornar tal situação, a ciência geodésica propõe algumas variações e simplificações da definição formal de altitude ortométrica, baseadas em aproximações daquele valor médio de gravidade. A falta de dados gravimétricos suficientes para conversão dos desníveis em diferenças de geopotencial, aliada a dificuldade de se obter o valor médio da gravidade real das RRNN para o cálculo rigoroso das altitudes ortométricas, levou ao IBGE a utilizar, até o ajustamento da rede em 2011, a gravidade teórica ou normal na correção da componente sistemática proveniente do não paralelismo das superfícies equipotenciais, seguindo os procedimentos e mantendo a denominação de altitude ortométrica conforme preconizado por Bowie e Avers (1914, p.51). Atualmente, a denominação mais adequada para altitudes calculadas desta forma é normais-ortométricas ou ortométricas-normais (e.g. Krakiwsky, Muller, 1965, p.109).

Outro tipo de altitude física é a altitude normal (H^N), para a qual é necessário obter o valor médio, ao longo da vertical, da gravidade normal (γ_{vert}), isto é, a gravidade teórica dada pelo chamado modelo Terra normal:

$$H^N = \frac{C}{\gamma_{vert}} \tag{3}$$

$$\gamma_{vert} = \gamma_0 \left[1 - \frac{H^N}{a} \left(1 + \alpha + m - 2\,\alpha\, \mathrm{sen}^2 \varphi \right) + \left(\frac{H^N}{a} \right)^2 \right] \tag{4}$$

$$\gamma_0 = \gamma_a \frac{1 + k\ \mathrm{sen}^2\varphi}{\sqrt{1 - e^2 \mathrm{sen}^2\varphi}} \quad , \quad k = \frac{b\ \gamma_b}{a\ \gamma_a} - 1 \tag{5}$$

sendo a, b, m, α, ɣa e ɣb parâmetros associados ao sistema geodésico de referência (e.g., Luz, 2008, p.30).

A altitude normal é medida ao longo da linha vertical normal, isto é, a ortogonal às superfícies equipotenciais do campo normal. Esta não se refere rigorosamente ao geoide, pois não considera o campo real; a superfície de referência para este tipo de altitude é denominada quase-geoide.

Em suma, a diferença conceitual entre as altitudes ortométrica, normal e normal-ortométrica reside no tipo de gravidade (real ou teórica) utilizado no cálculo das diferenças de geopotencial com a equação 1 (gravidade na superfície física) e na conversão do número geopotencial final em altitude física (valor médio da gravidade ao longo da vertical). Para a altitude ortométrica rigorosa, utiliza-se a gravidade real nas duas etapas, enquanto que, para a altitude normal, aplica-se a gravidade real para o cálculo das diferenças de geopotencial e a gravidade normal para a obtenção da altitude. Já para a altitude ortométrica-normal é aplicada a correção descrita na equação 6, onde se considera o modelo da terra normal no cálculo, equivalente ao emprego da gravidade normal tanto na equação 01 quanto na equação 02. No trabalho ora apresentado foram descritos apenas os tipos de altitudes necessárias para o entendimento das etapas realizadas. Maiores detalhes sobre a obtenção de altitudes físicas e seus conceitos podem ser obtido em Freitas e Blitzkow (1999).

2 METODOLOGIA

2.1. Organização dos dados

Os dados fundamentais para o ajustamento das observações da rede foram submetidos inicialmente a um processo de organização e depuração: desníveis provenientes de levantamentos realizado pelo IBGE desde 1945, coordenadas das RRNN e os dados de gravidade empregados no processo de interpolação.

Os dados brutos de nivelamento são compostos por informações de desnível entre RRNN sucessivas, oriundas de levantamentos de campo, através do método clássico de nivelamento geométrico de alta precisão (duplos desníveis entre as estações niveladas: nivelamento/contra-nivelamento) com nível ótico ou digital, bem como as datas do levantamento e as distâncias niveladas, além de outras informações auxiliares (somatórios das leituras de ré e vante, código de unidade da federação etc). O arquivo de desníveis preparado para o ajustamento de 2011 foi atualizado com as informações referentes aos nivelamentos posteriores e com algumas linhas eventualmente excluídas daquele cálculo. Os dados de gravimetria utilizados nesse processo são oriundos de levantamentos gravimétricos realizados pelo IBGE e do Banco Nacional de Dados Gravimétricos (BNDG), a partir de levantamentos de instituições como ANP, Petrobrás, Furnas, Observatório Nacional, USP, e CPRM, entre outras.

As coordenadas planimétricas das RRNN podem ser oriundas de cartas topográficas nas escalas que o IBGE produz ou, modernamente, de levantamentos GNSS. Já as coordenadas das estações gravimétricas do IBGE foram obtidas apenas por levantamentos GNSS.

Algumas ferramentas computacionais foram desenvolvidas ou aprimoradas para otimizar o processo de organização e depuração dos dados de nivelamento. Para a interpolação do valor de gravidade das RRNN que não possuem observação gravimétrica, foi o utilizado o programa GEOGRID, do conjunto GRAVSOFT de modelagem do geóide (Forsberg, Tscherning, 2008). Já para o ajustamento da rede altimétrica foi empregado o software canadense GHOST.

2.2. Análise temporal das estações, identificação das linhas internodais e fechamento dos circuitos

O processo de análise temporal das seções, primeira etapa realizada durante a depuração dos desníveis, é essencial pois confirma a permanência ou não das RRNN em suas posições originais, bem como serve de parâmetro para determinar se a RN antiga utilizada para conexão de partida ou de chegada de novas linhas de nivelamento a rede foi a escolha adequada. O procedimento consiste no cálculo da diferença entre os desníveis observados nas diferentes épocas para cada seção renivelada, caso este "erro de fechamento temporal" resulte em um valor acima da tolerância estabelecida (IBGE, 2017), é realizada a análise das seções adjacentes a fim de identificar a RN abalada e assim dar o tratamento adequado a mesma no ajustamento, por meio do chamado "código de nova posição". Nesta etapa foram analisadas temporalmente um total de 2302 seções.

A identificação das linhas internodais foi realizada automaticamente por umas das ferramentas computacionais aprimorada denominada IDNOS (Luz, 2008, p. 126). A partir das linhas internodais foi possível realizar o cálculo do erro de fechamento dos circuitos, processo fundamental, pois faz parte do controle de qualidade da rede altimétrica, conforme especificações vigentes (IBGE, 2017).

Para o REALT-2018, o IBGE optou por proceder a uma completa revisão de todos os circuitos da rede. Após a análise da variação dos perímetros, da precisão do nivelamento realizado pelo IBGE desde o início dos levantamentos e visando um maior controle da rede, optou-se pelo valor de 5 mm$\sqrt{km}$ para a tolerância. Foram detectados 1482 circuitos, sendo que aproximadamente 20% destes apresentaram fechamento acima da tolerância. Os circuitos que apresentaram fechamento superior a essa tolerância, foram analisados de forma mais detalhada, a fim de identificar trechos com possíveis inconsistências. Nos casos em que a suspeita de inconsistência não pôde ser afastada, os respectivos desníveis foram retirados do ajustamento principal da rede, evitando possível contaminação dos resultados. Aproximadamente 7,5% da rede, foram desconsideradas do ajustamento principal e calculadas de forma individual (Figura 1). Deste total, pouco mais de 2400 RRNN referem-se ao grande circuito amazônico (Rondônia, sudeste do Amazonas, oeste do Pará) e aos longos ramais vinculados ao mesmo (Amazonas-Roraima e Rondônia-Acre).

Figura 1 – Referências de Nível rejeitadas no ajustamento principal

Fonte: IBGE (2018)

2.3. Ajustamentos preliminares

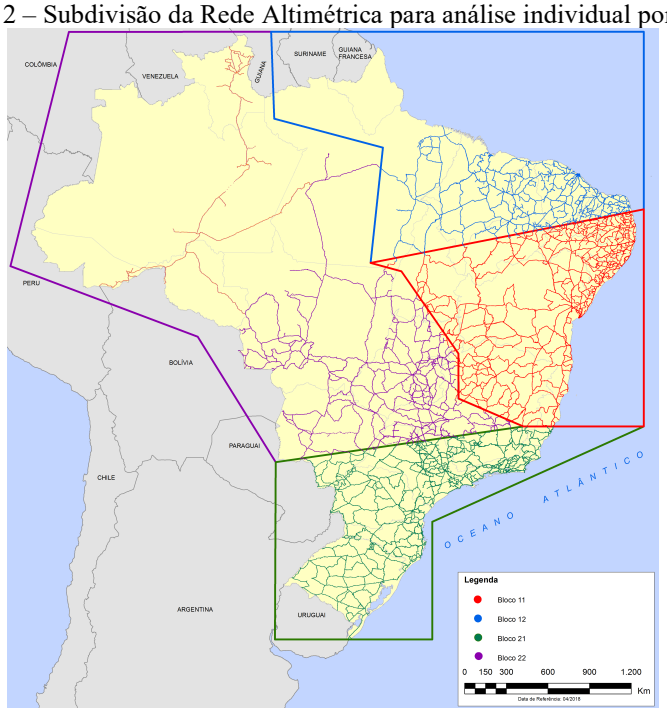
O primeiro ajustamento da rede, realizado logo após a remoção das observações rejeitadas nas etapas anteriores, e considerando apenas a rede composta pelas linhas internodais, teve como finalidade detectar e facilitar a depuração de eventuais inconsistências não identificadas anteriormente, pois a detecção considerando a rede total (seções individuais)

oferece dificuldade significativamente maior. A análise das linhas internodais se fez através do cálculo da "precisão relativa" de cada linha, obtida pela razão entre o resíduo proveniente do ajustamento e a raiz quadrada da distância nivelada em km. Aquelas que apresentaram "precisão relativa" superior a 4mm√km foram analisadas e corrigidas ou removidas. A cada inconsistência tratada, foi reprocessado o ajustamento até que a rede internodal apresentasse resultados consistentes.

Dando continuidade ao processo de ajustamento preliminar da rede, a fase seguinte consistiu no ajustamento considerando a divisão da mesma em 4 sub-redes com base nos limites dos blocos do software canadense de ajustamento GHOST (Figura 2).

Após o processamento de cada bloco, as precisões relativas das seções foram calculadas e tratadas da mesma forma que descrita durante o ajustamento da rede internodal. Tão logo a análise dos 4 blocos foi concluída, toda a Rede foi submetida ao ajustamento simultâneo no GHOST por blocos de Helmert. Neste, ainda restaram algumas observações com resíduos altos, decorrentes de trechos antes conectados a linhas agora rejeitadas. Todos os trechos nesta situação passaram por uma crítica adicional, resultando na rede depurada e pronta para ser avaliada nas etapas subsequentes.

Figura 2 – Subdivisão da Rede Altimétrica para análise individual por bloco



Fonte: IBGE (2018)

2.4. Análise dos dados de gravidade e interpolação

Antes de iniciar o processo de interpolação do valor de gravidade nas RRNN não gravimetradas, se fez necessária a análise e correção nos valores de coordenadas destas. Foram identificadas 107 seções com diferença maior que 10 km entre distância nivelada e calculada, a partir das coordenadas planimétricas. Estas discrepâncias ocorrem, em sua maioria, devido à diferença na fonte das coordenadas de RRNN sucessivas, pois em uma mesma linha de nivelamento podem existir RRNN com coordenadas extraídas de cartas topográficas em escalas padrão IBGE e outras com coordenadas oriundas de levantamentos GNSS.

O processo de interpolação dos valores de gravidade das RRNN não gravimetradas pelo IBGE contou com 106 mil pontos de gravimetria como base para a interpolação, tanto oriundos de levantamentos realizados pelo IBGE, como cedidos por outras Instituições. Além dos pontos gravimétricos do IBGE e de outras instituições, foram considerados como base no processo de interpolação alguns modelos:

- EIGEN_6S4(V2), no sistema médio de maré permanente ("mean tide") e com grau máximo de 250;
- EIGEN_6C4, no sistema "mean tide" e com grau máximo de 2190;
- GOCO05c, no sistema "mean tide" e com grau máximo de 720;

Para determinar o modelo ou conjunto de pontos mais adequado como base para a interpolação de gravidade, foram consideradas duas análises. A primeira foi a comparação direta entre os valores de gravidade observados em aproximadamente 13912 pontos de conexão gravimétrica em Referências de Nível com os valores de gravidade destas mesmas RRNN após a interpolação empregando os dados e modelos citados.

A segunda metodologia empregada na análise dos dados de base para interpolação de gravidade consistiu na escolha aleatória de 1210 seções de nivelamento em que cada RN possui conexão gravimétrica levantada pelo IBGE. Os dados empregados nesta análise foram os desníveis das seções, o valor de gravidade de cada referência de nível levantado pelo IBGE, bem como os valores de gravidade de cada RN obtidos após a interpolação. A partir da equação 1, foram calculadas as diferenças de número geopotencial das seções considerando os diferentes valores de gravidade, sendo tomada como referência a diferença de número geopotencial obtida com os valores de gravidade mensurados.

Os testes indicam que o conjunto mais adequado como base para a interpolação do valor de gravidade das RRNN carentes deste dado é o conjunto de pontos do IBGE com dados de outras instituições. Estes são necessários, pois a rede gravimétrica do IBGE ainda não atende de modo satisfatório a todo o território brasileiro.

2.5. Cálculo das diferenças de geopotencial e ajustamento da rede

Os valores de número geopotencial para as RRNN de partida da Rede Altimétrica, 4X (Datum de Imbituba) e 9329T (Datum de Santana), foram determinados a partir dos respectivos valores de altitude existentes no BDG, considerando que, conceitualmente, ao nível do mar, as diferentes altitudes físicas são equivalentes:

4X = 84,565 m² / s²
9329T = 61,401 m² / s²

Através de ferramenta computacional interna, calculou-se as diferenças de geopotencial segundo a equação 1 e, a partir de arquivo com estas informações, foi realizado o ajustamento, resultando em números geopotenciais ajustados com seus respectivos valores de desvio padrão.

Durante o processo de depuração da rede altimétrica, foi necessário retirar alguns trechos que apresentavam inconsistências e que contribuiriam de forma negativa no processo de ajustamento final. Alguns destes trechos já haviam sido retirados nos ajustamentos anteriores e outros foram identificados nos processos de análise da rede já descritos. Devido à importância espacial de alguns trechos retirados durante a análise da Rede, aliada ao fato que tais inconsistências no ajustamento individual do trecho não impactariam o usuário, optou-se por realizar o processamento individual destes trechos. Dessa forma, foram evitados eventuais impactos negativos da indisponibilidade dos mesmos no BDG.

Este processamento individual consistiu em considerar os valores ajustados da rede principal como pontos fixos dos trechos, o que acarreta a conexão destes na rede altimétrica, no entanto a inconsistência encontrada não se propaga para o restante da rede. Como exemplo prático de tal situação, tem-se o grande circuito amazônico, com perímetro de mais de 4000 km e fechamento acima da tolerância, tendo sido rejeitado do ajustamento do bloco principal do REALT-2018. No entanto, a retirada deste trecho acarretaria um vazio considerável na rede altimétrica da região, logo tanto o grande circuito amazônico como os ramais a ele conectados (Humaitá-Venezuela; Porto Velho-Brasiléia) foram ajustados/calculados individualmente considerando 2 RRNN pertencentes a rede principal já ajustada como pontos de partida e chegada da linha.

Para uma análise mais direta dos impactos da integração de informações gravimétricas aos desníveis da Rede, foi realizado um ajustamento considerando a mesma rede, porém aplicando o mesmo procedimento dos ajustamentos anteriores: a correção do não paralelismo das superfícies equipotenciais, através da equação denominada correção normal ortométrica (Luz, 2008, p.52):

$$\delta H^{Nort} \approx -2\alpha_1 H_m \Delta\varphi \operatorname{sen}(2\varphi_m)\left[1+\left(\alpha_1-2\alpha_2/\alpha_1\right)\cos(2\varphi_m)\right] \quad (6)$$

sendo H_m a altitude média da seção, φ_m a latitude média da seção, e α_1 e α_2 parâmetros da fórmula de Helmert para a gravidade normal, sendo para o sistema geodésico de referência GRS80:

$\alpha 1 = 0{,}0053023655$
$\alpha 2 = -0{,}0000059$

O processo de ajustamento da rede do Amapá ocorreu de modo similar ao da rede vinculada ao datum de Imbituba. Inicialmente foram realizados todos os fechamentos de seção, análise temporal das RRNN remanescentes da antiga rede e fechamento de circuitos. Foi realizado o cálculo do número geopotencial da RN 9329T (Datum de Santana), bem como os cálculos das diferenças do número geopotencial e da gravidade normal média das referências de nível e respectivos pesos a priori.

2.6. Cálculo das Altitudes Normais

Para a conversão dos números geopotenciais ajustados em altitudes normais (equação 3), tanto da rede altimétrica vinculada a Imbituba como a Rede vinculada a Santana, foi calculado o valor de gravidade média normal através da equação 4.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

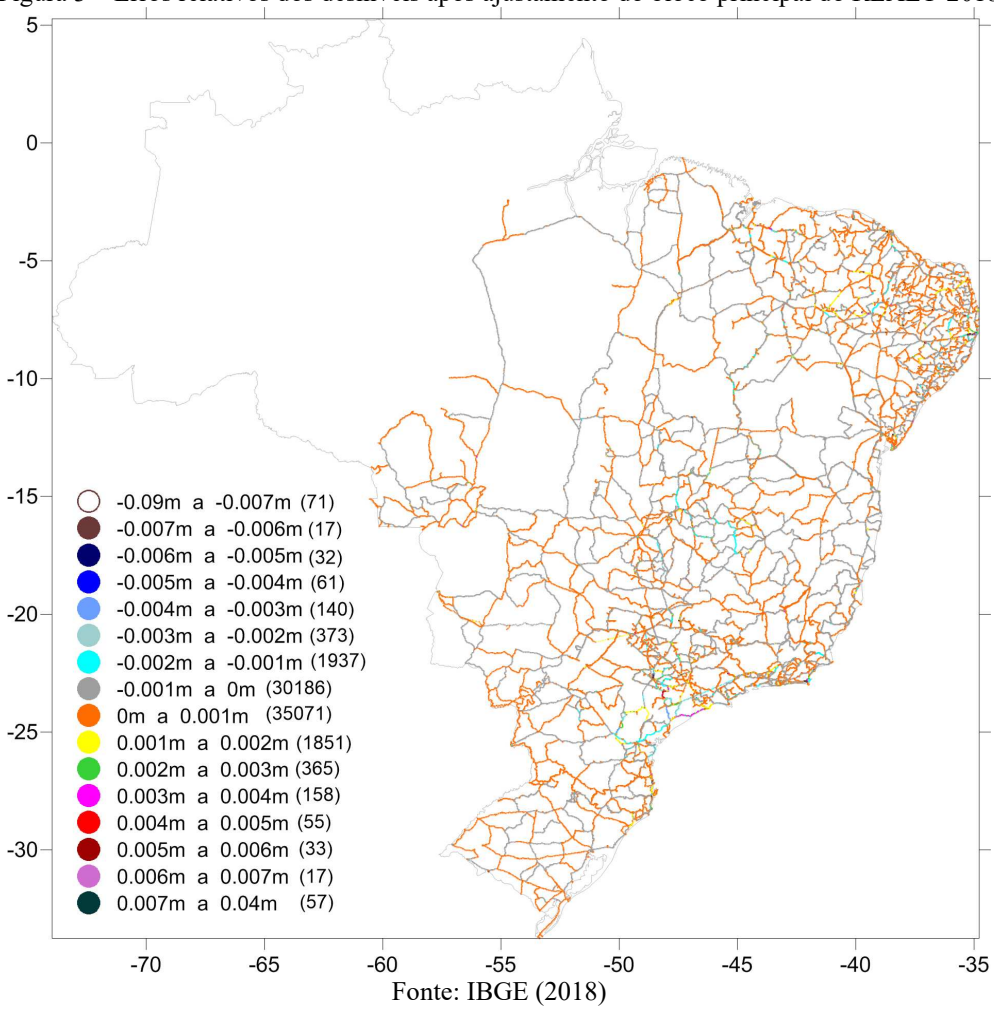
A qualidade dos resultados individuais do ajustamento da rede principal (vinculada a Imbituba) pode ser avaliada mediante a padronização dos resíduos em função das distâncias. Na Figura 3, observa-se a distribuição dos resíduos padronizados (erros relativos)) do bloco principal do REALT-2018, constatando-se que:

- 92,7% das seções sofreram correções na faixa de $-1mm(K)^{1/2}$ a $+1mm(K)^{1/2}$,
- 98,0% entre $-2mm(K)^{1/2}$ e $+2mm(K)^{1/2}$,
- 99,1% de $-3mm(K)^{1/2}$ e $+3mm(K)^{1/2}$, e
- 99,5% entre $-4mm(K)^{1/2}$ e $+4mm(K)^{1/2}$.

Na Figura 4, observa-se que as altitudes normais de aproximadamente 50 mil RRNN (76%) diferem de +20cm a +30cm das altitudes ortométricas-normais vigentes no BDG até julho de 2018, em grande parte das regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste. Já na região Sul, a variação em uma faixa diferente de valores, entre -5cm e +20cm, deve-se à proximidade em relação ao Datum de Imbituba. Além disso, 86% das novas altitudes apresentam desvios-padrão entre 6cm e 10cm (Figura 5).

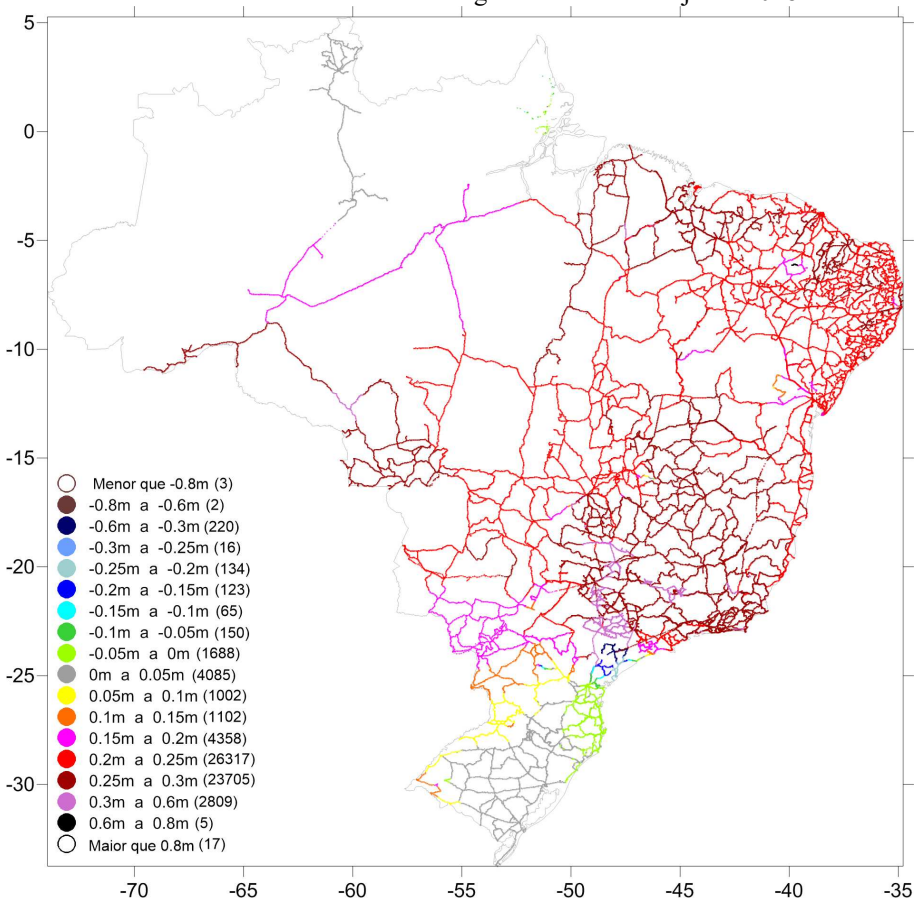
Outra constatação interessante é a comparação das altitudes normais do REALT-2018 com as altitudes ortométricas-normais obtidas com os mesmos dados e geometria de rede, que permite isolar os efeitos da inserção da gravidade real. Conclui-se que 94% das RRNN apresentam diferenças entre +5mm e -15mm (Figura 6).

Figura 3 – Erros relativos dos desníveis após ajustamento do bloco principal do REALT-2018



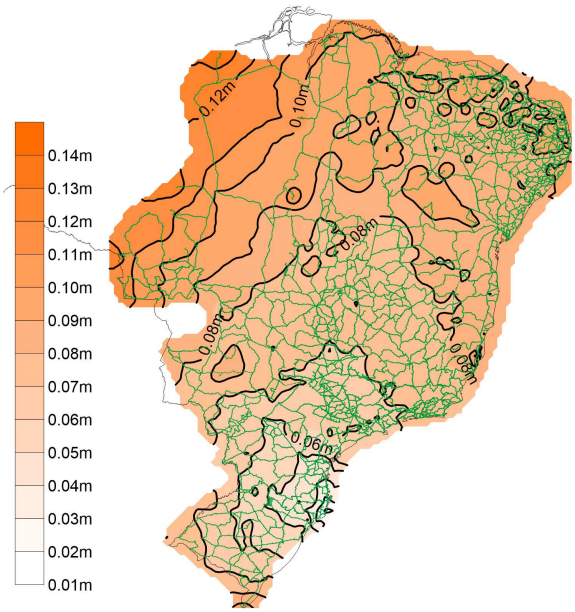
Fonte: IBGE (2018)

Figura 4 – Diferenças entre as altitudes normais do REALT-2018 e as altitudes ortométricas-normais vigentes no BDG até julho/2018



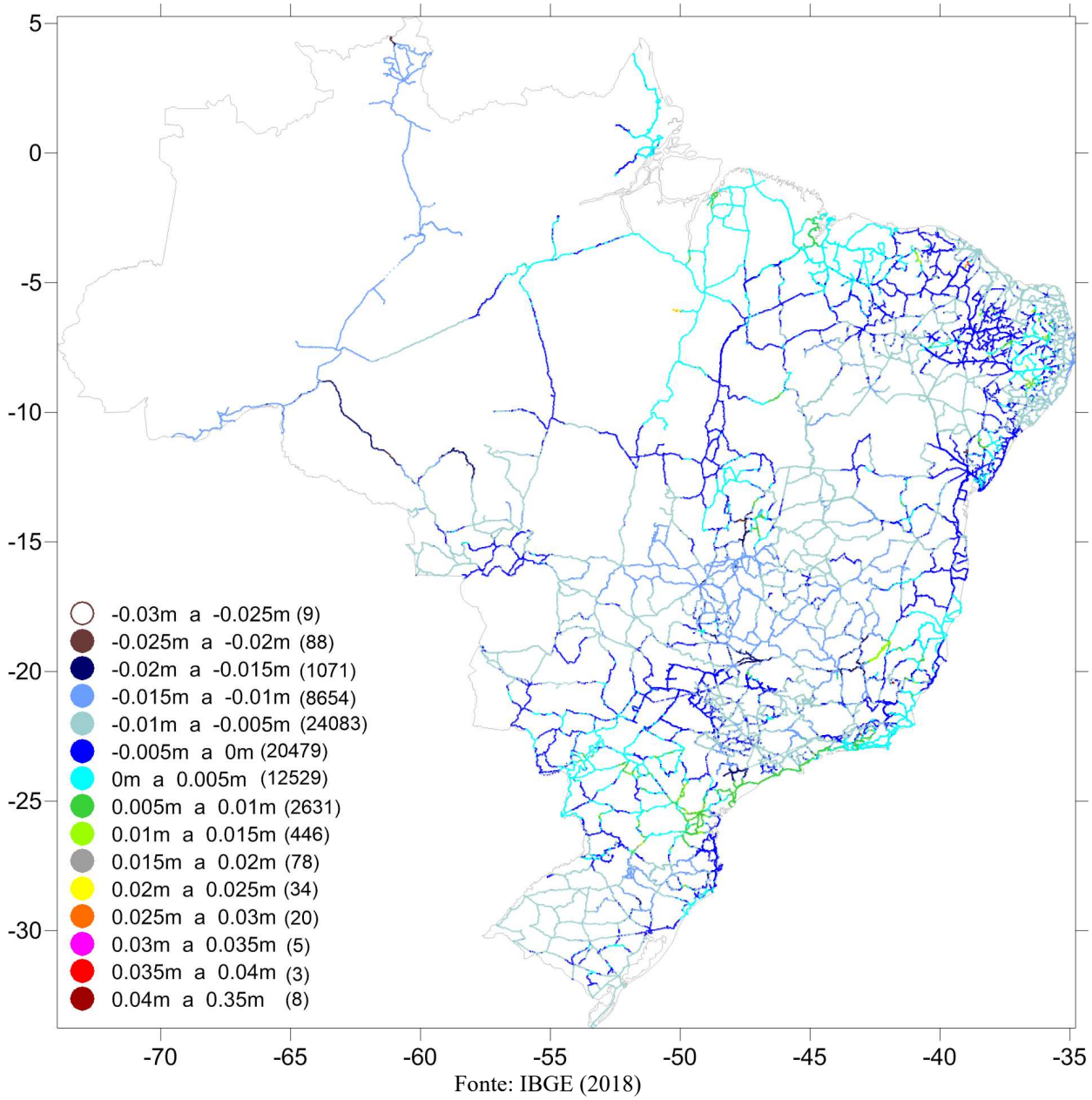
Fonte: IBGE (2018)

Figura 5 – Desvios-padrão das altitudes normais do bloco principal



Fonte: IBGE (2018)

Figura 6 – Diferenças entre as altitudes normais do bloco principal do REALT-2018 e as altitudes ortométricas-normais calculadas com a mesma rede



Fonte: IBGE (2018)

4 CONCLUSÕES

Os cálculos e análises desenvolvidos durante o reprocessamento da RAAP para o REALT-2018 caracterizam-se pela robustez, envolvendo um maior número de variáveis qualitativas em relação aos procedimentos anteriores. A inserção de novos parâmetros proporcionou o cálculo de altitudes com significado físico e preparou a rede para as ações futuras preconizadas pelo SIRGAS sobre a unificação do sistema de referência vertical das Américas. Cabe ressaltar que as diferenças constatadas entre as novas altitudes normais e as altitudes vigentes no BDG até julho de 2018 ocorrem, em grande parte, pela inserção de novas linhas e pelo processo de depuração da rede, que ocasionou uma geometria diferente para o ajustamento. Esta influência é significativamente maior do que a decorrente da utilização de diferenças de geopotencial e conversão dos valores finais ajustados em altitudes normais. A Figura 6 corrobora que a mudança de metodologia no cálculo das altitudes não teve impacto significativo nas diferenças encontradas entre as altitudes normais e as normais-ortométricas provenientes dos ajustamentos anteriores e qualifica as altitudes normais como opção mais adequada, entre as necessidades de modernização da componente vertical do SGB e os eventuais impactos da mudança de altitudes sobre os usuários. Maiores detalhes podem ser obtidos no relatório do REALT-2018.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOWIE, W; AVERS, H. G. 1914 **Fourth General Adjustment of the Precise Level Net in the United States and the Resulting Standard Elevations**. Special Publication No. 18, Washington: U. S. Coast and Geodetic Survey, 328 p. 1914.

FORSBERG, R.; TSCHERNING, C. C. 2008 **An overview manual for the GRAVSOFT Geodetic Gravity Field Modelling Programs**. 2.ed. 2008.

FREITAS, S.R.C.; BLITZKOW, D. 1999. **Altitudes e Geopotencial**. IgeS Bulletin, Milan, Special Issue for South America, 9: 47-62.

IBGE. 2017. **Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos Associados ao Sistema Geodésico Brasileiro**. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/normas_levantamentos_geodesicos.pdf>

IBGE 2018. **Reajustamento da Rede Altimétrica com Números Geopotenciais**. 47 p. IBGE, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_altimetrica/relatorio/relatorio_REALT_2018.pdf>

IHDE, J.; Sanchez, L.; BARZAGHI, R.; DREWES, H.; FOERSTE, C.; GRUBER, T.; LIEBSCH, G.; MARTI, U.; PAIL, R.; SIDERIS, M. 2017 **Definition and Proposed Realization of the International Height Reference System (IHRS)**. Surveys in Geophysics, v. 38, n. 3. 2017.

KRAKIWSKY, E. J.; MUELLER, I. I. 1965 **Systems of Height**. Columbus: OSU, 1965. xxv, 157 p. (Report, Dept. of Geodetic Science, n. 60).

LUZ, R. T. 2008. **Estratégias para modernização da componente vertical do Sistema Geodésico Brasileiro e sua integração ao SIRGAS**. Editora UFPR, Curitiba/PR, 2008, 228 páginas. Também disponível em: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Roberto_Teixeira_Luz_Tese_de_Doutorado.pdf>.

MORITZ, H. 1980 **Advanced Physical Geodesy**. Karlsruhe: Wichmann, 1980. xiii, 500 p.

SIDERIS, M. G. 1994 **Regional Geoid Determination**. In: VANÍCEK, P.; CHRISTOU, N. T. (Ed.). Geoid and Its Geophysical Interpretations. Boca Raton: CRC Press, 1994. p. 77-94. xvi, 343 p.

TORGE, W. 2001 **Geodesy**. 3. compl. rev. and ext. ed. Berlin: Walter de Gruyter, 2001. xv, 416 p.

TIPOS DE SOROTIPOS CONFIRMADOS DA DENGUE CIRCULANTES NO MUNICÍPIO DE FOZ DO IGUAÇU DE 2012 A 2017

CLAUDIA LARIZA GAMARRA ESCOBAR
MARA RUBIA SILVA

Universidade Federal da Integração Latino-Americana - UNILA
Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território – ILATIT
Departamento de Engenharia Civil de Infraestrutura, Foz do Iguaçu, PR
lari.gamarra_@hotmail.com, mara.mrsagricola@gmail.com

RESUMO - As ferramentas para combater a doença da dengue aprimoram-se com o correr dos anos, no município em estudo, Foz do Iguaçu, não são só utilizados métodos como as campanhas de conscientização, veículos fumacês nos bairros, visitas de agentes de saúde e limpeza nas casas, senão também são empregadas técnicas analógicas, digitais e de Geoprocessamento no planejamento de medidas de controle da doença. O assunto desta pesquisa foi realizar a espacialização dos tipos de vírus da dengue por inscrição cadastral do município de Foz do Iguaçu, teve como finalidade analisar os tipos de sorotipo do dengue circulante no período de 2012 ao 2017 no município. Para realizar a análise desenvolveu-se um banco de dados com o registro dos casos confirmados do tipo de sorotipo da dengue (DEN 1, DEN 2, DEN 3, DEN 4) e as respectivas coordenadas da localização destas. Foi adquirido a base cartográfica digital do município, o qual foi devidamente processada no software QGIS. Ao obter todos os elementos culminasse com a geração de mapas temáticos, representando espacialmente os tipos dos sorotipos confirmados circulantes em cada ano, utilizando uma das tecnologias do Geoprocessamento, o software *QGIS*.
Palavras chave: Geoprocessamento, espacialização, sorotipo.
ABSTRACT - The tools to combat dengue disease are improving over the years, in the city under study, Foz do Iguaçu, not only methods such as awareness campaigns are used, smoke vehicles in neighborhoods, visits of health agents and cleaning in homes, otherwise analogue, digital and Geoprocessing techniques are also employed in the planning of disease control measures. The subject of this research was to perform the spatialization of dengue virus types by cadastral registration of the municipality of Foz do Iguaçu, had the purpose of analyzing the types of dengue serotype circulating in the period from 2012 to 2017 in the municipality. To carry out the analysis, a database was developed with the record of confirmed cases of dengue serotype type (DEN 1, DEN 2, DEN 3, DEN 4) and the respective coordinates of thelocation of these. The digital cartographic base of the municipality was acquired, which was properly processed in the QGIS software. When getting all the elements culminated in the generation of thematic maps, spatially representing the types of confirmed serotypes circulating in each year, using one of the Geoprocessing technologies, the QGIS software.
Keywords: Geoprocessing, spatialization, serotype.

1. INTRODUÇÃO

A dengue é uma infecção viral a qual é transmitida pelas fêmeas do mosquito *Aedes Aegypti*, estas se reproduzem principalmente em reservatórios artificiais de água, os sintomas aparecem entre os três a catorze dias da picadura do mosquito, esta enfermidade pode matar se não e tratada a tempo.

Leite e Abreu (2009) manifestam que a dengue se tornou ao longo dos anos um grande problema de saúde pública no Brasil e no mundo, devido aos grandes malefícios que ela tem gerado a essas populações. Ela é consequência das más condições de saneamento, e do uso irracional do meio ambiente, trazendo prejuízos diretos à sociedade.

E importante que as pessoas tomem conhecimento do local onde as larvas se encontram e como elimina-los. É primordial identificar os sítios que foram afetados por esta doença, para assim ser aplicadas as técnicas de controle, combate ou prevenção.

Foz do Iguaçu precisa de um cuidado e vigilância minuciosa antes está doença, visto que é uma região de fronteira. Consequentemente pergunta-se: qual é a melhor maneira de identificá-los, analisá-los, para assim os agentes públicos tomarem decisões certas e combatê-las?. Pode-se empregar as técnicas de Geoprocessamento no planejamento de medidas de controle da doença, facilitando a tomada de decisão dos agentes.

Pignatti (s/n) disse que para a contenção de epidemias da dengue há necessidade de políticas intersetoriais entre ambiente e saúde, principalmente em relação aos resíduos sólidos.

O Geoprocessamento facilita a obtenção de informações ambientais e de saúde permitindo identificações de variáveis que revelem a estrutura ambiental; e onde os riscos de doenças estão presentes, é preciso conhecer o espaço para poder atender os diversos fenômenos que ocorrem no lugar e assim estudá-los, possibilita a identificação dos casos da dengue e cruzar essas informações com dados socioeconômicos, socioambientais e outros, e o as técnicas de Geoprocessamento termina sendo um instrumento muito forte na pesquisa em saúde.

O geoprocessamento pode ser entendido como o conjunto de tecnologias dirigidas a coleta e tratamento de informações espaciais assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações com diversos níveis de sofisticação (SOSA, 2013).

O controle é feito por técnicas analógicas e digitais no combate contra a dengue no estado de Foz do Iguaçu, tais como, mapas digitais e em papel onde se diferenciam os riscos por cores; no papel são marcados com alfinetes, igualmente são utilizadas tabelas e gráficos. Essas técnicas são utilizadas com o objetivo de especializar os casos da dengue na cidade.

A dengue é grave e está presente no município, precisa-se obter um método para analisá-lo, com o presente trabalho propôs testar uma metodologia de análise espacial dos sorotipos da dengue: DEN-1, DEN-2, DEN3 e DEN-4, apoiada nas técnicas de Geoprocessamento, que objetivem agilizar o processo de tomada de decisão dos gestores públicos.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

Para monitorar a dengue tem que se conhecer os focos do mosquito e os fatores propiciadores, e é fundamental se ter um registro veloz dessas informações para facilitar às técnicas de controle.

Etapa 01: Obtenção do cadastro dos casos da dengue fornecidos pela prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu, estes foram viabilizados para se ler no Excel.

Etapa 02: Processamento das informações, rejeitando os dados não necessários e incompletos, para editá-los foi utilizado o Excel. Consequentemente, foi gerado uma tabela contendo o nome do logradouro, número da residência e o nome do bairro, salvou-se a tabela no formato de arquivo de valores separados por vírgulas de *Microsoft Excel* (.csv (*Comma Separated Values*)).

Etapa 03: Transferência da tabela .csv para o *Google Earth* contendo no máximo 1999 direções, pois é o máximo que lê em conjunto o programa e 2000 linhas ao mesmo tempo, deste foi extraído as coordenadas das direções e armazenado em um arquivo com extensão kml (*Keyhole Markup Language*).

Etapa-04: Por conseguinte o arquivo kml foi transferido para o programa *QGIS*, neste *software* o arquivo kml foi salvo como um arquivo *SHAPEFILE* (extensão .shp) que é composto por três arquivos (shp, shx e dbf), logo passou-se a trabalhar no *QGIS* para obter as coordenadas UTM das localizações, uma vez obtidas estas, a tabela foi guardada como folha de cálculo *OpenDocument Spreadsheet* (.ods), para posteriormente trabalhar no Excel e adicionar uma coluna com o dado faltante (tipos de sorotipos) na tabela, finalmente foi guardado a tabela em formato .csv.

Etapa-05: Transferência da tabela final no QGIS, as coordenadas desta tabela estavam com o sistema de referência WGS84/UTM zone 21S, prosseguiu-se a guardar ela no formato SHAPEFILES com o novo sistema de referência SIRGAS2000/ UTM zone 21S, em seguida foram guardados por separados os dados dos sorotipos (DEN 1, DEN 2, DEN 3 e DEN 4) em arquivos *SHAPEFILES* para assim obter a representação de cada um. Ao concluir foi feita a etapa 02 ao 05 para todos os anos anualizados.

Etapa 06: Obtenção da base cartográfica digital em formato CAD fornecido pela prefeitura de Foz do Iguaçu, após foi importada no *QGIS* e transformada seu sistema geodésico de referência de SAD69(96) para SIRGAS 2000.

Etapa-07: Uma vez obtidos todos os elementos, procedeu-se na geração dos mapas temáticos, contendo os sorotipos da dengue utilizando o software *QGIS*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado da Etapa 01 da metodologia obteve-se os dados de 2012 ao 2017 disponibilizado pela prefeitura de Foz do Iguaçu, em total foram 28068 casos (confirmados e não confirmados o sorotipo) da dengue, esses dados não tinham uma certa padronização e alguns não contavam com todos os dados necessários, na Etapa 02 fez-se um refinamento dos dados eliminando os incompletos, sobrando desta forma 20439 casos (confirmadas e não confirmadas o sorotipo). Na Tabela 1 pode-se observar o exemplo da tabela em extensão ".csv" resultado da Etapa 2 da metodologia, os quais foram abertas no Google Earth para determinar as direções dos tipos de sorotipos da dengue seguindo a Etapa 03 da metodologia, em seguida fez-se a Etapa 04 e 05.

Figura 1 – Segmento da tabela cedida pela Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu

ID_BAIRRO	NM_BAIRRO	ID_LOGRADO	NM_LOGRADO	NU_NUMERO
3844	MORUMBI I		RUA HELENA DE FREITAS	665
3844	MORUMBI I		HELENO DE FREITAS	00
3677	JD ALICE I		RUA PRAGA	75
3769	JD NOVO HORIZONTE		RUA ITAMB═	482
3846	MORUMBI III		RUA VERBANO CADEIRA	1640
3651	CENTRO		AV JK	133
3655	CIDADE NOVA II		CLAUDIO GONÃAVES	202
3865	PQ TRES BANDEIRAS		RUA GRAJAU	115
3850	PORTAL DA FOZ		RUA MARTIM PESCADOR	145
3651	CENTRO		AV BARTOLOMEU DE GUSMON	12
3655	CIDADE NOVA II		RUA ANTONIO ALVES	403
3848	PILAR PQ CAMPESTRE		VISLANDI SAWARIS	06
3891	VILA MARACANA		RIO DE JANEIRO	1142
3815	LOT BELA VISTA I		RUA U	52
3866	PROFILURB I		R JAU	641
3778	JD PETROPOLIS		RUA CRICIUMA	366
3872	TRES LAGOAS		R POJUCA	220
3884	VILA C		ARACAJU	16
3844	MORUMBI I		RUA POMPEL DE TOLEDO	1324
3852	PORTO MEIRA		RUA BACALHAU	
3719	JD DOURADO		RUA 05	14
3879	VILA BOA ESPERANCA		R: EUPIDIO FERREIRA DIAS	
3871	SOAB		R CARA	43
3808	JD VASCO DA GAMA		R JABUTI	190
3750	JD LANCASTER II		FRANCA	667
3866	PROFILURB I		R TRAIRA	189
3709	JD DAS FLORES		R DAS PALMAS	663
3654	CIDADE NOVA I		JOAOA DAVID BASTOS VACHANSKI	218
3748	JD KARLA		AVAR ╔	314
3884	VILA C		RUA GOIANIA	44
	PORTAL		RUA MEMELVERAO	914
3786	JD SANTA RITA		RUA MIGUEL MATTE	103
3865	PQ TRES BANDEIRAS		CARLOS D ANDRADE	596
3844	MORUMBI I		AV MARIO FILHO	2705
3691	JD CANADA I		AV GRAMADO	1036
3790	JD SAO PAULO I		JOAQUIN GUIMAR ├ES	947
			RUA BARAO SERRA NEGRA	1961

Fonte: Prefeitura de Foz do Iguaçu (2018)

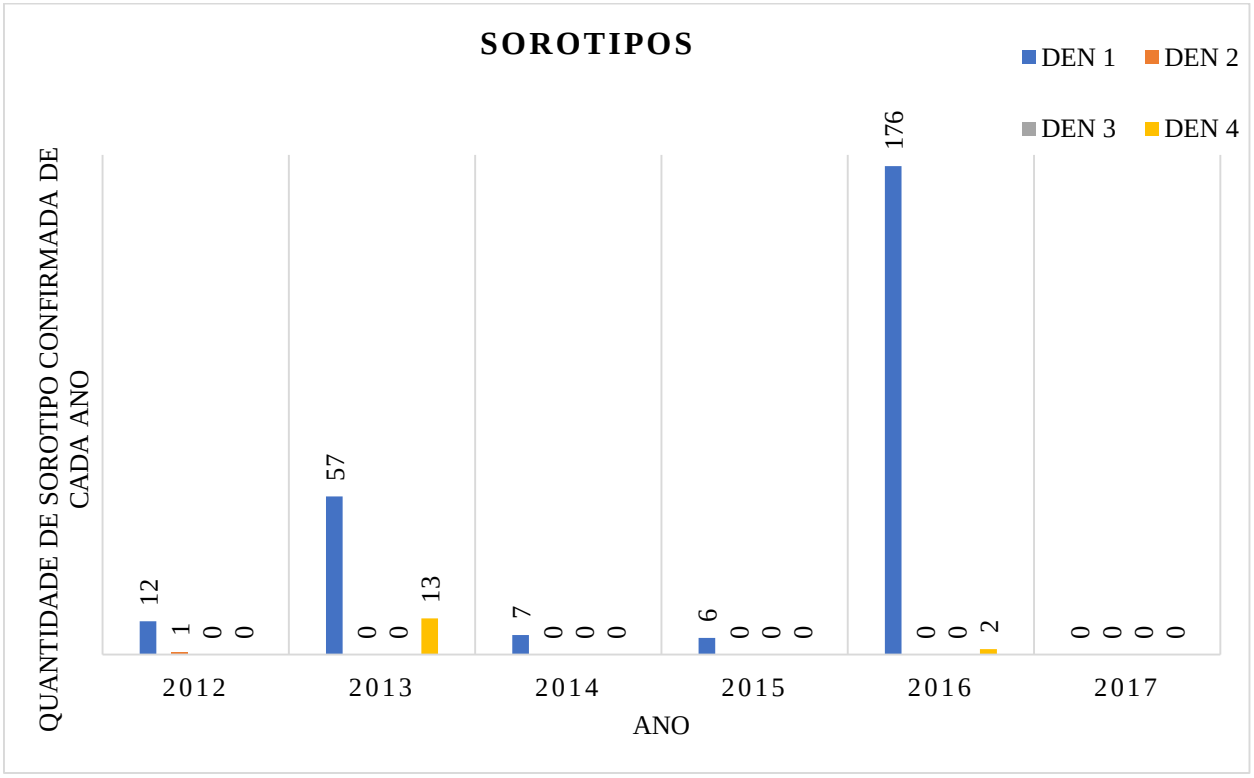
Tabela 1 - Dados das coordenadas dos tipos de sorotipos da dengue em Foz do Iguaçu.

NOME LOGRADO	Numero	NOME BAIRRO
HELENO DE FREITAS	0	MORUMBI I
RUA PRAGA	75	JD ALICE I
RUA ITAMB	482	JD NOVO HORIZONTE
RUA VERBANO CADEIRA	1640	MORUMBI III
AV JK	133	CENTRO
CLAUDIO GONAAVES	202	CIDADE NOV A II
RUA GRAJAU	115	PQ TRES BANDEIRAS

Fonte: Autores (2018)

Os sorotipos confirmados circulantes no município de Foz do Iguaçu no período estudado são o DEN 1, DEN 2 e DEN4. Na Figura 2 pode-se ver a quantidade de sorotipos confirmados em cada ano estudado, observando assim que no ano de 2012 se presentaram 2 sorotipos o DEN 1 e o DEN 2 o primeiro com 12 e o segundo com 2 casos confirmados do sorotipo, no ano de 2013 se teve o DEN 1com 57 casos confirmados do sorotipo e 13 do DEN 4, logo nos anos de 2014 e 2015 só esteve confirmado o sorotipo DEN 1, no 2014 foram 7 casos e em 2015 6, posteriormente constatasse que no ano de 2016 teve-se 176 casos confirmados do sorotipo DEN 1 e 2 do DEN 4, no ano 2017 não se confirmarão nenhum tipo de sorotipo (neste ano sim se teve casos confirmados da dengue, só que não se teve casos confirmados do tipo de sorotipo), tendo assim que o DEN 1 e a que maior se apresenta no correr do período de 2012 ao 2017, com ausência da confirmação do sorotipo DEN 3.

Figura 2 – Dados finais da quantidade de sorotipos confirmados em cada ano no período de 2012 ao 2017



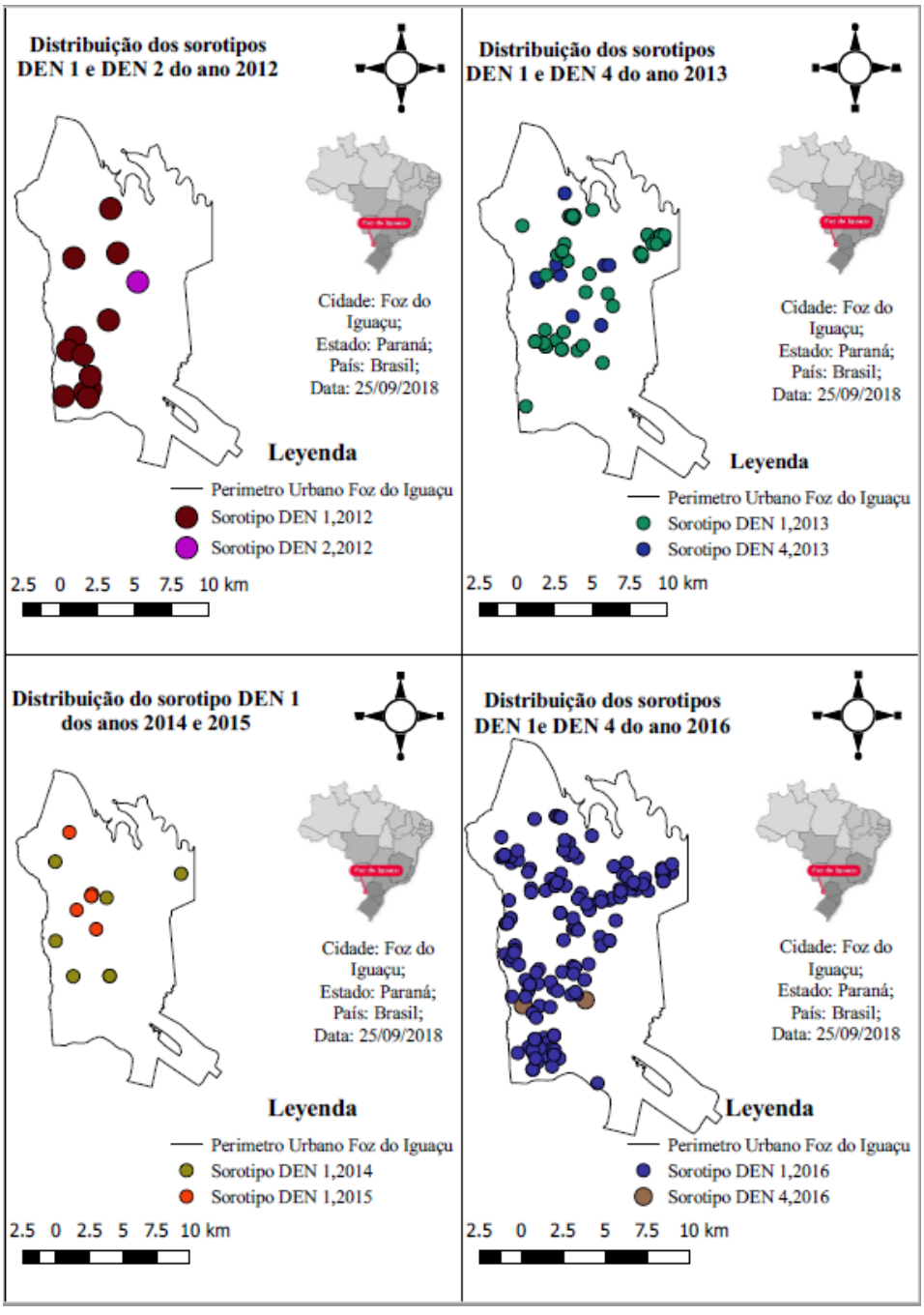
Fonte: Autores (2018)

Como resultado da Etapa 06 obteve-se o perímetro urbano da cidade em formato *SHAPEFILES.*

Após a formatação dos dados e obter o perímetro urbano da cidade, gerou-se mapas temáticos com os sorotipos confirmados circulantes no período estudado como resultado da Etapa 07, para a representação espacial dos tipos de vírus circulantes da dengue em Foz do Iguaçu.

Na Figura 3 corrobora-se a espacialização dos casos dos sorotipos confirmados da dengue no período de 2012 ao 2017 no município de Foz do Iguaçu.

Figura 3 - Representação da distribuição dos casos dos sorotipos confirmados da dengue no período de 2012 ao 2017.



Fonte: Autores (2018)

No total foram 28068 casos cedidos pela prefeitura de Foz do Iguaçu, organizando eles, ficou-se com 20439 casos entre estes se tinham casos confirmados dos sorotipos e casos não confirmados do sorotipo, fazendo o refinamento destes achou-se 274 casos confirmados dos distintos sorotipos através dos anos de 2012 a 2017, tendo no 2016; 176 casos confirmados do sorotipo DEN 1, sendo assim o ano com mais casos confirmados.

Foram várias as dificuldades para a conclusão do trabalho, uma delas foi o conjunto de tramites que se teve que fazer para obter os dados do PMFI (Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu) foi muito extenso, e a falta de padronização deste, outra foi o de obter as coordenadas planas (E, N), também a geração dos mapas temáticos, entre outras dificuldades.

4. CONCLUSÕES

Mediante os dados cedidos pelo PMFI (Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu) foi possível aplicar a metodologia proposta e assim cumprir com os objetivos.

A partir da criação de um banco de dados espacial com os tipos da dengue ocorridos no município de Foz do Iguaçu, e com a base cartográfica da cidade foi possível gerar os mapas temáticos com os tipos de sorotipos confirmados de cada ano.

Analisou-se os tipos de sorotipo da dengue circulante no município de Foz do Iguaçu no período de 2012 a 2017 a partir dos mapas temáticos, o sorotipo que prevaleceu durante todos estes danos foi o sorotipo DEN 1.

Agradecimentos

A Vigilância de Saúde e a Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu pelo fornecimento dos dados.

A Fundação Araucária pela bolsa de Iniciação Científica.

E ao Programa Institucional de Iniciação Científica - PIBIC 2017/2018 IC e IC/Af e Programa Institucional de Iniciação ao Desenvolvimento Tecnológico e Inovação - PIBITI 2017/2018 DT.

Referências Bibliográficas

LEITE, Marcos Esdras. ABREU, Kíria Karla Rezende Carneiro de. Sistema de informação geográfica aplicado à distribuição do caso de dengue na microrregião de pirapora - mg1. Hygeia, Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde. ISSN: 1980-1726. Hygeia 5(9),p.63-76, Dez.2009. Disponível em: < http://www.seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/view/16939/9342>. Acesso: 22 de julho de 2018.

PIGNATTI, Marta Gislene. Políticas ambientais e saúde: as práticas sanitárias para o controle do dengue no ambiente urbano, (S/N). Disponível em: < http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd25/politicas.pdf>. Acesso: 03 de maio de 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FOZ DO IGUAÇU. Protocolo Geral. Disponível em:< http://www.pmfi.pr.gov.br/conteudo/?idMenu=547>. 2017.

SOSA, Roberto. Introdução ao geoprocessamento. Uberlandia, Jun.2013. Disponível em:<http://professor.ufabc.edu.br/~flavia.feitosa/cursos/geo2016/AULA5-ELEMENTOSMAPA/Apostila_Geop_rrosa.pdf >. Acesso: 03 de maio de 2018.

UTILIZAÇÃO DO GOOGLE MY MAPS COMO FERRAMENTA DE CONFECÇÃO DE MAPA INTERATIVO E COLABORATIVO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – CAMPUS RECIFE

BRUNO CESAR PEREIRA PINTO[1]
JEFFERSON VELOSO NOGUEIRA JÚNIOR[2]
VINÍCIUS D'LUCAS BEZERRA E QUEIROZ[3]
LÍGIA ALBUQUERQUE DE ALCÂNTARA[4]

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
bruno.cesarpufpe@gmail.com[1], jeffersonvnjunior94@gmail.com[2],vinicius.dlucas@gmail.com[3],
ligia.alcantara@yahoo.com.br[4]

RESUMO - Este trabalho objetivou a criação de um mapa interativo e colaborativo na Universidade Federal de Pernambuco – *Campus* Joaquim Amazonas, identificando e mapeando pontos de interesse da comunidade acadêmica, com características formais ou informais, utilizando o serviço Google My Maps. A estruturação do projeto deu-se em distintas etapas: Aquisição de dados, utilização do Google My Maps, compartilhamento e geocolaboração. Como resultado se obteve o mapa interativo colaborativo do Campus.

ABSTRACT - This work aimed at the creation of an interactive and collaborative map at the Federal University of Pernambuco - Campus Joaquim Amazonas, identifying and mapping points of interest of the academic community with formal or informal characteristics, using The Google My Maps service. The structuring of the project gave itself in different stages: data acquisition, use of Google My Maps, sharing and geocollaboration. As a result, the collaborative interactive map of the Campus was obtained.

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Cartográfica Internacional (ACI) "A Cartografia apresenta-se como o conjunto de estudos e operações científicas, técnicas e artísticas que, tendo por base os resultados de observações diretas ou da análise de documentação, se voltam para a elaboração de mapas, cartas e outras formas de expressão ou representação de objetos, elementos, fenômenos e ambientes físicos e socioeconômicos, bem como a sua utilização". A partir desse entendimento, a cartografia possibilita em seu cerne a informação de posicionamento que é essencial tanto para atividades de grande proporção quanto para as mais triviais do cotidiano.

Em âmbito local podemos dizer que um indivíduo que vive em um meio é o maior versado dele e mediante a necessidade de conhecer e usufruir o que lhe rodeia, é um identificador ideal de características físicas e sociais dos lugares que costuma frequentar. Dessa forma ele pode ser protagonista na contribuição da geoinformação da sua localidade e agente na educação geográfica de compartilhamento de informações, inclusive quando toma a tecnologia como um meio de viabilizar e potencializar a dinâmica de sua cooperação.

Dito o exposto, na cartografia, assim como em todas as outras ciências, a tecnologia vem para facilitar e aperfeiçoar o atendimento das nossas necessidades. Por conseguinte, soluções tecnológicas existem para atender essa conveniência de compartilhar informações, tornando-as acessíveis para quaisquer usuários e permitindo a estes a integração de simples contribuições a uma determinada base de dados através da internet.

Para a integralização desses conceitos e aplicabilidade numa situação prática e habitual do dia a dia, tomou-se como objeto a Universidade Federal de Pernambuco mais especificamente o *Campus* Joaquim Amazonas localizado no município de Recife, que contém além de suas repartições mais evidentes (centros, bibliotecas, laboratórios, estabelecimentos de grande porte do entorno, etc) locais que não são mapeados ou por estarem na área interna ao centros ou por geralmente serem pontos afigurados como informais, porém, ambos são de grande importância e de uso corriqueiro de toda a comunidade acadêmica, a exemplo, cantinas, restaurantes internos, instalações de fornecimento de serviços de cópias e impressão, entre outros. Percebendo essa deficiência em mapear esses lugares tão proficientes, o intento foi aplicar a concepção de geocolaboração que, seguindo um estudo feito por SOUSA(2012) sobre as

proposições de Clay Shirky (2010), Caroline Haythornthwaite (2009), Yochai Benkler (2002; BENKLER & NISSENBAUM, 2006), as pessoas colaboram porque há um interesse e um tópico em comum aos participantes. Nesse caso o proveito seria o mapeamento de pontos com grande demanda de localização e que, por não serem de grande escala, não recebem a devida importância na informação de seu posicionamento e de suas propriedades. Para tanto, utilizou-se o *Google My Maps* como ferramenta de criação de mapas digitais interativos e colaborativos. Esta plataforma, é um serviço de planejamento customizado de mapas que utiliza como base o *Google Maps,* sendo possível através deste o mapeamento das diversas informalidades e outros pontos de interesse da comunidade acadêmica, com interatividade e colaboração do usuário.

Sendo assim, o objetivo deste artigo é o estudo e aplicação do *Google My Maps* como plataforma de colaboração para o mapeamento dos diversos pontos de interesse e as informalidades comerciais presentes no interior e no entorno da Universidade Federal de Pernambuco – campus Joaquim Amazonas. Para divulgação, compartilhamento e posteriori colaboração por parte dos usuários da comunidade acadêmica, foi criado um *QR Code* instrumento que, quando *scaneado* através de um aparelho de *smartphone*, possibilitará ao usuário converter esse código em um link que direcionará tal para o mapa interativo de localização (sua e das repartições e estabelecimentos catalogados) onde poderá fazer buscas e também fazer parte da construção e edição de dados novos ou já existentes, contribuindo assim, para a melhoria e funcionalidade do mapa.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

A metodologia adotada foi baseada no procedimento de coleta de informações preliminares para a criação de uma base de dados iniciais no *Google My Maps*, seguida de sua inserção na plataforma e criação do link de divulgação através do QR *Code.* Para tanto, o processo de confecção do mapa web interativo foi composto por três etapas principais:

Figura 1- Fluxograma com as etapas do projeto.

Fonte: Autores (2018)

1.2 Aquisição de dados

Etapa para a coleta de informações e da base utilizada para a cartografia local:

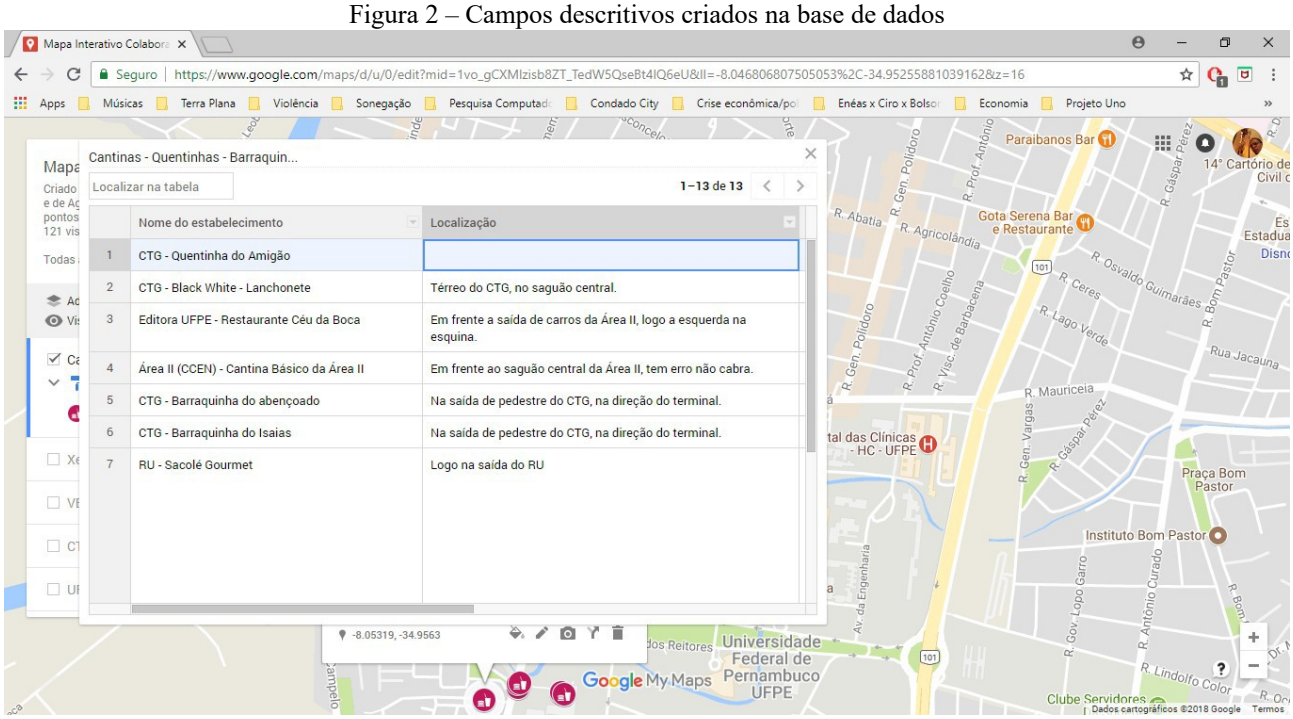
- Aquisição do *shapefile* da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE campus Recife, como base para as informações que seriam inseridas;
- Levantamento e cadastramento de pontos de interesse de locais do Campus e seu entorno conforme a demanda e a necessidade da comunidade acadêmica, mediante pesquisa informal referente à quais dessas localidades seria interessante mapear;
- Coleta dos dados descritivos dos pontos adicionados (nome, tipo de estabelecimento, faixa de preço…), e um espaço para inserir outras informações e opiniões sobre esses locais;

2.2 Uso da ferramenta *GOOGLE MY MAPS*

Neste passo, foi utilizada a ferramenta gratuita do *Google My Maps* distribuída pela empresa Google, como instrumento para a elaboração de mapas interativos de maneira simples, porém conceitual:

- No *Google My Maps desktop* foi importada e criada a camada para pré-visualização do *campus* da UFPE e camadas para os pontos de interesse (xerox, estabelecimentos de recarga de créditos para transporte público, cantinas, quiosques, etc.). A camada 'UFPE' foi criada através de conversão de arquivo *shapefile* em formato "*.kml" com utilização de *software* QGIS e posteriormente adicionado ao mapa. Já os pontos de interesse foram criados diretamente com recursos do *Google My Maps* que são disponibilizados para o editor. Neles foram pré- determinados os campos descritivos através da edição da tabela de dados, os quais serão utilizados pelos usuários (Figura 2).

Figura 2 – Campos descritivos criados na base de dados



Fonte: *Google My Maps desktop* (2018)

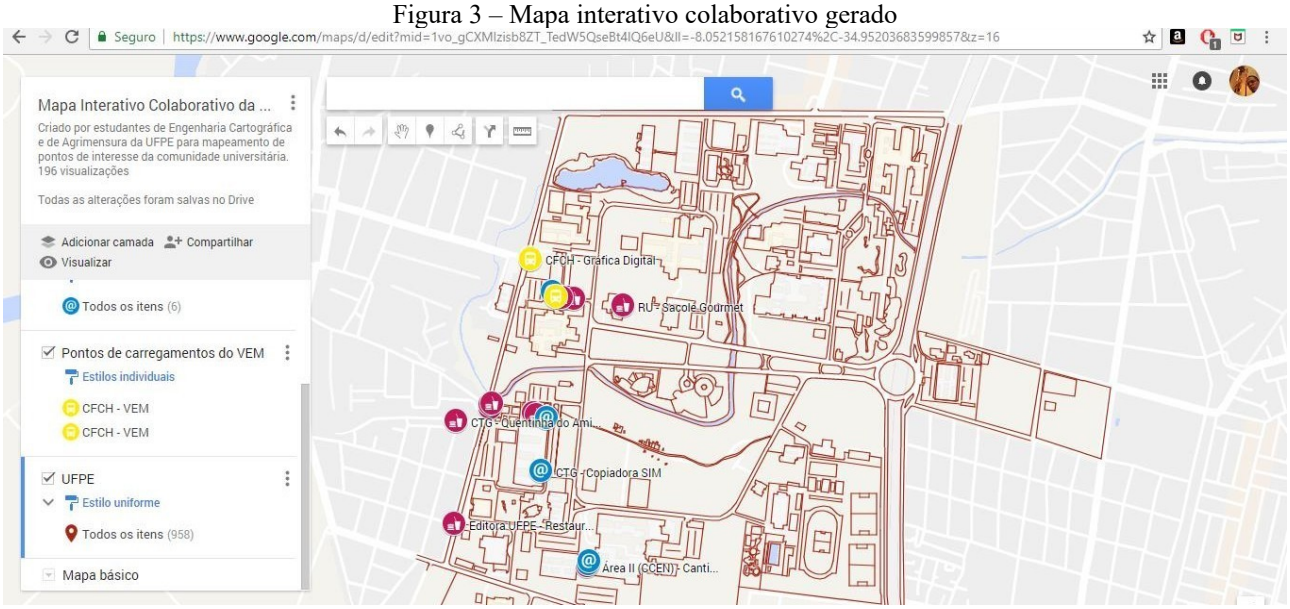
2.3 Compartilhamento

Como o mapa interativo gerado fica armazenado em um link, a solução encontrada para compartilhamento foi a utilização do QR *Code*, que consiste em um código de barras bidimensional que armazena informações. Ele se configura como uma imagem podendo ser capturado por uma câmera digital e processado por aplicativos específicos de *smartphones* que podem ser encontrados no *Google Play* (sistema *Android*).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado, foi obtido o mapa interativo e colaborativo da UFPE com uma base de dados inicial (Figura 3), que será alimentada posteriormente pelos usurários através de compartilhamento e geocolaboração. A estes pontos, também têm-se como resultados suas descrições de forma interativa, geradas a partir da aquisição de dados discutida na seção 2.1 (Figura 4) .

Figura 3 – Mapa interativo colaborativo gerado



Fonte:*Google My Maps desktop*(2018)

Figura 4 – Interação do item com localização, comentário e foto

Fonte:*Google My Maps desktop*(2018)

No compartilhamento, a informação a ser decodificada pelo aplicativo é o link gerado pelo*Google My Maps*que guarda todas as edições feitas no mapa. Assim, o acesso do usuário a plataforma se dará através da utilização de um*smartphone*munido de um leitor de QR*Code*, que, através da internet, levará o usuário ao diretório do mapa interativo utilizando o aplicativo do*Google My Maps*.

Suas vantagens são a facilidade de compartilhamento de informações, a codificação rápida e segura, a possibilidade de armazenamento de vários tipos de informações e um marketing diferente e sem custo. Estes pontos positivos associados a praticidade e a utilização cotidiana dos*smartphones*tornam a geocolaboração muito tangível e prática ao usuário, tendo em vista que esses aparelhos possuem serviços de posicionamento com GPS de navegação.

Figura 5 –*QR Code do projeto*

Fonte:http://qr-code.appsbug.co/(2018)

Para a geocolaboração do usuário a utilização do mapa e mapeamento de novos pontos é simples e dar-se-á através de:

- Primeiramente o usuário deverá fazer o download do aplicativo do *Google My Maps* e de um leitor de QR *Code* qualquer;
- O usuário, quando acessar o mapa, através de *link* ou *QR Code* se deparará com a seguinte tela de início tendo agora total liberdade de navegar pelo mapa e colaborar segundo suas necessidades. (Figura 6).

Figura 6– Tela de início (Mapa Interativo Colaborativo da UFPE)

Fonte: *App android Google My Maps* (Mapa Interativo Colaborativo da UFPE)

Problemas foram identificados e estão relacionados com as limitações da plataforma e seu modo de utilização. O *app* de *android* do *Google My Maps* não possibilita a inserção de fotos, isso só pode ser feito através de manipulação do mapa no computador (*desktop*), o que dificulta assim a identificação do ponto de interesse para o usuário.

A geocolaboração demonstrou ser ao mesmo tempo o ponto mais forte e o ponto mais fraco na medida que a edição do mapa necessita de certo cuidado, pois o fato de ser compartilhado com edição livre pode permitir a exclusão de itens pelo usuário ou a inserção de informações sem nenhum tipo de moderação, ou seja, sem a possibilidade de validação delas. Porém por nenhum desses erros ser permanente, a correção dar-se por processo interativo de vários usuários e a função de geocolaboração será cumprida.

4 CONCLUSÃO

Portanto, mediante explorações anteriores, podemos concluir que o *Google My Maps* se apresenta como uma ferramenta sólida para a criação de mapas interativos e colaborativos, entretanto, tendo em vista as limitações discutidas

anteriormente, faz-se valer sua utilização prioritariamente para comunidades pequenas em extensão física, como no caso da comunidade acadêmica da UFPE.

A liberdade de edição e de linguagem que pode ser utilizada no cadastro dos diversos pontos de interesses, associados a facilidade e rapidez de acesso a plataforma através do QR *Code*, faz com que o mapa seja muito mais atrativo e visto a grande utilização dos produtos *Google* no cotidiano, é possível afirmar a operabilidade e funcionalidade do aplicativo *Google My Maps* na geocolaboração.

Assim, como objetivo futuro, pretende-se disponibilizar os resultados à reitoria do *Campus* Recife da UFPE para, de acordo com as necessidades da universidade e através dos meios de comunicação a quem dispõe a reitoria, possibilitar a divulgação oficial do Mapa Interativo Colaborativo da UFPE.

REFERÊNCIAS

GOOGLE MY MAPS. Disponível em: https://www.google.com/intl/pt-BR/maps/about/mymaps/ . Acesso: 6 de Junho de 2018.

INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC ASSOCIATION. **A strategic plan for the International Cartographic Association 2003-2011**. Durban: ICA, 2003. Disponível em: https://icaci.org/files/documents/reference_docs/ICA_Strategic_Plan_2003-2011.pdf Acesso em: 12 Junho 2018.

LIMA, R. da S. **MAPEAMENTO COLABORATIVO: UMA ALTERNATIVA PARA A OBTENÇÃO DE MAPAS DIGITAIS PARA APLICAÇÕES EM TRANSPORTES.** ENGEVISTA, V. 12, n. 1. p. 10-21, junho 2010 Disponível em: http://www.uff.br/engevista/seer/index.php/engevista/article/viewFile/240/142 . Acesso em: 10 Junho 2018

SOUSA, P.V. de. **MAPAS COLABORATIVOS NA INTERNET: UM ESTUDO DE ANOTAÇÕES ESPACIAIS DOS PROBLEMAS URBANOS** Disponível em <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/5963/1/Paulo%20Victor%20%20Mapas%20Colaborativos%20na%20Internet.pdf>. Acesso: 20 de Junho 2018.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

VERIFICAÇÃO DO CÓDIGO FLORESTAL ATUAL EM APP DE RIOS PERENES E INTERMITENTES NO CONTEXTO URBANO DA CIDADE DE CURITIBA

Carla Jaqueline Casaroti
Flávia Silveira
Gabriele Silveira Camara
Luís Antônio Soares e Sousa

Universidade Federal do Paraná - UFPR
Setor de Ciências da Terra, Curitiba, PR
Programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas - PPGCG
carlacasaroti@gmail.com, flasilveira.silveira@gmail.com, camaragabriele@gmail.com, lassousa21@gmail.com

RESUMO - A possibilidade de verificação de adequação de áreas de preservação permanente (APP) com o atual Código Florestal é de interesse tanto para entidades que controlam sua conformidade, como por exemplo, polícia ambiental, quanto para os proprietários de terras. No que tange o conteúdo desenvolvido neste artigo, a questão principal está em quão ajustadas as áreas de proteção permanente em rios perenes e intermitentes se encontram, com relação ao texto normativo do novo Código Florestal vigente no Brasil. A metodologia resumiu-se em três principais etapas: criação da área de preservação permanente em torno dos rios, classificação de uma imagem de alta resolução espacial - a fim de que as áreas arborizadas fossem o mais atualizadas o possível; comparação entre as áreas criadas nos passos anteriores, onde, caso as APPs não estivessem ocupadas pela classe de vegetação arbórea advinda da classificação da imagem satelital, essas áreas de não conformidade eram comparadas com usos do solo: ocupação urbana regular e irregular. Como resultados relevantes, foi constatado que menos da metade das áreas de preservação permanente são respeitadas na área de interesse, onde, 75,4% da área em não conformidade com a normativa encontra-se ocupação urbana regular.

ABSTRACT - The possibility of verifying how adequate the permanent preservation areas (PPAs) are to the current Forest Code is of interest both for entities that control their compliance, such as the environmental police in Brazil, as well as for landowners. Regarding the content developed in this article, the main question is how adjusted the permanent protection areas in perennial and intermittent rivers are, in relation to the normative text of the new Forest Code in force in Brazil. The methodology is summarized into three main stages: creation of permanent preservation area around the rivers, classification of a high spatial resolution image - so the wooded areas could be the most up to date as possible; comparison between the two areas created in the previous steps, where, in case the PPAs were not occupied by the class of wooded areas coming from the classification of the satellite image, those areas of nonconformity were compared to the land uses: regular and irregular urban occupation. As relevant results, it was found that less than half of the permanent preservation areas are respected in the area of interest, where 75.4% of the area of non-compliance with the Forest Code is regular urban occupation.

1 Introdução

De acordo com o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística realizado no ano de 2010, cerca de 84% da população brasileira vive em áreas urbanas, também segundo o IBGE, em uma estimativa realizada no ano de 2016, mais de 94 milhões de brasileiros vivem em 26 metrópoles com 1 milhão ou mais de pessoas.

Nas décadas de 50 e 60, devido ao investimento do governo na indústria e a mecanização da agricultura, grande parte da população passou a viver em grandes centros urbanos, fenômeno este, que continuou nas décadas de 70 e 80 devido a chegada de muitos migrantes nas cidades em busca de empregos e melhores condições de vida.

A chegada repentina de milhões de migrantes nos centros urbanos devido ao êxodo rural, aliado a falta de planejamento urbano, resultou em vários problemas sociais, como o aumento de ocupações irregulares, desemprego e aumento da violência.

Visto que, no século XX a área urbana era tida como simplesmente como o oposto da área rural, as áreas verdes não eram consideradas relevantes nas paisagens das cidades pois remetiam a elementos da natureza e tomavam o lugar de áreas construídas.

No contexto deste artigo, o termo *smart cities* se relaciona com as áreas verdes no que concerne o gerenciamento e boa gestão dessas áreas com vegetação que são de suma importância seja para proteção dos rios, bem como infiltração das águas de chuva e manutenção climática. Dessa forma, nos subtópicos seguintes, um pouco mais sobre essas duas vertentes importantes que fundamentam esse trabalho estão melhor explicadas.

1.1 Áreas verdes na paisagem urbana

Até século XIX, no senso comum brasileiro, a área urbana era tida como simplesmente como o oposto da área rural, as áreas verdes não eram consideradas relevantes nas paisagens das cidades pois remetiam a elementos da natureza e tomavam o lugar de áreas construídas. Segundo Gomes (2003), foi a partir do século XX que as áreas verdes começaram a surgir em maior número nas cidades brasileiras, principalmente naquelas mais enriquecidas pela cultura cafeeira.

Lima et al (1994) conceitua área verde como locais onde há o predomínio de vegetação arbórea, considerando as praças, os jardins públicos e os parques urbanos, e conceitua ainda arborização urbana, como os elementos vegetais de porte arbóreo no ambiente urbano, como árvores que acompanham o leito das vias públicas por exemplo, podendo ter caráter natural ou cultivada e estar presente tanto em espaços públicos, quanto privados.

Para Nucci (2008) as áreas verdes urbanas são locais onde 70% ou mais seja constituído de solo permeável e ainda desempenhar função estética, ecológica e de lazer.

Segundo Lombardo (1990), áreas verdes e de arborização desempenham importante função para a melhoria da qualidade do meio urbano, purificando o ar por fixação de poeiras e materiais residuais e pela reciclagem de gases através da fotossíntese, regulando a umidade e temperatura do ar, mantendo a permeabilidade, fertilidade e umidade do solo e reduzindo os níveis de ruído ocorrentes nas grandes cidades. Além disso, as áreas verdes apresentam papel no quesito estético das cidades, quebrando a monotonia da paisagem das cidades, valorizando o aspecto visual e ornamental do espaço urbano e auxiliando na interação entre as atividades humanas e o meio ambiente.

Logo, considerando as APPs como parte das áreas verdes na cena urbana, é necessário que se tenha um olhar crítico acerca da sua preservação e manutenção, a fim de assegurar a qualidade de vida da população, no que tange a melhora da qualidade do ar, do escoamento, contenção de resíduos, evitando possíveis assoreamentos e, ainda, melhorando o aspecto visual através da composição paisagística,

1.2 Smarts Cities e suas vertentes

O processo de urbanização do território brasileiro aconteceu, principalmente em grandes centros, de forma acelerada e sem grande planejamento, tendo como consequência problemas sociais, econômicos, organizacionais e, sobretudo, ambientais. Isso compromete a funcionalidade e gerenciamento de processos em diversas áreas, acarretando na dificuldade na gestão de resíduos e recursos, aumento da poluição, diminuição de áreas verdes, criação de zonas de calor, condições inadequadas no sistema de saúde, péssimas condições de mobilidade e deficiência na segurança pública, bem como outras restrições que afetam diretamente na qualidade de vida da população (TOPPETA, 2010).

Pensando nisto e diante do significativo avanço tecnológico ao longo dos anos, se faz necessário que os governos adotem uma postura diferente da já experimentada, se preocupando com o uso destas novas tecnologias em favor da sociedade com o propósito de aumentar a qualidade e o bem-estar de vida da população. Nesse sentido, estudos vêm sendo feitos no âmbito das *Smarts Cities* a fim de planejar e/ou reorganizar cidades com maior participação populacional e com controle integrado das ações do município.

Devido ao seu caráter multiplural e os recentes esforços nesta área, vê-se que ainda há um conflito sobre as definições e termos usados para se referir às Smarts Cities, não possuindo nem mesmo um consenso sobre a melhor tradução deste termo. No geral, estes termos estão relacionados à existência de estratégias de desenvolvimento econômico e social alicerçadas em alguns pilares principais: oferta de moderna infraestrutura (STEVENTON; WRIGHT, 2006); melhoria da competitividade e alinhamento à chamada economia do conhecimento, com foco na

criação de ambientes propícios ao empreendedorismo, à criatividade e à inovação (FLORIDA, 2002, 2005; KOMNINOS, 2006, 2009); e, por fim, um estilo de vida com elevada consciência social e ambientalmente sustentável (BOLUND; HUNHAMMAR, 1999 ; TZOULAS et al. , 2007).

Nesse sentido, encontra-se na literatura diversos autores que configuram a preocupação ambiental como uma das ações de transformação de uma cidade convencional em uma Smart City. Dentre eles, cita-se Caragliu (2009), Giffinger e Gudrun (2010), Dutta et al. (2011), Schaffers et al. (2011), Hernández- Muñoz et al. (2011), Chourabi (2012), Cadena et al. (2012). Em uma definição mais recente, o *European Innovation Partnership* - EIP (2013) traz que as Smart Cities são consideradas sistemas de pessoas que se utilizam e interagem a fim de proporcionar um desenvolvimento econômico-sustentável, resiliente e com um alto nível de vida.

Sendo assim, o incentivo à evolução das cidades inteligentes acaba resultando em cidades mais sustentáveis, uma vez que uma comunidade cuja organização atende ao nível de eficiência proposto, os recursos são, obrigatoriamente, melhor utilizados (Prado e Santos, 2014). Nesse âmbito, pode-se dizer que uma cidade sustentável é a materialização de uma sociedade com consciência de seu papel como agente transformador dos espaços, onde esta preocupação não se dá necessariamente pela aliança natureza-objeto, mas também por uma intensa relação entre prudência ecológica, eficiência energética e equidade socioespacial (ROMERO, 2007).

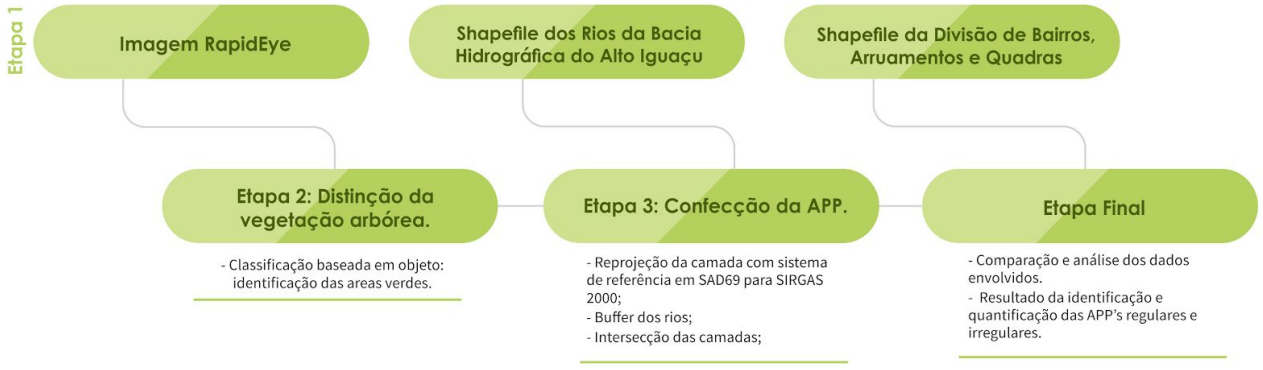
Toda essa problemática exige atenção e representam grandes desafios aos governos, no que tange à expansão sem que haja esgotamento de recursos naturais e se mantenha a qualidade de vida da população. Esta realidade passa pela regularização das áreas de preservação permanente, onde tendo-se tais áreas em consonância com a legislação, garante-se que os rios tenham menos riscos de secar, além de envolver questão de arborização e urbanismo, tornando a cidade mais verde e, consequentemente, com melhor qualidade do ar e da água. Portanto, se faz necessário que se tenha estudos que mostram a atuação conjuntura de uma certa região e traga novas metodologias que sirvam de base para propor soluções efetivas para um crescimento urbano sustentável e que garanta a qualidade de vida populacional.

2 METODOLOGIA

Com o intuito de facilitar a gestão das áreas verdes contidas em áreas de preservação permanente, a metodologia desenvolvida se baseou no atual código florestal brasileiro (Lei Federal 12651/2012), em conjunto com técnicas de processamento de imagens e banco de dados, criando assim um passo a passo para verificação da conformidade dessas áreas com a normativa no contexto urbano.

Em resumo, este trabalho se deu em 4 etapas diferentes, iniciando pela aquisição dos dados necessários, passando pelo processamento dos mesmos até se obter os resultados e análises finais. A figura abaixo detalhada todas as etapas anteriormente citadas em relação à metodologia utilizada neste trabalho.

Figura 1 – Organograma da metodologia utilizada.



Fonte: Os autores (2018)

2.1 Material

O material utilizado no desenvolvimento da metodologia foi:

- Mosaico de imagens de alta resolução espacial do ano de 2015 do satélite RapidEye, contendo 5 bandas de informação (*Red, Red Edge, Green, Blue* e *Near Infrared*) e todas com 5 metros de resolução espacial, no sistema de Referência SIRGAS 2000;
- Camada *shapefile* do Instituto de Águas do Paraná (IAP) dos Rios da Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu – Escala 1:10.000, no sistema de referência SIRGAS 2000.
- Camadas *shapefile* do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC) da Divisa de Bairros, Arruamento e Quadras, no sistema de referência SAD 69.
- Programa eCognition, na classificação baseada em objeto da imagem satelital;
- *Software* QGIS, para processamentos como reprojeção da camada com sistema de referência em SAD69 para SIRGAS 2000, buffer dos rios, intersecção das camadas e comparação e análise dos dados envolvidos.

2.2 Lei Federal 12651/2012

A atualização do Código Florestal brasileiro causou controvérsias e grandes discussões entre diferentes setores da sociedade, principalmente em relação aos ambientalistas e aos envolvidos no agronegócio. De qualquer forma, para fornecer informações sobre as áreas que estão envolvidas nesse tema, estejam elas dentro ou fora dos padrões da lei, é preciso desenvolver e utilizar-se de técnicas que forneçam valores, principalmente em área, qual é a situação dessas regiões.

Em relação a descrição das áreas e como elas devem ser respeitadas, a Lei Federal 12651 detalha em sua normativa quais são os tipos corpos d'água que fazem parte dessas áreas, e como elas devem ser criadas a partir de especificações e considerações. Assim, para verificar e dar informações sobre os rios perenes e intermitentes no contexto urbano, a normativa foi consultada. Considerando áreas de proteção permanente de rios perenes e intermitentes, a partir da calha do seu leito regular deve-se respeitar a área de:

- ➢ 30 metros para os rios com larguras menores de 10 metros;
- ➢ 50 metros para os rios de 10 a 50 metros de largura;
- ➢ 100 metros para os rios de 50 a 200 metros de largura;
- ➢ 200 metros para os rios de 200 a 600 metros de largura;
- ➢ 500 metros para os rios com larguras maiores que 600 metros.

Considerando que a camada de hidrografia disponibilizada pelo IAP é o eixo dos rios, e não há informações espaciais sobre a largura de cada um, logo optou-se por utilizar a distância de 30 metros para determinação da área de proteção permanente, considerando então que todos os rios têm largura igual ou menor que 10 metros. Assim, por meio do *software* QGIS, pelo comando *buffer*, foi criada a APP dos rios do município de Curitiba.

Com as áreas de APP determinadas, prosseguiu-se com a comparação destas, com a classe de área arborizada resultante da classificação da imagem satelital de alta resolução espacial.

2.3 Classificação da área arborizada

Para classificação da área arborizada que serviu de informação de entrada na verificação das APP, utilizou-se a imagem RapidEye, com uma abordagem de classificação baseada em objeto. Essa decisão foi tomada baseada no conceito de que, como as imagens de alta resolução espacial, ao mesmo tempo que melhoram a distinção dos alvos de forma mais detalhada, também trazem como consequência o aumento tanto na quantidade quanto na variabilidade dos valores entre pixels vizinho em uma mesma cobertura do solo ou classe de interesse. Dessa forma, as técnicas de classificação baseada em pixel convencionais não atendem de forma acurada este tipo de dados no processamento, uma vez que, leva em conta apenas informações espectrais.

Como consequência, houve a necessidade de introdução de novos conceitos no reconhecimento desses padrões, como por exemplo, o reconhecimento visual humano na interpretação das imagens usando computadores, que é baseado no conjunto de pixels para definir um alvo, ou seja, no objeto. Esse conceito teve um marco muito importante no mês de julho do ano de 2006, com a 1° Conferência Internacional de OBIA, realizada em Salzburgo – Áustria. Do que, a partir de um processo rigoroso de revisão dos artigos enviados à conferência, originou-se o livro *OBIA* (*Object Based Image Analysis*) – *Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*, editado pelos pesquisadores renomados no assunto: Thomas Blaschke, Stefan Lang e Geoffrey J. Hay (BLASCHKE, LANG E HAY 2006).

A primeira etapa do processamento de classificação de imagens baseada em objeto é o da segmentação que tem por objetivo a separação ou particionamento de uma imagem, a partir de atributos previamente definidos, em regiões de interesses (segmentos); o que ocorre tanto na segmentação por descontinuidade, quanto por similaridade (BAATZ E SCHÄPE 2000, GONZALES E WOODS 2000). A hierarquia na segmentação multirresolução parte do nível do pixel, agrupando-se ou fusionando-se em objetos maiores, dependendo do critério de heterogeneidade previamente especificado e, conforme Baatz e Schape (2000), o processo tem fim quando o menor crescimento possível de um par de objetos excederem certo limiar, o parâmetro de escala. Nesse contexto, os parâmetros de segmentação foram escolhidos de acordo com a cena, sendo eles: peso do parâmetro de heterogeneidade espacial, parâmetro de compacidade e parâmetro de escala para dois níveis de segmentação multirresolução.

No caso da imagem de estudo, os parâmetros utilizados para segmentação foram 0,3 como peso espacial, 0,4 como parâmetro de compacidade e 80 com parâmetro de escala. Um outro recurso utilizado no programa *eCognition* foi o de mudar os pesos das bandas espectrais na segmentação multirresolução, onde foi dado peso 2 para as bandas do *Blue, Near Infrared* e *Red*, e peso 1 para as demais (*Green, Red Edge*). A camada de segmentação executada foi satisfatória, e não só separou as áreas grandes com vegetação tanto arbórea quanto gramínea, como subdividiu a vegetação urbana das outras classes em segmentos bem pequenos, que são importantes, pois existem vários rios urbanos na área de estudo.

A segunda etapa é o da classificação desses objetos, onde, os métodos de classificação de imagens podem ser subdivididos em paramétricos e não paramétricos – no que diz respeito ao uso ou não de parâmetros populacionais para classificar os pixels ou objetos (SCHOWENGERDT, 1983); ser supervisionada ou não-supervisionada - no que concerne o uso ou não do conhecimento do analista na etapa de coleta das amostras de classes de interesse e, que pode seguir tanto uma classificação por árvore de decisão em estágio único ou em estágios múltiplos (SAFAVIAN e LANDGREBE, 1991; NAVULUR, 2008). Sendo assim, para a classificação dos objetos das duas cenas segmentadas, foi utilizada uma rede hierárquica de classes com dois estágios (subdivisões).

A fim de se obter a classe de interesse "área arborizada", dividiu-se a imagem em uma rede hierárquica, onde primeiramente se separavam os segmentos em "água" e "não-água", depois utilizando a superclasse "não-água" as subclasses "vegetação" e "outros" foram classificadas. Na classe "vegetação" se encontravam todos dos tipos de vegetação, fossem elas arbóreas, gramíneas ou áreas de cultivo, que existem no entorno do reservatório do Passauna, por exemplo. A classe outros, continha tanto áreas impermeabilizadas por casas, indústrias, vias asfaltadas, quanto áreas que não eram cobertas nem por vegetação (áreas agricultáveis, por exemplo) nem por qualquer outro uso, mesmo em área urbana. Como o objetivo era o de evidenciar as APP de rio, a partir da superclasse "vegetação", a vegetação arbórea foi separada, subdividindo-se então em: "vegetação arbórea" - contendo árvores de médio e alto porte, e "vegetação não-arbórea" - onde se encontravam gramas, áreas de cultivo e gramíneas.

Como método de classificação dos objetos, foi utilizado o método do vizinho mais próximo, que consiste em utilizar as amostras coletadas para cada uma das diferentes classes para atribuir valores de pertinência (0 a 1) advindos da lógica Fuzzy, com base nas características escolhidas para definir essas classes. As características (descritores) utilizadas em cada passo da rede hierárquica foram:

- "Água e Não-Água": brilho, média das bandas do *Near Infrared, Red, Red Edge, Green* e *Blue*, desvio padrão das bandas *Blue, Green* e *Near Infrared,* e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada calculado com a banda *Red;*
- "Vegetação" e "Outros": brilho, média das bandas do *Red, Green* e *Blue*, desvio padrão das bandas *Blue, Green* e *Near Infrared,* máxima diferença, assimetria, Índice de Água por Diferença Normalizada, e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada calculado com as bandas *Red* e *Red Edge;*
- "Vegetação arbórea" e "Vegetação não-arbórea": brilho, média das bandas do *Near Infrared, Red,* desvio padrão das bandas *Red* e *Near Infrared,* e máxima diferença.

Com as classes devidamente separadas, o passo seguinte desta metodologia foi de comparar as áreas de preservação permanente, tanto com a classe de interesse "vegetação arbórea" quanto com as áreas de ocupação urbana regular e irregular.

2.4 Verificação das áreas das APPs

A verificação da conformidade das áreas de preservação permanente no meio urbano foi feita através das seguintes comparações entre os dados de entrada:

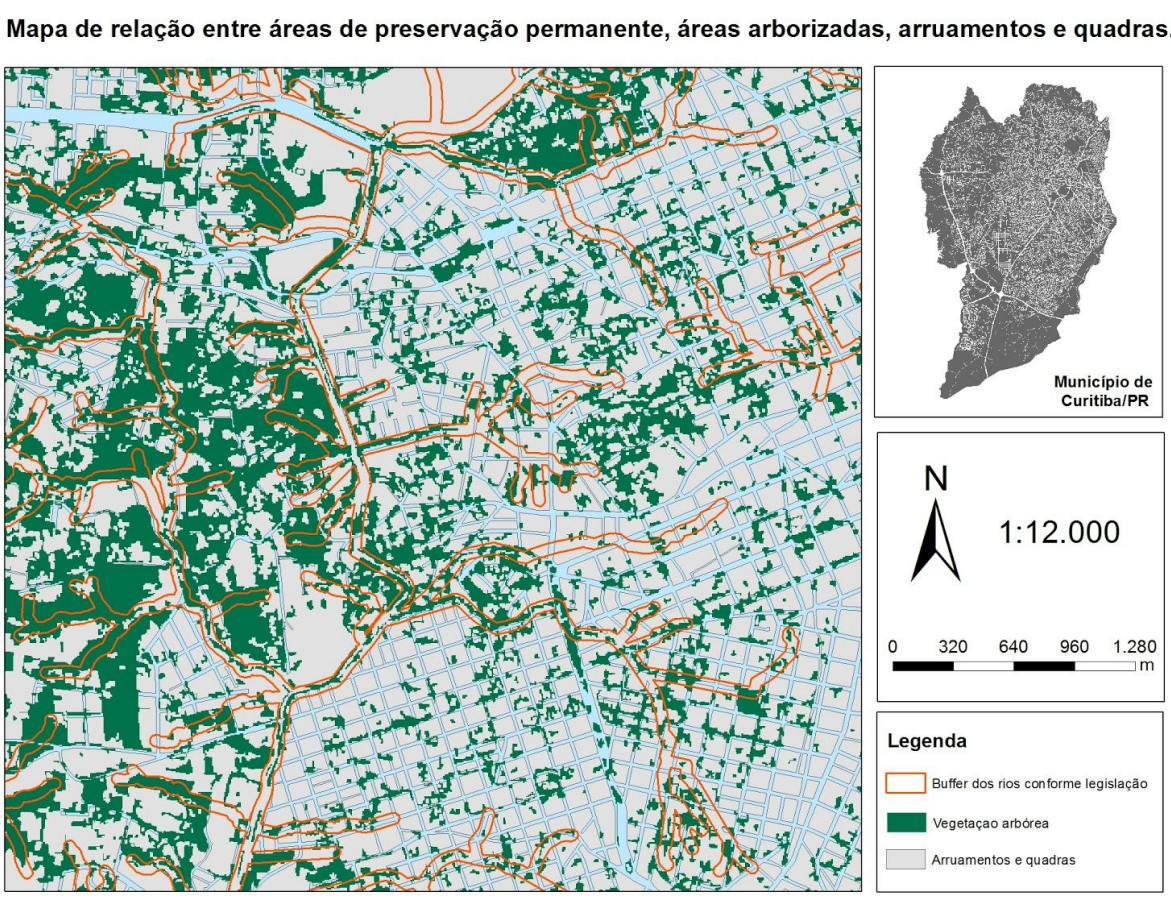
- Intersecção das APPs criadas pelo *buffer* na primeira etapa com a classe de interesse vegetação arbórea obtida na segunda etapa;
- Diferença simétrica entre o resultado do processamento anterior, que são as áreas de acordo com a normativa, com as APP geradas pelo *buffer* da primeira etapa, para que se obtivessem as áreas em não conformidade com o código;
- Das áreas em não conformidade com a lei foram feitas duas comparações através de interseção das camadas. A primeira para verificação foi em relação à ocupação urbana regular existente nas APPs e a segunda, com as áreas de ocupação irregular.

Os resultados e as quantidades em metros quadrados de cada etapa, serão apresentados na próxima sessão.

3 Resultados e Discussões

Os resultados da primeira e da segunda etapa são apresentados no mapa da figura 2, contendo as áreas de preservação permanente, a área arborizada e as ruas e quadras. Por questões de visualização das classes e relação de escala, o mapa representa um zoom na área central da cidade.

Figura 2 - Mapa com os dados utilizados.



Para avaliação dos resultados da classificação da imagem, tem-se que a acurácia global foi de 95% e o coeficiente Kappa de 0,93, que são considerados valores muito confiáveis, considerando o máximo que esses valores chegam são de 100% e 1, respectivamente. No quadro a seguir, encontra-se também a matriz de confusão, onde das 4 classes finais, 30 amostras de verificação foram coletadas para vegetação arbórea, vegetação não-arbórea e outros, e para a classe água somente 10 amostras foram coletadas considerando a proporção dessa classes e as outras.

Quadro 1 - Matriz de confusão.

Classe	(1)	(2)	(3)	(4)	Soma
Outros (1)	29	0	2	1	32
Vegetação arbórea (2)	0	29	0	0	29
Veg. não-arbórea (3)	1	1	28	0	30
Água (4)	0	0	0	9	9
Soma	30	30	30	10	

Como se pode observar no quadro 1, apenas as classes vegetação não-arbórea e outros tiveram objetos classificados erroneamente. O que pode explicar a classificação errada dos objetos de vegetação não-arbórea com outros é o fato de que, em alguns segmentos havia mistura de classes de interesse, como por exemplo, em área urbana onde existem muitas casas com vegetação de gramíneas e jardins, que podem ter sido agrupados em conjunto em alguns objetos advindos da etapa da segmentação. Na classe outros, esse erro de classificação pode ter se dado pelo mesmo motivo da classe comentada anteriormente.

Além disso, foram feitas outras análises com a perspectiva de quantificar, em metros quadrados, as áreas consideradas APPs que estavam ou não em consonância com a legislação vigente conforme mostra o quadro 2.

Quadro 2 - Análise quantitativa em m² das APP em conformidade ou não.

Com relação à área de preservação permanente total		
	Quantidade em área (m²)	**Quantidade em % da APP Total**
APP em conformidade	33194508,3612	42,24612
APP em não conformidade	45379594,3316	57,75388
Total	78574102,6712	100
Com relação à área de não conformidade com a lei		
	Quantidade em área (m²)	**Quantidade em % da APP em não conformidade**
Ocupação urbana regular	34231498,4756	75,43368
Ocupação urbana irregular	2777836,9781	6,121335
Ocupação não identificada	8370258,878	18,44498
Total	45379594,3316	100

Pode-se perceber pelo quadro acima que o município de Curitiba possui a maioria de áreas que não estão em conformidade com a lei, chegando à um total de 57,8% aproximadamente. Logo, esta área que deveria ser destinada à implantação de APP vem sendo danificadas em face do crescimento urbano, seja ele planejado ou não. Diante desta realidade e da intensa ação antrópica no meio, vê-se que aproximadamente 81,5% desta área são ocupadas por construções, no qual 75,5% destas são regulares e 6,1% irregulares, aproximadamente. Vale ressaltar que o restante da

área de não conformidade com a lei, ou seja, cerca de 18,4%, não puderam ser identificados devido à variedade de possíveis destinações do meio e a falta de um banco de dados mais robusto para compor a análise.

4 Conclusões

Com base nos resultados obtidos e toda a discussão desenvolvida neste artigo, foi possível criar uma metodologia simples e eficaz na gestão de áreas verdes no contexto de adequação com a normativa estudada, o que serve como indicativo de ferramenta para cidades que querem seguir o padrão de *smart cities.*

Outro ponto interessante, é que, o uso de imagens satelitais possibilita a criação de dados mais atualizados para as análises, possibilitando também uma análise temporal, não só no que concerne às áreas verdes advindas de classificações, bem como a base cadastral de ocupação e uso do solo das cidades.

No tange o assunto sustentabilidade e *smart cities*, é interessante ressaltar que por mais que a cidade de Curitiba seja considerada a capital verde do país, ela está longe do ideal quando se baseia na Lei Federal 12651/2012; onde apenas 42% da área de preservação permanente é respeitada.

Considerando que da área em não conformidade com a lei, mais de 75% dela é ocupada por lotes e vias regulares, questionasse até onde o poder pûblico e as entidades de controle não foram em conformidade com a lei e permitiram esse tipo de expansão, mesmo sabendo que ela era ilegal.

Para trabalhos futuros, indica-se o uso de imagens satelitais com melhor resolução espacial, com pixel menor que um metro, por exemplo; bem como, o uso de uma imagem do ano que a análise esteja sendo feita.

Referências

BAATZ, M. & SCHÄPE, A. **Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multiscale image segmentation.** Angewandte Geographische Informations verarbeitung, p.12-23, 2000.

BATISTA, M. H. **Classificação Hierárquica Orientada a Objeto em Imagens de Alta Resolução Espacial Empregando Atributos Espaciais e Espectrais.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). UFGRS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Porto Alegre, maio de 2006.

BLASCHKE, T, LANG, S, LORUP, E, STROBL, J & ZEIL, P. **Objected oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications.** Environmental information for planning, v. 2. Metropilis Verlag. 2000.

BLASCHKE, T. & LANG, S. 2006. **Object-oriented Image Analysis for Automated Information Extraction – A Synthesis.** In: Measuring the Earth II ASPRS Fall Conference 6-10 November 2006, San Antonio, Texas.

BLASCHKE, T. & HAY, G. J. 2001. **Object-oriented Image Analysis and Scale-space: theory and methods for modeling and evaluating multiscale landscape structures.** Disponível em: http://www.defiens.com. Acessado em fevereiro de 2014.

BOLUND, P.; HUNHAMMAR, S. **Ecosystem services in urban areas.** Ecological Economics 29: 293-301, 1999.

CADENA, A., DOBBS, R., & REMES, J. **The growing economic power of cities. Journal of International Affairs**, 65(2), 1-17, 2012.

CARAGLIU, A., DELBO, C.; NIJKAMP, P. **Smart Cities in Europe.** In 3rd Central European conference in regional Science – CERS 2009, 7–9 October Košice, Slovak Republic. 2009.

CHOURABI, H., NAM, T., WALKER, S., GIL-GARCIA, J. R., MELLOULI, S., NAHON, K., PARDO, T., & SCHOLL, H. J. **Understanding smart cities: an integrative framework.** In Anais do XLV Hawaii International Conference on System Sciences (p. 2289-2297). Albany: Center for Technology in Government, 2012.

DUTTA, S. **The Global Innovation Index 2011: accelerating growth and development.** Fontainebleau: INSEAD,2011.

FLORIDA, R. **The Rise of the Creative Class and How It's Transforming Work: Leisure, Community and Everyday Life, Basic Books**. New York, 2002.

FLORIDA, R. **The Flight of the Creative Class: The New Global Competition for Talent.** Harper Business, New York, 2005.

GIFFINGER, R., FERTNER, C., KRAMAR, H., KALASEK, R., PICHLER-MILANOVIC´, N., MEIJERS, E. **Smart Cities: Ranking of European medium-sized cities.** Vienna, Austria: Centre of Regional Science (SRF), Vienna University of Technology. 2007. Disponivel em: <http://www.smartcities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf>. Acessado em: Agosto de 2014.

GONZALEZ, R. C. & WOODS, R. **Processamento de Imagens Digitais.** Editora Edgard Blucher, São Paulo, 2000.

HERNÁNDEZ-MUÑOZ, J. M., VERCHER, J. B., MUÑOZ, L., GALACHE, J. A., PRESSER, M., HERNÁNDEZ GÓMEZ, L. A., & PETTERSSON, J. **Smart cities at the forefront of the future internet.** Computer Science, 6656, 447-462, 2011.

KOMNINOS N. **"The Architecture of Intelligent Cities"**. Conference Proceedings Intelligent Environments 06, Institution of Engineering and Technology, pp. 53-61, 2006.

KOMNINOS N. **"Intelligent cities: towards interactive and global innovation environments"**, International Journal of Innovation and Regional Development, vol. 1, n° 4, pp. 337–355, 2009. DOI : 10.1504/IJIRD.2009.022726.

LOMBARDO, M. A. **Vegetação e clima.** In: Encontro Nacional sobre Arborização Urbana, 3, 1990, Curitiba. Impresso na Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, p.1-13, 1990.

LIMA, A. M. L. P.; CAVALHEIRO, F.; NUCCI, J.C.; SOUSA, M.A.L.B.; FILHO, N. DEL PICCHIA, P.C.D. **Problemas de utilização na conceituação de termos como espaços livres, áreas verdes e correlatos.** In: CONGRESSO DE ARBORIZAÇÃO URBANA. 2, 1994, São Luís, MA Anais... São Luís: SBAU, 1994. p. 539-553.

NAVULUR, K. **Multispectral Image Analysis Using the Object-oriented Paradigm.** CRC Press - Taylor & Francis Group. 2008.

NUCCI, T. C. **Qualidade Ambiental e Adensamento Urbano: um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicada ao distrito de Santa Cecília (MSP).** Curitiba: o autor, 2.ed. 2008. 150 p.

PRADO, K. C. D; SANTOS, P. E. **Smart Cities: Conceito, iniciativas e o cenário carioca.** Trabalho de Conclusão de Curso. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2014.

ROMERO, M. A. B. **Frentes do Urbano para a Construção de Indicadores de Sustentabilidade Intra Urbana.** In Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo da FAU-UnB. Ano 6, n. 4 (novembro/2007). – Brasília: FAU UnB, 2007.

SAFAVIAN, S. R. & LANDGREBE, D. **A Survey of Decision Tree Methodology.** IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics. Volume 21, número 3. 1991.

SCHAFFERS, H., KOMNINOS, N., PALLOT, M., TROUSSE, B., NILSSON, M., & OLIVEIRA, A. **Smart cities and the future internet: towards cooperation frameworks for open innovation.** Computer Science, 6656, 431-446, 2011.

SCHOWENGERDT, R. A. **Techniques for image processing and classification in remote sensing**. Academic Press, Inc., Florida. 1983.

STEVENTON, A.; WRIGHT, S. **"Intelligent spaces: The application of pervasive ICT"**. London, Springer, 2008.

TOPPETA, D. **The Smart City vision: how innovation and ICT can build smart, "liveable", sustainable cities.** 2010. Disponivel em: < http://inta-aivn.org/images/cc/Urbanism/background%20documents/Toppeta_Report_005_2010.pdf>. Acessado em: Agosto de 2018.

TZOULAS, K. et al. **Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: a literature review.** Landscape and Urban Planning 81: 167-178, 2007.

VETORIZAÇÃO DE COBERTURA TERRESTRE NO QGIS

LEANDRO LUIZ SILVA DE FRANÇA [1]
THIAGO ARRUDA SILVA [1]
ANA CLÁUDIA BEZERRA DE ALBUQUERQUE BORBOREMA DE ANDRADE [1]
LÍGIA ALBUQUERQUE DE ALCÂNTARA [2]

[1] Diretoria de Serviço Geográfico - DSG
3º Centro de Geoinformação – 3º CGEO, Olinda, PE
{franca.leandro, arruda.thiago, anaborborema.albuquerque}@eb.mil.br

[2] Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
ligia.alcantara@yahoo.com.br

RESUMO – Os elementos de característica predominante sobre o solo de uma determinada região determinam a sua cobertura terrestre. Embora a cobertura terrestre seja demasiadamente abordada como uma grade regular (formato matricial) pela comunidade científica, ela também pode ser modelada através de dados vetoriais do tipo polígono. Este trabalho, portanto, apresenta uma metodologia para geração dos polígonos que compõe a cobertura terrestre fazendo uma análise dos processos intermediários aplicados na vetorização, estruturação, validação topológica e controle de qualidade dos resultados. A área de estudo corresponde à carta topográfica na escala 1:25.000 que recobre grande parte do município de Recife-PE, cujo Mapa Índice é 1372-1-NO. Na análise dos resultados, verificou-se que o processo de estruturação dos dados vetorizados garante a otimização da produção cartográfica com redução de vértices desnecessários e eliminação de erros na construção das geometrias. A validação, por sua vez, permitiu identificar e corrigir inconsistências topológicas, chegando-se a completa conformidade dos dados e, consequentemente, evitando-se problemas de sobreposição ou lacunas entre os polígonos gerados.

ABSTRACT – The elements with predominant characteristic on the soil of a particular region determine the land cover. Although the land cover is too often approached as a regular grid (raster format) by the scientific community, it can also be modeled through polygon-type vector data. This work, therefore, presents a methodology for the generation of the polygons that compose the land cover making an analysis of the intermediate processes applied in the vectorization, structuring, topological validation and quality control of the results. The study area corresponds to the topographic chart in scale 1:25.000 that covers much of the Brazilian municipality of Recife-PE, whose index map is 1372-1-NO. In the analysis of the results, it was found that the process of structuring of the vectorized data ensures the optimization of the cartographic production with the reduction of unnecessary vertices and the elimination of errors in the construction of the geometries. The validation, in turn, allowed the identification and correction of topological inconsistencies, with the complete compliance of the data and, consequently, avoiding problems of overlap or gaps between the generated polygons.

1 INTRODUÇÃO

A cobertura terrestre consiste dos elementos (bio)físicos que são observados sobre uma determinada área da superfície da Terra. De forma mais restrita, essa cobertura compreende os diversos tipos de vegetação, corpos d'água e áreas edificadas. As áreas onde a superfície consiste de afloramento rochoso ou solo exposto descrevem o solo em si. Entretanto, na prática, a comunidade científica considera todas essas classes pelo termo genérico de cobertura terrestre (DI GREGÓRIO & JANSEN, 2000).

A cobertura terrestre pode ser obtida a partir da classificação de dados de sensoriamento remoto por métodos estatísticos (NICLÒS et al., 2010; MACEDO-CRUZ et al., 2010; HAQUE & BASAK, 2017) gerando como produto uma imagem matricial onde o valor de cada célula (ou pixel) representa uma das classes.

O formato vetorial também pode ser empregado na modelagem da cobertura terrestre, através de feições do tipo polígono, sendo os dados coletados através da restituição fotogramétrica (REDWEIK, 2007) ou vetorização sobre ortoimagens (DE OLIVEIRA et al., 2014). As vantagens da modelagem vetorial frente a matricial estão na possibilidade de armazenamento de vários atributos, estudo das propriedades geométricas, principalmente em consultas espaciais, além da economia em espaço de armazenamento desses dados em disco.

Ao se trabalhar com dados vetoriais, quando se deseja realizar análises mais precisas, é imprescindível a correta e adequada construção das geometrias das feições, caso contrário, qualquer inconsistência pode comprometer os seus resultados (PAZ & SAMPAIO, 2016; FRANÇA, 2018).

Algumas inconsistências na construção das geometrias podem ser corrigidas automaticamente através do processo denominado estruturação de dados vetoriais (PASSOS et al., 2017). Nesse processo, as geometrias são submetidas a algoritmos que ajustam as coordenadas dentro de uma tolerância de aderência de forma a garantir que coordenadas compartilhadas realmente tenham a mesma localização. Este processo é um pré-requisito para a inspeção das propriedades topológicas entre as feições.

Na estruturação de feições lineares, algoritmos de generalização, como, por exemplo, o de Douglas Peucker (PASSOS et al., 2017), também são aplicados com o objetivo de eliminar vértices desnecessários, considerando os parâmetros ideais para que as modificações nas geometrias não interfiram na acurácia posicional imposta à escala de mapeamento. Esse processo garante que feições sejam representadas eficientemente com o mínimo de pontos necessários.

A validação topológica, processo que sucede a estruturação, é o termo dado à inspeção da conformidade dos dados vetoriais de acordo com as regras topológicas criadas para modelar o mundo real (FRANÇA, 2018). Ou seja, a validação topológica tem como objetivo checar relações de conectividade, adjacência, pertinência e proximidade entre feições e classes de feições (IBGE, 2017; FRANÇA, 2018).

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo apresentar uma metodologia de vetorização, estruturação e validação das áreas que compõe a cobertura terrestre de uma carta topográfica utilizando o software QGIS 2.18, o *plugin* DSG Tools 3.1.2 e ferramentas construídas em Python para estruturação e validação dos dados.

2 METODOLOGIA

A área de trabalho corresponde à carta topográfica na escala 1:25.000 de Mapa Índice 1372-1-NO e índice de nomenclatura SC-25-V-A-III-1-NO, a qual cobre grande parte do município de Recife - PE e parcelas dos municípios de Jaboatão dos Guararapes, Camaragibe, Olinda e São Lourenço da Mata.

A Figura 1 apresenta a moldura, termo dado ao polígono criado no banco de dados geográfico para delimitar a área do MI, e, consequentemente, definir a área de trabalho (ou mapeamento).

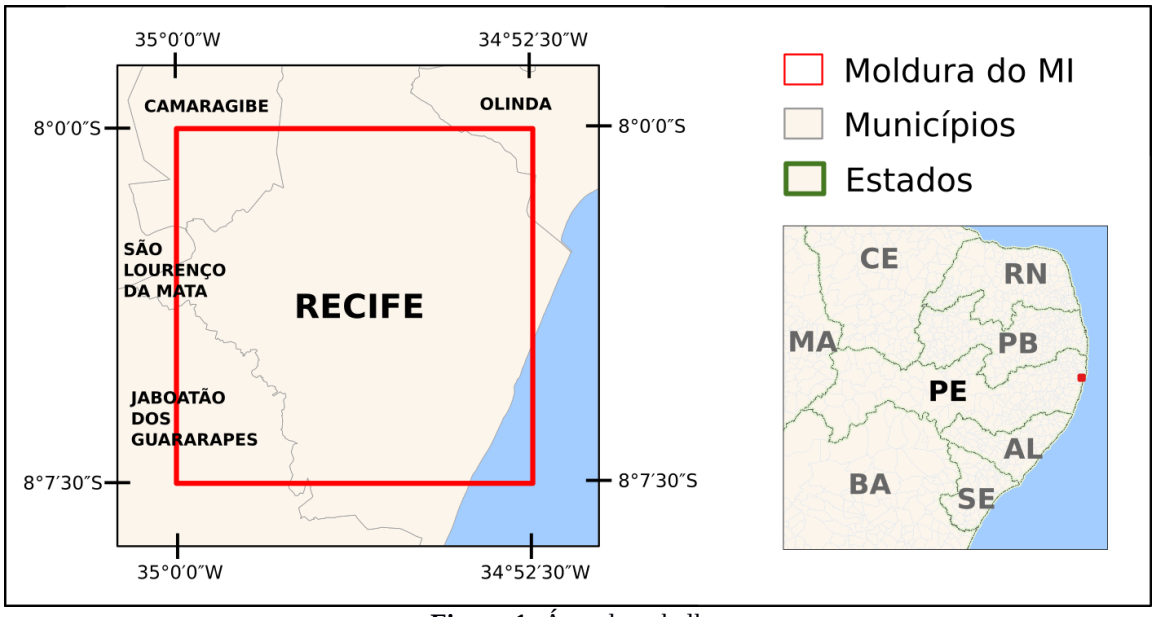


Figura 1: Área de trabalho.

Foi utilizado o *open source software* QGIS 2.18 em todos os processos apresentados neste trabalho, além do Plugin DSG Tools, versão 3.1.2 (DSG, 2018), e ferramentas (*scripts*) desenvolvidas em Python e disponibilizadas no seguinte repositório do Github: www.github.com/LEOXINGU/scripts.

A cobertura terrestre da carta topográfica foi gerada tendo como insumo as ortoimagens do Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D) resultantes do recobrimento aerofotogramétrico e perfilamento a laser do território pernambucano com resolução espacial de 50 cm (CIRILO et al, 2014; PERNAMBUCO, 2016). Nas áreas encobertas esses dados foram complementados com imagens de satélite dos serviços online Bing e Google disponibilizadas pelo *plugin* QuickMapServices do QGIS (Figura 2).

Figura 2: Ortoimagem da área de trabalho
Fonte: QuickMapService (Bing)

A Figura 3 apresenta o fluxograma dos processos e recursos para geração dos polígonos que compõem a cobertura terrestre. Seguindo uma sequência, os processos foram divididos em vetorização, estruturação, validação das linhas vetorizadas, geração de áreas e, por fim, validação da cobertura terrestre.

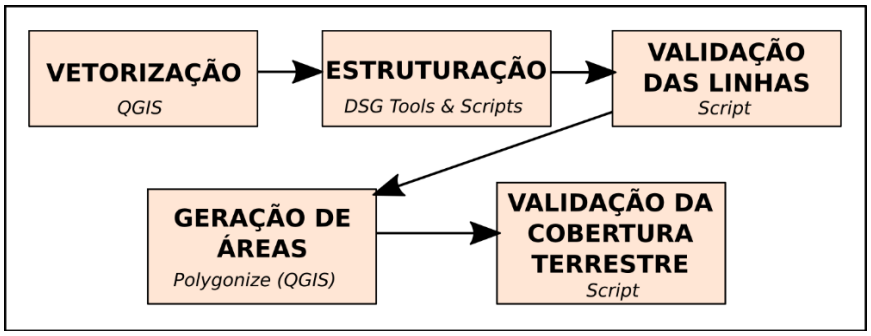


Figura 3: Fluxograma.

2.1 Vetorização das linhas de delimitação das classes da cobertura terrestre

A vetorização das linhas foi realizada pelo processo *heads-up* (LONGLEY et al., 2005), onde, por interpretação visual da ortoimagem, o operador delimita os diferentes tipos de cobertura terrestre.

A escala de trabalho (também chamada de escala de aquisição/vetorização) corresponde à escala onde o operador visualiza e trabalha com os dados na tela do software de SIG. Ao se trabalhar com uma escala de trabalho maior que a definida, o operador passa a vetorizar detalhes desnecessários para a escala de mapeamento, perdendo-se tempo e,

consequentemente, sendo pouco eficiente. Já quando o operador utiliza uma escala de trabalho menor, a vetorização tende a acarretar problemas de acurácia posicional e completude. Para a escala de mapeamento 1:25.000, a escala de trabalho adotada foi 1:2.000 (FRANÇA & FERREIRA DA SILVA, 2018). A vetorização nessa escala atende a acurácia posicional planimétrica exigida para a escala 1:25.000.

Outro fator importante na vetorização é o conhecimento dos valores de área mínima e largura mínima para cada classe da cobertura terrestre. Quando o operador desconsidera feições que possuem área ou largura inferior à adotada para uma determinada escala de mapeamento, ele está aplicando o princípio da generalização, um procedimento que requer treinamento e experiência.

A Tabela 1 apresenta as classes adotadas para a classificação da cobertura terrestre com as respectivas medidas de área mínima e largura mínima.

Tabela 1: Área mínima e largura mínima para as classes da cobertura terrestre.

Classe	*Área mínima (m²)*	*Largura Mínima (m)*
Área edificada	15.625	50
Campo	15.625	50
Corpo d'água	2.500	20
Floresta/Mata	15.625	50
Plantação	15.625	50
Rocha	15.625	50
Terreno Exposto/Areia	15.625	50
Vegetação Mista	15.625	50

Vale salientar que, por motivos de simplificação, as classes da cobertura terrestre adotadas neste trabalho não seguem a modelagem da ET-EDGV, reduzindo-se, assim, a quantidade total de classes para a área de estudo.

2.2 Estruturação dos dados vetorizados

A estruturação das linhas vetorizadas tem como objetivo corrigir problemas na construção das geometrias, além de simplificá-las, eliminando vértices desnecessários e forçando que as linhas próximas à moldura toquem a sua borda.

Para a estruturação das linhas foram utilizadas as ferramentas do *plugin* DSG Tools, além das ferramentas (scripts) criadas por este autor na linguagem Python para QGIS.

A Tabela 2 descreve a ordem dos processos adotados para a estruturação dos dados com as ferramentas empregadas.

Tabela 2: Processos de estruturação das linhas.

Ordem	*Ferramenta*	*Origem*	*Parâmetros*
1	Desagregar geometrias	DSG Tools	-
2	Remover feições duplicadas	DSG Tools	-
3	Remover geometrias vazias	DSG Tools	-
4	Simplificar geometrias	DSG Tools	0,5 m
5	Colar na grade	DSG Tools	0,5 m
6	Fechar anel linear	Scripts	20 m
7	Mesclar na direção	Scripts	30°
8	Limpeza Topológica	DSG Tools	0 m
9	Remover linhas pequenas	DSG Tools	5 m
10	Colar linhas na moldura	DSG Tools	0,5 m

O parâmetro de distância utilizado para as ferramentas "Simplificar geometrias", "Colar na grade" e "Colar na moldura" foi de 0,5 metros (6,67% de 7,5 metros correspondente ao Erro Máximo do PEC-PCD classe "A" para a escala 1:25.000) (DSG, 2016). Todas as linhas com tamanho menor que 5 metros foram eliminadas com a ferramenta "Remover linhas pequenas".

As ferramentas do DSG Tools capazes de resolver problemas geométricos têm seu manual de utilização disponível em: https://github.com/dsgoficial/DsgTools/wiki/Manual_DSG_Tools, já os *scripts* "Fechar anel linear" e "Mesclar na direção" foram desenvolvidas para garantir maior eficiência na etapa subsequente de validação topológica.

A ferramenta "Fechar anel linear", sendo um anel linear a denominação de uma *Linestring* onde o primeiro vértice é igual ao último vértice (OGC, 2011), realiza, dentro de uma dada tolerância, o fechamento desses vértices no seu ponto médio (Figura 4). Neste trabalho, a tolerância adotada para esse processo foi de 20 metros.

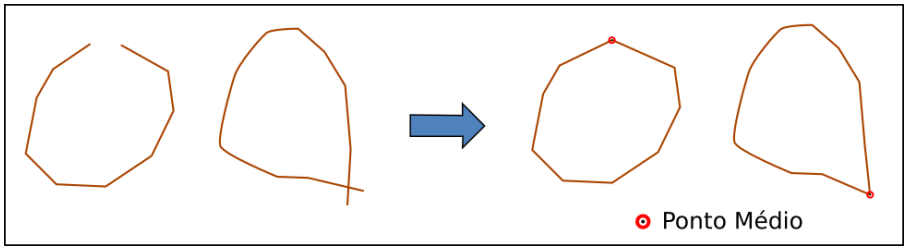


Figura 4: Resultados da ferramenta "Fechar anel linear".

A ferramenta "Mesclar na direção" possui algoritmo que mescla linhas segmentadas que se tocam e tem direção aproximada (dentro de uma dada tolerância) nos seus respectivos pontos inicial ou final. A Figura 5 apresenta um exemplo de resultado utilizando essa ferramenta.

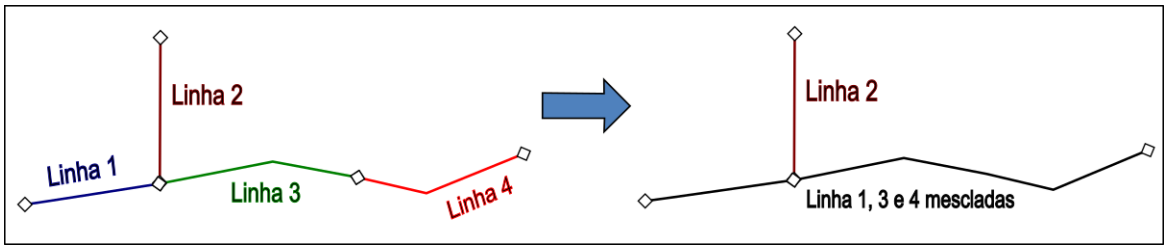


Figura 5: Resultados da ferramenta "Mesclar na direção".

2.3 Validação das linhas

A regra geral para validação topológica das linhas vetorizadas é dada pela seguinte condição: Se uma linha não é um anel linear, então tanto seu vértice inicial quanto o final devem tocar outra linha ou a moldura, caso contrário, haverá uma inconsistência no(s) vértice(s) que não toca(m), pois não há ligação entre as linhas, provocando resultados indesejados na geração da área.

A Figura 6 apresenta o *script* do QGIS que realiza a validação das linhas da cobertura terrestre e a Figura 7 exemplifica diversas situações de inconsistências topológicas na vetorização das linhas delimitadoras da cobertura terrestre.

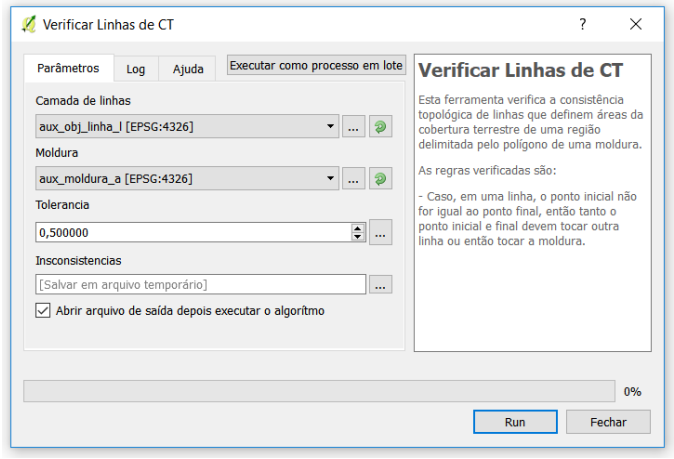


Figura 6: Ferramenta do QGIS para validação das linhas.

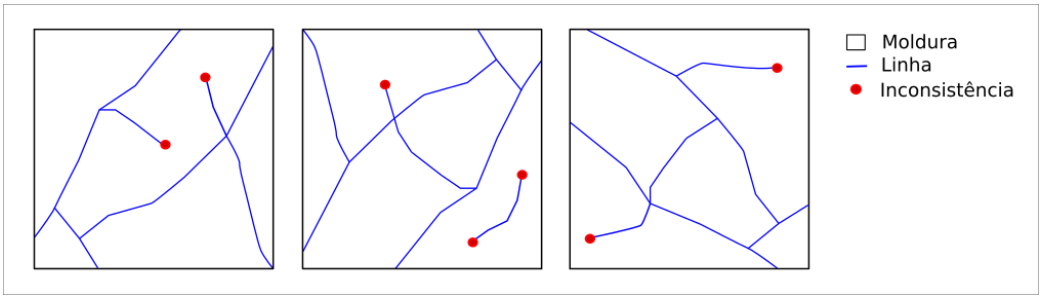


Figura 7: Exemplos de inconsistências topológicas das linhas.

2.4 Geração das áreas

Após sanadas todas as inconsistências na validação das linhas da cobertura terrestre, o próximo processo consiste na geração das áreas. Para esse processo é utilizado a ferramenta nativa do QGIS denominada de "Poligonize". (Figura 8). Esta ferramenta gera uma camada de polígonos que representam as classes da cobertura terrestre (Figura 9).

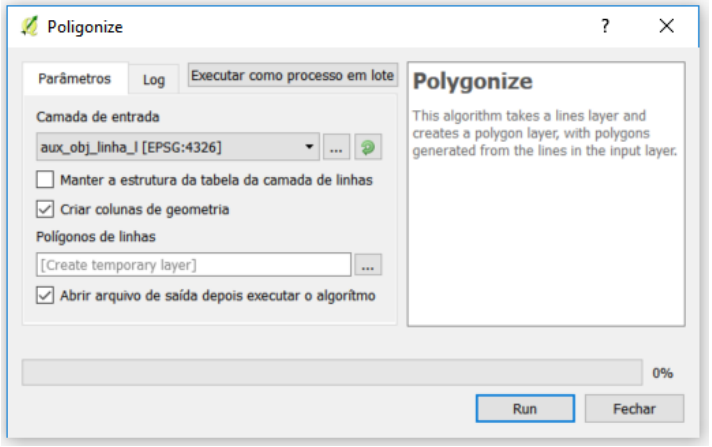


Figura 8: Ferramenta "Poligonize".

Figura 9: Resultado da ferramenta de geração de polígonos.

2.5 Validação da cobertura terrestre

No tocante à consistência topológica, inicialmente, os polígonos gerados para a cobertura terrestre devem seguir basicamente duas regras descritas a seguir:

- Duas ou mais feições da cobertura terrestre não podem se sobrepor.
- Não deve existir áreas vazias (lacunas) entre as feições da cobertura terrestre.

A Figura 10 apresenta um exemplo de sobreposição (à esquerda) e outro exemplo de lacuna (à direita) entre as feições da cobertura terrestre.

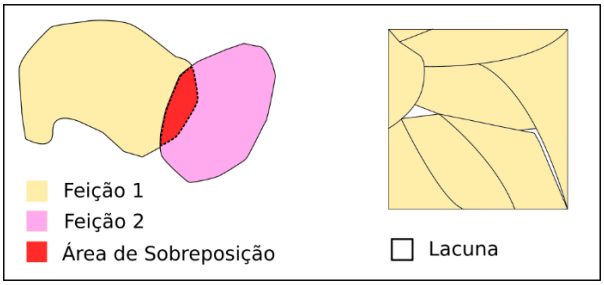


Figura 10: Exemplo de inconsistências topológicas (sobreposição e lacuna).

Para a inspeção de inconsistências topológicas de sobreposição ou lacuna na cobertura terrestre foi utilizada a ferramenta (*script*) de validação de cobertura terrestre, ilustrada na Figura 11.

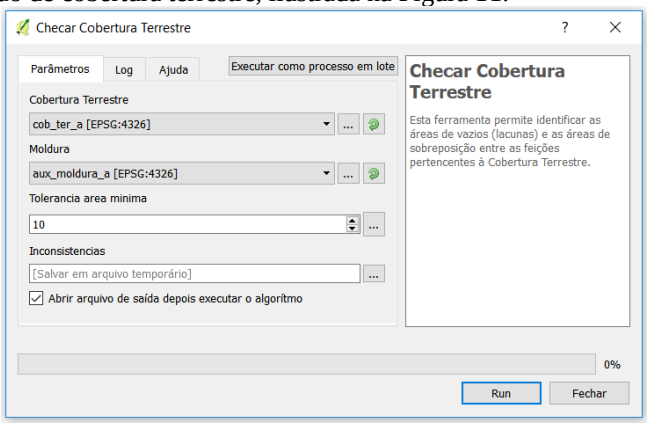


Figura 11: Ferramenta para validação da cobertura terrestre.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a área de estudo, foram vetorizadas 104 linhas, perfazendo um total de 381,7 Km. Considerando o total de vértices, ou seja, número de cliques, chegou-se a um total de 9644.

Após o processo de estruturação, o número de linhas e a soma dos comprimentos permaneceram os mesmos, entretanto o total de vértices das linhas passou a ser 8625, 10,6% vértices a menos que a situação inicial.

A estruturação, principalmente devido ao processo de "simplificar geometrias", garante economia de espaço em disco através de algoritmos de generalização que eliminam nós duplicados e vértices dispensáveis considerando uma tolerância que preserve a acurácia posicional planimétrica da escala de mapeamento. Do ponto de vista que cada linha vetorizada comporá parte da fronteira (*edge*) entre dois polígonos, a economia feita em uma linha torna-se em economia dobrada quando consideramos os dois polígonos adjacentes.

Na validação das linhas vetorizadas foram encontradas apenas 4 inconsistências (linhas não conectadas) que foram prontamente corrigidas. O número reduzido de inconsistências se justifica ao bom preparo dos operadores e a correta configuração dos parâmetros de aderência entre os vértices das feições no QGIS.

Na geração de áreas, foram criados 67 polígonos com a ferramenta "Poligonize" a partir das linhas já validadas. No processo de validação topológica desses polígonos, a ferramenta "Checar Cobertura Terrestre" não identificou a ocorrência de sobreposição nem de lacunas para a área de trabalho delimitada pela moldura e, portanto, comprova a eficiência dessa metodologia.

Por fim, as feições da camada gerada de polígonos podem ser classificadas copiando-se cada geometria para classe adequada ao modelo do banco de dados geográficos. Para esse último processo, é sugerível a utilização da ferramenta de (Re)Classificação do DSG Tools, que além de mover a feições para as classes corretas, também possibilita o preenchimento de atributos pré-definidos no processo de reambulação (PASSOS & FRANÇA, 2018).

A Figura 12 apresenta o resultado da classificação da cobertura terrestre para a área de trabalho, estando cada classe identificada na legenda à direita.

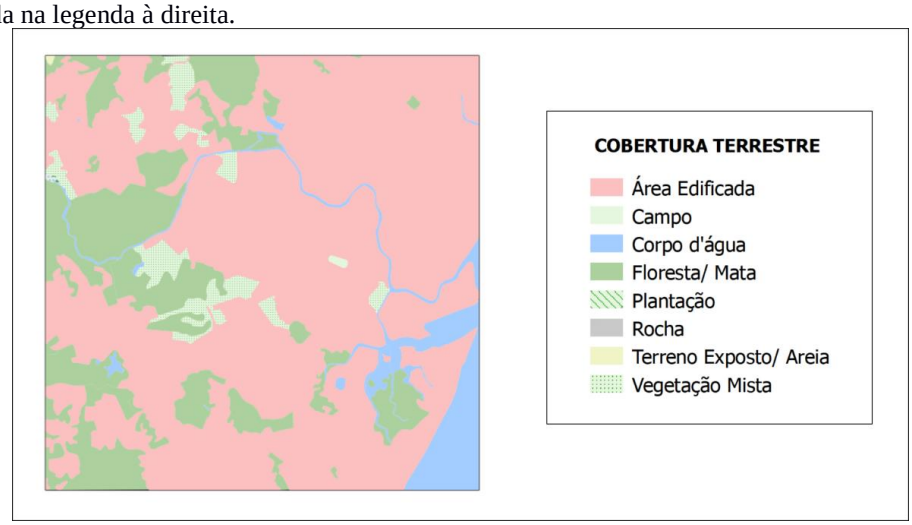


Figura 12: Classificação dos polígonos gerados.

4 CONCLUSÕES

A vetorização da cobertura terrestre requer preparo e experiência do operador. Em um projeto de mapeamento de grandes áreas, a correta interpretação da superfície assegura a homogeneidade dos trabalhos, mesmo quando realizado por operadores distintos.

Os processos para geração da cobertura terrestre elencados neste trabalho possibilitam a construção eficiente, econômica e livre de inconsistências topológicas, garantindo que os elementos de qualidade acurácia posicional e consistência lógica sejam conformes.

A disponibilidade de ortofotos para todo o território estadual no PE3D garante a possibilidade de replicação da metodologia apresentada em outras áreas do Estado de Pernambuco é possível

É recomendado que os processos apresentados sejam seguidos à risca, caso contrário, poderá acarretar diversos tipos de problemas e inconsistências, traduzidos em retrabalhos e prejuízo financeiro.

Quanto aos parâmetros empregados nos processos de estruturação, eles foram adotados considerando uma boa margem de segurança (6,67% do EM do PEC-PCD), no entanto, carece de estudos mais aprofundados, no sentido de se determinar os valores ideais de acordo com cada escala do mapeamento sistemático.

Ressalta-se, também, a importante contribuição que o plugin DSG Tools, produzido pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, tem dado a todos que trabalham com mapeamento no Brasil, através das suas diversas ferramentas de geoprocessamento e manipulação de banco de dados geográficos.

Por fim, reforçando o papel de ferramenta de gestão do Programa Pernambuco Tridimensional, destaca-se o potencial de aplicação da metodologia apresentada para geração de produtos cartográficos que sirvam de insumos para a elaboração de instrumentos dos planejamentos urbano e ambiental, tais como planos diretores e planos de manejo de unidades de conservação.

REFERÊNCIAS

CIRILO, J.A.; ALVES, F.H.B.; SILVA, L.A.C. & CAMPOS, J.H.A.L. (2014). Suporte de Informações Georreferenciadas de Alta Resolução para Implantação de Infraestrutura e Planejamento Territorial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 04, p. 755-763.

DE OLIVEIRA, F. B., DE OLIVEIRA, C. H. R., DE SOUZA LIMA, J. S., RIBEIRO FILHO, R. B., MIRANDA, M. R., NEVES, L. Z., & FERRAZ, F. (2014). Aplicação de geoprocessamento e lógica fuzzy para criação de zoneamento no parque estadual da cachoeira da fumaça/es para fins de conservação. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, n. 66/3, 2014.

DI GREGORIO, A.; JANSEN, L. J.M. **Land Cover Classification System: Classification Concepts and User Manual**. Food and Agriculture Organization. 2000. Disponível em: < http://www.fao.org/docrep/003/x0596e/X0596e01e.htm#P213_18188 >. Acesso: 15 julho 2018.

DSG – DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO. **DGS Tools: Generalidades**. Disponível em: < http://www.geoportal.eb.mil.br/index.php/qgis-menu/dsgtools/dsgtools-generalidades >. Acesso: 15 julho 2018.

DSG - DIRETORIA DE SERVIÇO GEOGRÁFICO. **Norma da especificação técnica para controle de qualidade de dados geoespaciais (ET-CQDG)**. 1. ed. Brasília, DF, 2016.

FRANÇA, L. L. S. Topological validation of drainage network with QGIS. **Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Jardim, MS. Embrapa Informática Agropecuária/INPE. 2018.

FRANÇA, L. L. S., FERREIRA DA SILVA, L.F. Comparison between the Double Buffer Method and the Equivalent Rectangle Method for the quantification of discrepancies between linear features. **Boletim de Ciências Geodésicas**, 24(3). 2018.

HAQUE, Md Inzamul; BASAK, Rony. Land cover change detection using GIS and remote sensing techniques: A spatio-temporal study on Tanguar Haor, Sunamganj, Bangladesh. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 20, n. 2, p. 251-263. 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Avaliação da qualidade de dados geoespaciais**. Manuais técnicos de geociências. Coordenação de Cartografia. Rio de Janeiro. 2017.

LONGLEY, P. A., GOODCHILD, M. F., MAGUIRE, D. J., & RHIND, D. W. **Geographic information systems and science.** John Wiley & Sons. 2005.

MACEDO-CRUZ, A.; PAJARES-MARTINSANZ, G.; SANTOS-PEÑAS, M. Clasificación no supervisada con imágenes a color de cobertura terrestre. **Agrociencia**, v. 44, n. 6, p. 711-722, 2010.

NICLÒS, R., ESTRELLA, M. J., VALIENTE, J. A., & BARBERÀ, M. J. Clasificación periódica de coberturas terrestres a escala regional con imágenes MODIS. **GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica**, n. 10, p. 1-17, 2010.

OGC - OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM et al. OpenGIS® Implementation Specification for Geographic information - Simple feature access-Part 1: Common architecture. **OGC document**, 2011.

REDWEIK, Paula. **Fotogrametria aérea**. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa. Pág, v. 3, 2007.

PASSOS, J. B. CARVALHO, R. B. PENHA, A. L. T. FRANÇA. L. L. S. Estruturação e validação de dados geográficos em ambiente orientado a objeto do Sistema Gothic. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** - SBSR. INPE Santos - SP, Brasil. p. 795-802. 2017.

PASSOS, J. B.; FRANÇA, L. L. S. Processo de reambulação no mapeamento topográfico. **Revista Brasileira de Geomática**. Curitiba, v. 6, n. 2, p. 119-138, abr/jun.2018.

PAZ, O. L. S. SAMPAIO, T. V. M. Qualidade de dados espaciais vetoriais disponibilizados para o estado do Paraná. XXXII Semana de Geografia. **Anais do 1º Encontro de Tecnologias Geográficas e Contemporaneidades**. p. 365-376. 2016.

PERNAMBUCO. Pernambuco Tridimensional. Disponível em: < http://www.pe3d.pe.gov.br/ >. Acesso: 15 julho 2018. Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S/A. 2016.

VULNERABILIDADE, BASEADA NA HIERARQUIA DE ENVOLVIMENTO DE DADOS NATURAIS: COMUNIDADE QUILOMBOLA DE LAGE DOS NEGROS.

RÔMULO ALEXANDRINO SILVA 1
CARMEM SUEZE SILVA MIRANDA 2
TATIANA AYAKO TAURA 3
MIRELLY DE OLIVEIRA FARIAS 1

1 Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
2 Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF
Colegiado de Engenharia Agrícola e Ambiental - CENAMB
Campus Juazeiro, BA.
3 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa
Embrapa Semiárido, Petrolina, PE

romulo_alex_silva@hotmail.com, carmemsumiranda@yahoo.ca, tatiana.taura@embrapa.br, mirellyofarias@gmail.com

RESUMO - A Comunidade Quilombola Lage dos Negros (CQLN), Campo Formoso/BA, no sertão baiano, possui alto potencial ecoturístico, exuberantes manifestações de seus patrimônios e recursos histórico-naturais. Este estudo objetivou a análise da vulnerabilidade natural por meio de geotecnologias a partir de variáveis como geologia, geomorfologia, pedologia e clima. Onde foram realizados levantamento e identificação dos critérios para elaboração do mapa temático de vulnerabilidade, a partir do Processo Analítico Hierárquico (AHP) utilizando-se análise multicriterial. Após a definição destes critérios, conduziu-se a construção do mapa de vulnerabilidade natural, esta apresentou moderado grau, tendendo ao fraco no domínio dos Latossolos e ao acentuado no dos Neossolos Litólicos. A metodologia de AHP auxiliou a classificação das áreas e a análise do grau de susceptibilidade a partir de razões consistentes, contribuindo no apontamento das localidades de maior risco e fragilidade. Tal metodologia também favorece o planejamento e a tomada de decisões devido à análise multicriterial e equação ponderada, garantindo a aplicabilidade e imparcialidade de resultados. Esta pesquisa poderá cooperar com as atividades de órgãos governamentais, juntamente com a sociedade civil, para implantar alternativas sustentáveis de uso dos recursos naturais, com responsabilidade ambiental.

ABSTRACT - The Quilombola Community Lage dos Negros (CQLN), Campo Formoso / BA, in the sertão of Bahia, has high ecotourism potential, exuberant manifestations of its patrimony and natural-historical resources. This study aimed at the analysis of natural vulnerability through geotechnologies based on variables such as geology, geomorphology, pedology and climate. Where a survey and identification of the criteria for elaborating the thematic map of vulnerability were carried out, using the Hierarchical Analytical Process (AHP) using a multi-criteria analysis. After the definition of these criteria, the map of natural vulnerability was developed, this one presented moderate degree, tending to the weak one in the domain of the Oxisols and the accentuated one in the Neolithic Neosols. The AHP methodology helped to classify the areas and the analysis of the degree of susceptibility from consistent reasons, contributing in the identification of the locations of greater risk and fragility. Such methodology also favors planning and decision making due to multi-criteria analysis and weighted equation, guaranteeing the applicability and impartiality of results. This research may cooperate with the activities of government agencies, together with civil society, to implement sustainable alternatives for the use of natural resources, with environmental responsibility.

1 INTRODUÇÃO

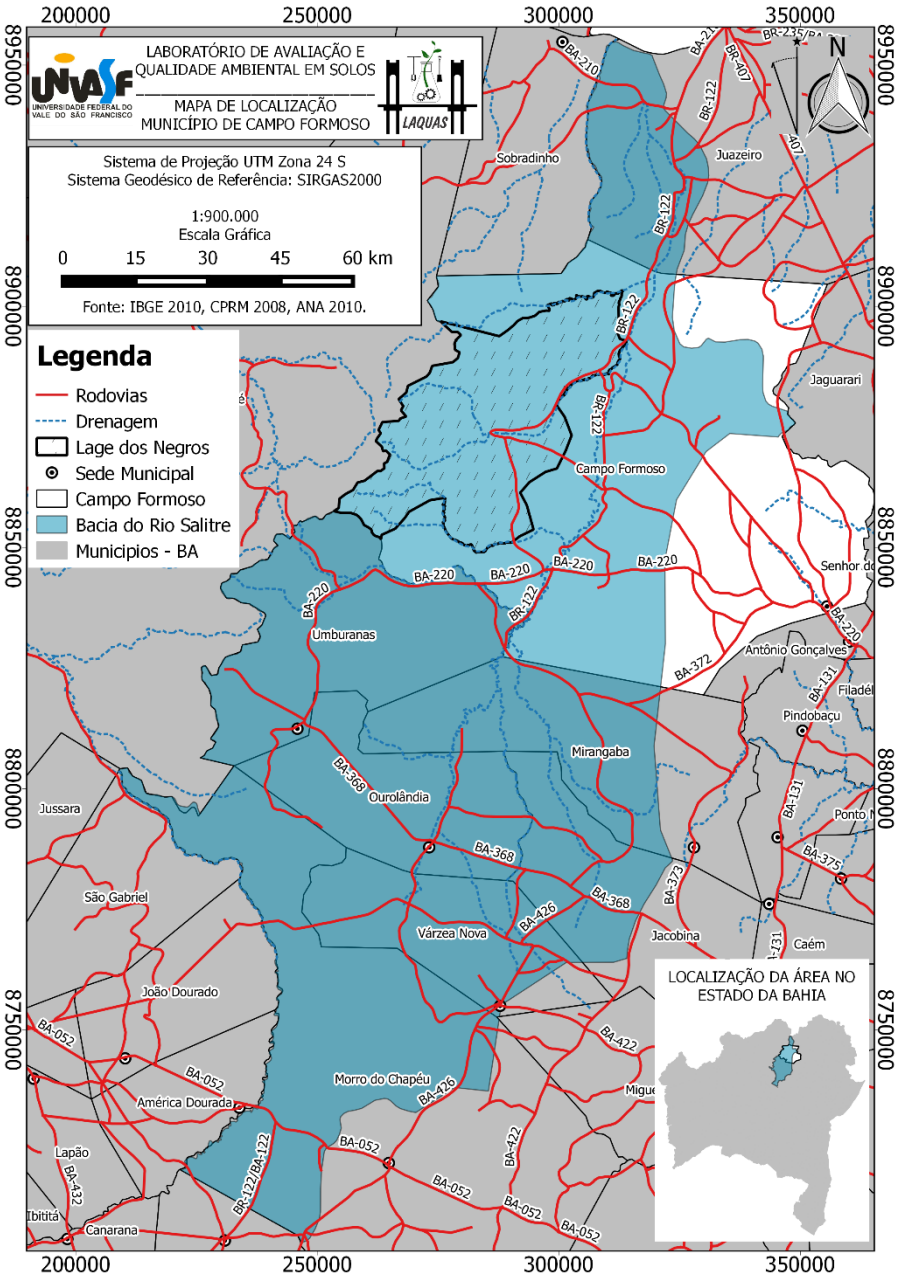
O Município de Campo Formoso encontra-se na encosta da Serra da Jacobina, cheia de ladeiras e colinas, e está sobre o famoso Morro dos Alecrins. Uma de suas características marcantes é o fato de que visitantes podem percorrer a pé, ou em montarias de cavalo ou jumento, trilhas, prados e campos verdejantes, enquanto perpassam por serras e montes, rios e riachos (BAHIA, 2017).

Lage dos Negros é uma comunidade quilombola localizada a oeste de Campo Formoso, uma das mais antigas do norte da Bahia, trazendo consigo imensas riquezas: histórica em seus costumes e organização; e ambientais. A expansão

e desenvolvimento social podem ser vistos como um problema a ser enfrentado, pois, atuam diretamente sobre o uso e ocupação do solo, os recursos hídricos e as condições de conservação de materiais arqueológicos, históricos e culturais da comunidade. Tais atividades determinam relações de dependência direta entre o uso dos seus recursos naturais e a futura disponibilidade desses (MAE, 2016).

A Comunidade Quilombola Lage dos Negros (CQLN), apresentada na Figura 1 se apresenta isolada da área urbana, associada à falta de informação e conhecimento técnicos, ausência de políticas públicas e de ações governamentais de proteção aos recursos históricos, sociais e naturais. Diante desse cenário tal comunidade pode estar susceptível a estados de degradação e perda de seus recursos.

Figura 1 – Localização da área de estudo no município de Campo Formoso/BA.



Fonte: Silva (2017), IBGE (2010), CPRM (2008), ANA (2010).

A identificação das áreas vulneráveis, baseada na hierarquia de envolvimento de dados naturais e antrópico na região, resultam num instrumento que permite a tomada de decisões a partir da identificação do grau de vulnerabilidade. Visando entender os riscos da exposição dos atributos naturais, a fatores externos e antrópicos, no diagnóstico ambiental de determinada área, tem-se a vulnerabilidade. Tal método busca classificar e quantificar as áreas que

apresentam diferenciados graus de susceptibilidade a degradação, a partir de geotecnologias, mostrando como um sistema composto por diferentes variáveis se relaciona tanto com suas próprias variáveis como com as de outros sistemas (OLIVEIRA, CRUZ E SILVA 2009).

A classificação e quantificação das áreas pode ser feita a partir de uma análise multicriterial, também conhecida como Processo Analítico Hierárquico (AHP). Tal processo visa realizar o mapeamento da vulnerabilidade a partir de uma análise unificada do ambiente em estudo, levando em consideração a área de estudo como um sistema composto, atribuindo graus de relevância e pesos aos diversos fatores/atributos que se inter-relacionam (MELO, MELO e JÚNIOR, 2010). A vulnerabilidade natural considera a susceptibilidade do ambiente à degradação, tendo-se em vista a pedologia, a geologia, a geomorfologia e suas estabilidades referentes à pedogênese e morfogênese (GRIGIO, 2003). Este estudo vem com o intuito de reforçar o processo de proteção, descrito por Fukuda (2010), da área do Parque Boqueirão da Onça e a análise da sua vulnerabilidade natural.

1.1 Embasamento Teórico

A CQLN está localizada no município de Campo Formoso (Figura 1), no sertão baiano, a uma distância de 120 km de Juazeiro - BA O acesso à sede de Campo Formoso a partir de Juazeiro/BA é dado pela BA 122 ou BR 407 apresentando ótimas condições de tráfego e sinalização. No entanto, à CQLN, o acesso apresenta péssimas condições, sendo em sua maior parte em estrada não pavimentada. Em alguns trechos a estrada apresenta condições que necessitam de atenção elevada com faixas estreitas, alta ondulação e pedregosidade.

Fundada em meados do século XIX por um escravo negro de nome Luiz José dos Santos e sua esposa Maria Lage (uma das possíveis origens do nome da comunidade), Lage dos Negros é marcada por muitos conflitos políticos e étnicos e pela ausência de políticas públicas (CODEVASF, 2006). A CQLN é composta por 34 povoados, segundo a Fundação Cultural Palmares em seu levantamento realizado entre os anos de 2005 a 2006 (FUNDAÇÃO CULTURAL PALMARES, 2017), estando cadastrada pelo Instituto Búzios (IB, 2014). A principal atividade econômica é a agricultura. As famílias cultivam a mandioca, para produzir farinha. Outras culturas presentes são feijão, milho, sisal e mamona. A sua população em 2005 era estimada em 5 mil habitantes, constituindo cerca de 700 famílias (SISCMQ, 2005).

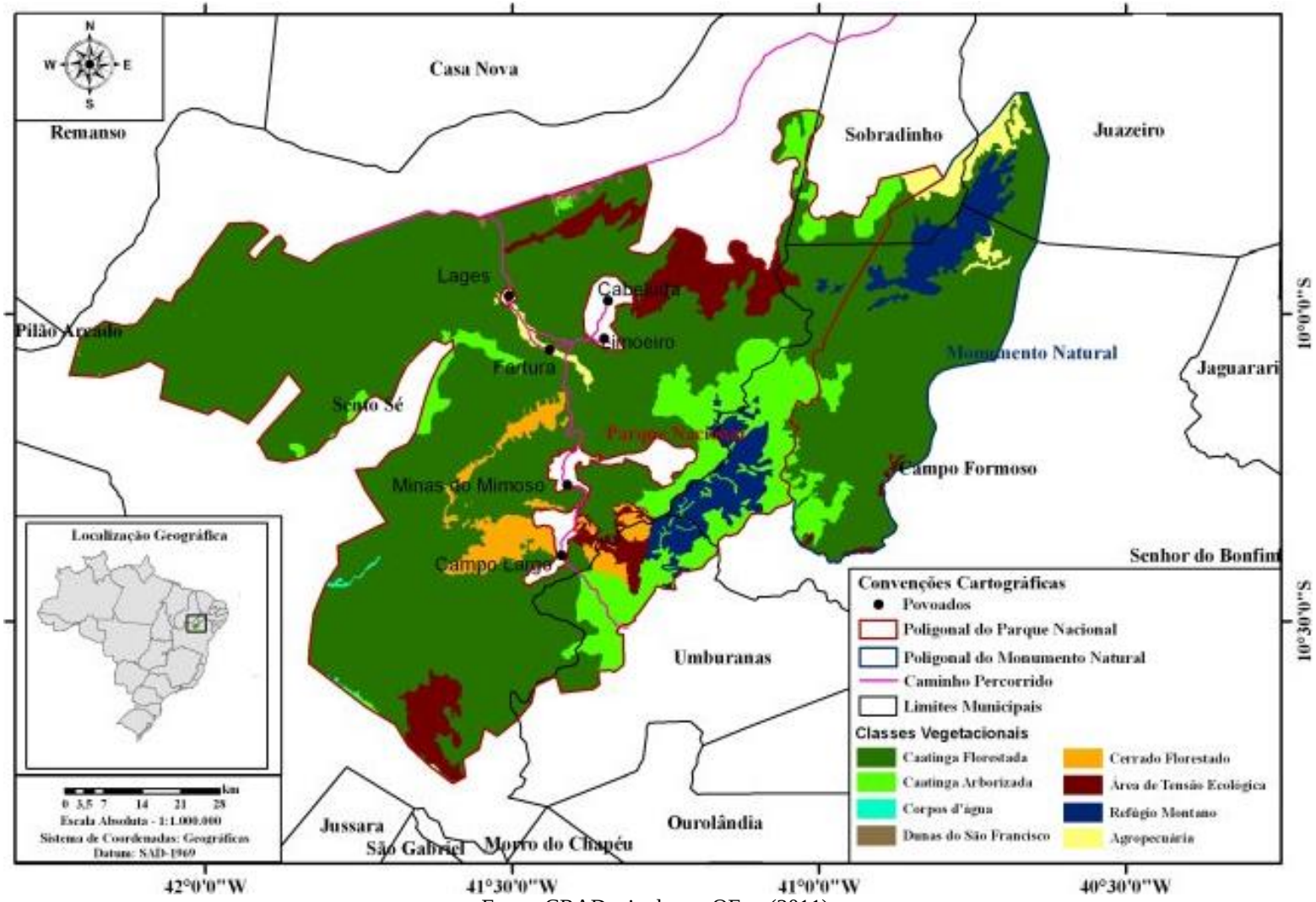
> A titulação Boqueirão da Onça se deve à presença da imponente onça-pintada (*Panthera onca*), considerada o maior felino das Américas e que pode ser encontrado em todo o Brasil. No entanto, seu estado de conservação encontra-se ameaçado em todo o país. Informações sobre a espécie no ecossistema Caatinga são escassas e atualmente são necessários estudos detalhados sobre a ecologia e dinâmica populacional (PAULA *et al*., 2009)

O principal fundamento, levantado por esses autores, para sua criação é a constatação científica sobre refúgio da população sobrevivente de onça pintada (panthera onca) na região Nordeste. Além disso, ele está inserido adjacentemente, de certa forma também se sobrepondo, a Área de Preservação Ambiental (APA) do lago artificial de Sobradinho – BA e ao previsto Monumento Natural da Toca da Boa Vista.

Na área do PARNABO também são encontradas as duas maiores grutas do Brasil, dentre elas a Toca da Boa Vista, a maior do hemisfério sul. Fernandes (2016), mostra em seu levantamento de campo, a importância da preservação de área, tendo-se em vista a riqueza de espécies vegetais endêmicas catalogadas em seu trabalho, dentre elas briófitas e angiospermas. Carlini (2013) também atenta à crescente antropização dessa área gerando grandes blocos de desmatamento sobre as serras nesta região onde se encontram as últimas parcelas preservadas da Caatinga.

Essa antropização também é descrita por Ramos et al. (2010), em que no ano de 2000, na área de proposição do Parque Nacional do Boqueirão da Onça, cerca de 89% da cobertura era de vegetal em nível de transição e/ou conservada. Em 2009, esse total diminuiu para 65,80%.

Figura 2 – Domínios do PARNABO, MONA Toca da Boa Vista e APA Lago de Sobradinho/BA.



Fonte: CRAD, citado em OEco (2011).

1.2 OBJETIVO

Determinar a vulnerabilidade natural, por meio de geotecnologias, da CQLN, no domínio do Parque Nacional do Boqueirão da Onça (PARNABO), localizada no município de Campo Formoso/BA.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Determinação E Definição Da Área De Estudo

Em visitas a campo a área de estudo foi delimitada a partir do levantamento, por meio de receptor GPS portátil, eXplorist 600 MAGELLAN®, com precisão de 5m, de pontos referentes às sedes dos povoados da CQLN e de seu vilarejo central. Estas estão localizadas à margem esquerda do rio Salitre e nas proximidades da área, onde se encontram as grutas naturais, similarmente ao estudo realizado por Gomes (2014). Utilizando os pontos coletados, foi gerada uma poligonal e aplicado a operação de análise espacial denominada de buffer para 20 km. Em seguida, foram enquadradas as extremidades dessa nova poligonal dentro dos limites dos contornos do município de Campo Formoso/BA e da área de domínio do Boqueirão da Onça resultando em uma nova área de 1.110.663,62 ha. Visitas essas com o cunho de averiguação de dados secundários tendo sido obtidos registros fotográficos, visando à futura validação dos dados.

2.2 Levantamento e Identificação de Critérios para Elaboração dos Mapas de Vulnerabilidade

Visando a caracterização do ambiente da área de estudo, realizou-se o levantamento de informações em formato *shapefile* em bancos de dados e plataformas públicas, dentre elas CPRM, Embrapa, IBGE, como mostra a Tabela 01:

Tabela 1 – Bases cartográficas utilizadas para geração dos mapas temáticos.

Fonte	Identificação	Projeção	Sistema	Escala
CPRM	Geologia	wgs 1984	Coordenada geográfica	1:2.500.000
Embrapa	Geomorfologia	wgs 1984	Coordenada geográfica	1:2.000.000
SRH/BA	Pedologia	wgs 1984	Coordenada geográfica	1:100.000
SRH/BA	Vegetação	wgs 1984	Coordenada geográfica	1:100.000
IBGE	Clima (Pluviosidade)	sirgas 2000	Coordenada geográfica	1:1.000.000
CPRM	Limites municipais	wgs 1984	Coordenada geográfica	1:2.500.000
ANA	Hidrografia	Sad 1969	Coordenada geográfica	1:1.000.000
IBGE	Rodovias	sad 1969	Coordenada geográfica	1:1.000.000
CPRM	Hidrologia	wgs 1984	Coordenada geográfica	1:2.500.000

Fonte: Autor.

2.3 Definição dos Critérios de Vulnerabilidade

Utilizando ambientes de ArcGIS 10.0 (ESRI 2011) em consórcio com o pacote Microsoft® Office 2010, foi possível realizar o tratamento e processamento dos dados vetoriais a serem determinados a partir de análise multicriterial. Após o tratamento e o processamento dos dados vetoriais, foi utilizado o ambiente QGIS Development ™ 2.10 (QGIS, 2016) para a geração dos mapas temáticos de Vulnerabilidades Natural além dos mapas de cada base: Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Pluviosidade. Para cada um desses critérios (bases), os seus subcritérios (atributos), apresentados nas Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6, foram reclassificados para os graus de vulnerabilidade alta (3), média (2) e baixa (1) como mostra a Tabela 2, de acordo com a descrição realizada por Crepani (2001).

Tabela 2 – Graus de Vulnerabilidade e seus pesos atribuídos.

Graus de Vulnerabilidade	Valor
Fraco	1
Moderado	2
Acentuado	3

Fonte: Figueiredo *et al*. (2007) e Melo, Melo e Júnior (2010).

Os níveis de susceptibilidade a degradação estão relacionados com a resistência a intervenções físicas e naturais como intemperismos e/ou atividades antrópicas. Quanto maior for o valor atribuído ao atributo menos resistente ele é sobre a intervenção. O intervalo de valores dos graus de vulnerabilidade segue a classificação também proposta por Figueiredo *et al*. (2007) e Melo, Melo e Júnior (2010). Os solos encontrados na área de estudo pertencem a três grandes grupos descritos na Tabela 3. O grau de vulnerabilidade para solos está diretamente relacionado com sua mineralogia, estrutura e textura (Crepani, 2001).

Tabela 3 – Grau de vulnerabilidade do solo na área de estudo.

Classe de solo	Valor
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico	1
CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico	2,5
NEOSSOLOS LITÓLICOS Distróficos	3

Fonte: Crepani (2001).

A geomorfologia é principal parâmetro que inclui a interação entre clima, material de origem e relevo. Para a área de estudo foram classificadas como mais vulneráveis os conjuntos que mais apresentam fragilidade ou susceptibilidade natural (Tabela 4).

Tabela 4 - Grau de vulnerabilidade da geomorfologia na área de estudo.

Paisagens Geomorfológicas	Valor
Maciços e Serras Altas	1
Chapada Diamantina	2
Superfícies Cársticas	3

Fonte: Crepani (2001).

No caso da precipitação, não foi realizado a intersecção com as demais poligonais, ocasionado pelos intervalos de precipitação descritos na Tabela 01. Neste caso, foi acrescentado, nas equações de vulnerabilidade, o valor de grau de 1,2 visto que constituem os picos de precipitação anuais encontrados no terço médio da bacia do Salitre, onde se encontra a CQLN (Tabela 5).

Tabela 5 - Grau de vulnerabilidade da pluviosidade na área de estudo.

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Valor
> 50	1
75 - 100	1,2
275 - 300	2
> 525	3

Fonte: Crepani (2001).

Para a atribuição de grau de vulnerabilidade da geologia, a sua morfogênese teve o principal foco. Sua formação, evolução e estabilidade fornecem correlação com a configuração espacial, tendo-se em vista que suas mudanças ocorrem de forma lenta (em processos dinâmicos no cenário tempo e espaço), ou seja, fontes de informação confiáveis. A Tabela 5 apresenta o grau de vulnerabilidade para cada unidade geológica.

Tabela 6 - Grau de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns na área de estudo.

Geologia	Valor
Quartzoarenito, conglomerado suportado por matriz	1,2
Quartzoarenito	1,2
Arenito	2,4
Diamictito, quartzoarenito, grauvaca	2,6
Argilito, siltito, arenito	2,7
Argilito e siltito rítmicos, e quartzoarenito	2,7
Calcilutito, calcarenito	2,9
Calcrete, brecha calcífera	2,9
Sedimentos inconsolidados	3,0

Fonte: Crepani (2001).

Os atributos supracitados foram submetidos à análise de multicritérios, processo de decisão AHP, sendo utilizados para obtenção do grau de relevância e atribuição dos pesos de cada critério analisado, de acordo com a estruturação da hierarquia de decisão; priorização das alternativas e definição das classes de vulnerabilidade. O mapa final é resultado da média ponderada, entre os atributos e seus respectivos pesos, (Tabelas 6), obedecendo à equação seguinte.

Tabela 7 – Variáveis e pesos utilizados para a determinação da Vulnerabilidade Natural da área de estudo.

Vulnerabilidade Natural (VN)	Peso (%)

Geologia	35
Pedologia	30
Geomorfologia	20
Clima (precipitação)	15

Fonte**:** Autor, 2017.

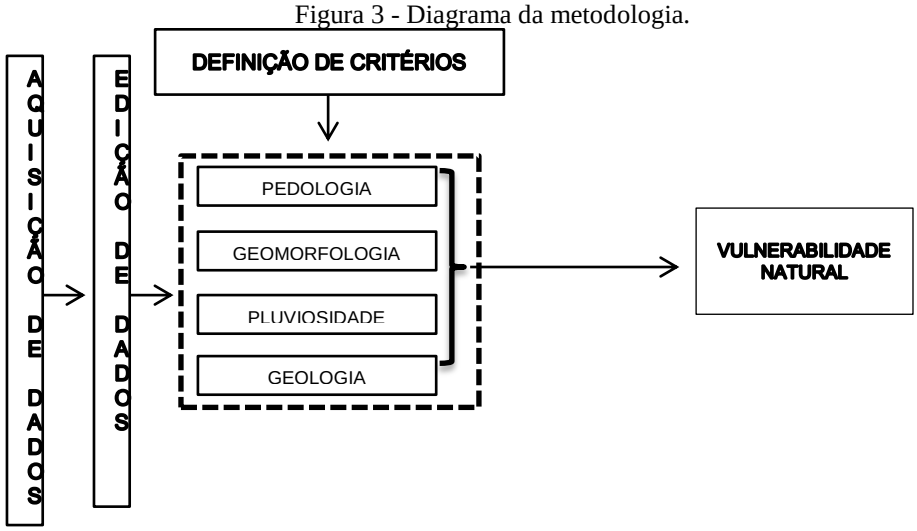
$$VN = Geo.x.35 + Pedo.x.3 + Geomorf\ x.2 + Cilma\ x.15 \quad (1)$$

Contudo, o intervalo adotado nessa classificação pode mascarar um enorme volume de informação dentro do grau de vulnerabilidade moderado devido ao seu intervalo de significância. Sendo assim, para que os resultados pudessem ser interpretados da melhor forma possível, foi aplicada a técnica de divisão em decil, onde não há mudança nos intervalos extremos de determinação. Todavia, esse é fracionado em dez intervalos menores, gerando nove partes iguais como podem ser vistas e diferenciadas na Figura 5. Para melhor compreensão e didatismo dos mapas, além da manutenção dos intervalos, as tonalidades de cores graduação da vulnerabilidade natural também obedecem ao mesmo padrão.

2.4 Construção Dos Mapas De Vulnerabilidade

O fluxograma descrito na Figura 4 demonstra como foi idealizada a elaboração dos mapas de vulnerabilidade em um diagrama metodológico, abordando seis etapas.

Figura 3 - Diagrama da metodologia.



Fonte: adaptado de GRIGIO (2003).

(i) Aquisição de dados – levantamento, identificação e seleção das bases cartográficas, fontes, atributos, sistema, projeção e escalas, da área de estudo;

(ii) Edição de dados e entrada dos dados – reprojeção de todas as bases selecionadas para o sistema geodésico SIRGAS 2000, sistema de projeção UTM Zona 24S;

(iii) Definição dos critérios – Atribuição dos graus de relevância e pesos aos atributos selecionados;

(iv) Mapeamentos temáticos – geração dos mapas temáticos individuais dos atributos encontrados dentro da área de estudo;

(v) Geração de mapa de vulnerabilidade natural – cruzamento dos critérios definidos a partir da análise multicriterial, somente dos fatores físicos;

Esse procedimento metodológico foi igualmente utilizado por Melo, Melo e Júnior (2010) para avaliação da vulnerabilidade ambiental do estuário do Rio Formoso (PE).

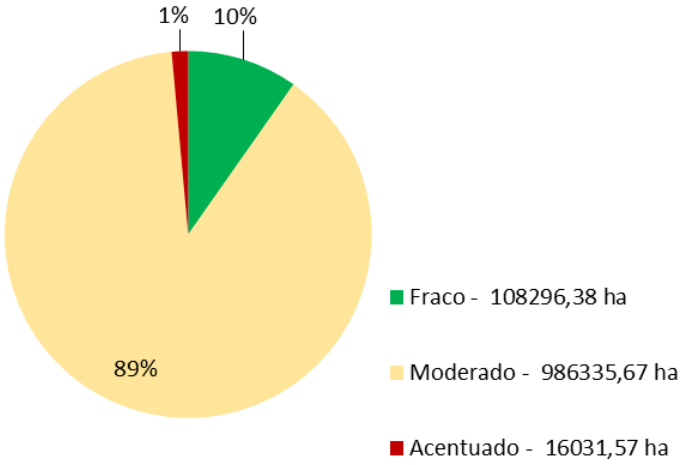
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Assim cada variável supracitada contribuiu na elaboração do mapa final, a depender do seu peso atribuído na classificação hierárquica (AHP), resultado da análise multicriterial, sendo tais elementos decisivos para a construção dos mapas de vulnerabilidade natura.

3.1 Vulnerabilidade Natural

A aplicação e a utilização de apenas três intervalos de grau de vulnerabilidade demonstram que a maior parte dos resultados se encontra com moderado grau de vulnerabilidade (Figuras 4 e 5).

Figura 4 – Distribuição da Vulnerabilidade Natural CQLN, Campo Formoso – BA.

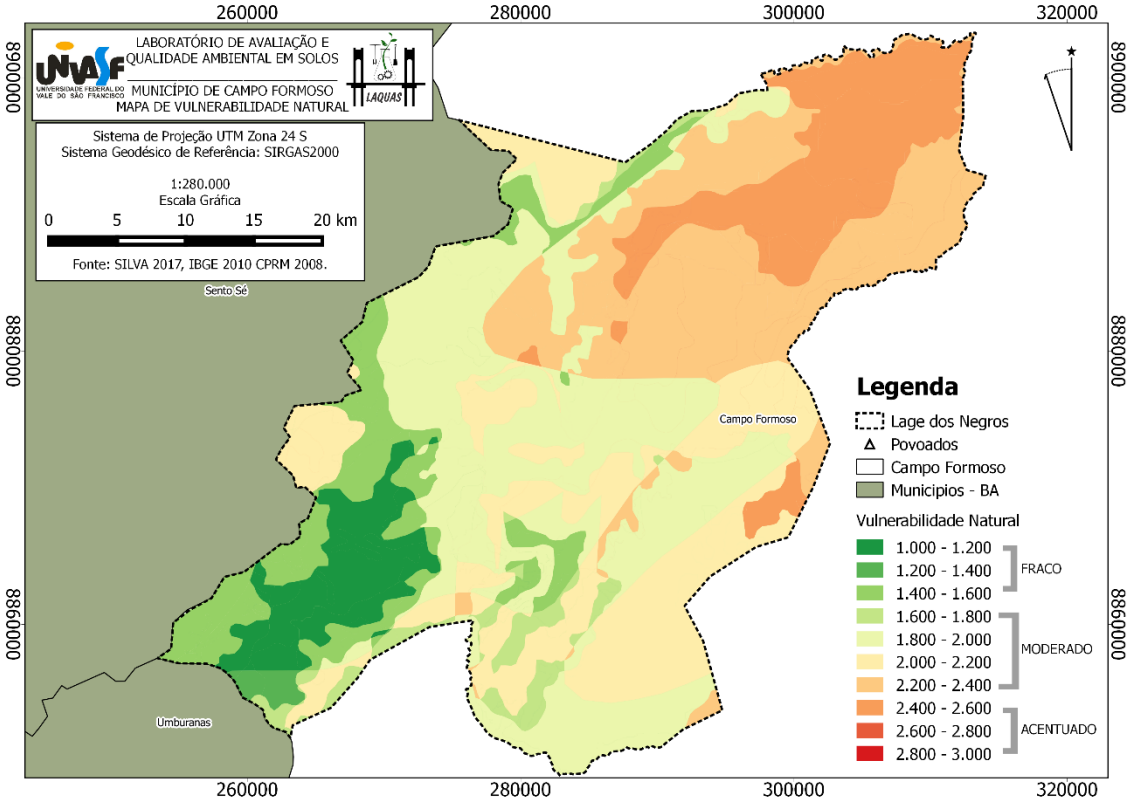


Fonte: Silva (2017)

Utilizando somente essa variação, aproximadamente 9,75% (108.296,38 ha) dos resultados apresentam fraco, 88,81% (986.335,67 ha) apresentam moderado e 1,44% (16.031,57 ha) apresentam acentuado grau de vulnerabilidade natural, respectivamente (Figura 4).

Ao aplicar o tratamento de decil é expressa outra configuração de resposta como pode ser vista na Figura 7, onde há a estratificação da área anteriormente classificada como moderado, aparecendo tendências tanto a fraco grau de vulnerabilidade (parte inferior a esquerda do mapa) como a acentuado grau de vulnerabilidade (parte superior a direita do mapa).

Figura 5 – Mapa de Vulnerabilidade Natural CQLN, Campo Formoso/BA.



Fonte: Silva (2017), IBGE (2010), CPRM (2008).

Nota-se que as áreas que apresentam menor grau de Vulnerabilidade Natural estão localizadas sobre a mancha de solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, unidades geomorfológicas do tipo Chapada Diamantina e, litologicamente, sobre Coberturas detrítico-lateríticas.

Isso ocorre por haver um consórcio das variáveis de menor grau de vulnerabilidade, sendo as principais o solo e a geomorfologia. Embora estejam localizados na parte referente à Chapada Diamantina (sedimentos inconsolidados de

constituição laterítica com maior instabilidade à denudação da rocha), os fatores pedogenéticos propiciaram a formação de solos mais evoluídos, com mineral de argila oxídico (estável) e microestrutura (alta infiltração), condicionando alta estabilidade de agregados e consequente configuração de alta porosidade. Fatores como esses garantem uma melhor estabilidade quando levado em consideração a pedogênese e a morfogênese, além de promover ótimas condições para um bom desenvolvimento vegetal.

Percebe-se ainda que, mesmo em áreas onde há parcelas de litologia apresentando moderado grau de vulnerabilidade natural (arenitos), o fator solo-geomorfologia foi determinante para expressar condições de fraca vulnerabilidade natural, como em porções de ocorrência dos Latossolos Vermelho-Amarelos, particularmente no contato entre as Coberturas detrítico-lateríticas (NQdl) e os arenitos(M3N1mc2).

As áreas que apresentam maior vulnerabilidade natural estão localizadas sobre as manchas de solo do tipo Cambissolo, litologias do tipo Calcilutito e Calcrete e unidade geomorfológica do tipo Superfície Cárstica.

As parcelas que apresentaram maior grau de vulnerabilidade natural são configuradas analogamente ao que foi visto para as áreas de fraca vulnerabilidade. O fator solo-geomorfologia foi determinante para expressar condições de vulnerabilidade. Somado a isso, a litologia de tais parcelas apresenta acentuado grau de vulnerabilidade natural, por serem de natureza carbonática e baixa resistência química à agua de infiltração ácida.

As áreas de maior grau de vulnerabilidade chamam a atenção pela somatória de fatores de grau acentuado (geologia, pedologia e geomorfologia), demonstrando a necessidade de cuidados especiais para conservação. Partindo do ponto de vista que essa é uma condição natural de fragilidade, entende-se que esses ambientes estão expostos às ações externas e necessitam de medidas conservacionistas em prol de manutenção de seu equilíbrio.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos revelaram uma correspondência da realidade de campo. Foram identificadas áreas vulneráveis com validação positiva validadas em visitas a campo durante a execução do trabalho. A metodologia de AHP auxiliou a classificação das áreas juntamente com a análise do grau de susceptibilidade a partir de razões consistentes, consequentemente, contribuindo no apontamento das localidades de maior risco e fragilidade. Tal metodologia também favorece o planejamento e a tomada de decisões devido à análise multicriterial e equação ponderada, garantindo a aplicabilidade e imparcialidade de resultados.

A vulnerabilidade natural da área de estudo apresenta moderado grau, tendendo com maior força ao fraco nas regiões de domínio dos Latossolos e com menor força ao acentuado nas regiões de domínio dos Neossolos Litólicos em consórcio com rochas sedimentares e relevo acidentado.

Um fator negativo é a indisponibilidade de bases cartográficas com escalas mais detalhadas para o estado da Bahia, por exemplo, a geomorfologia (escala de 1:2.500.000), resultando numa menor riqueza de detalhes e consequentemente impedindo um melhor apontamento de riscos.

Os mapas temáticos desenvolvidos nesse trabalho poderão cooperar com as atividades de órgãos governamentais, juntamente com a sociedade civil, visando alternativas sustentáveis de uso dos recursos naturais, consequentemente gerando ações integrativas que visem desenvolvimento sócio-educacional com responsabilidade ambiental, particularmente com a consumação do proposto PARNABO.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Embrapa Semiárido nas pessoas de Iêdo Bezerra Sá, Tatiana Ayako Taura e José Cletis Bezerra referentes disponibilização do Laboratório de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto para o processamento dos dados.

REFERÊNCIAS

BAHIA – Governo do Estado da Bahia. Disponível em: <http://www.bahia.com.br/cidades/campo-formoso/.> Acesso em: 04 mar. 2017.

CARLINI, B. S.**Uso De Sensoriamento Remoto E Reconhecimento Pedológico Para Identificação De Ambientes Na Sub-Bacia Do Rio Pacuí, Submédio São Francisco.** Dissertação de mestrado. UFV, Viçosa, MG, 2013.

CODEVASF. **Remanescente de Quilombo Laje dos Negros** SEDE - SGAN 601, Conj. I. Ed. Dep. Manoel Novaes. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <http://www.codevasf.gov.br/noticias/2005/20051125_01/> Acesso em: 14 jan. 2015.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Sig mapa de geodiversidade do estado da Bahia**. 2008.

CREPANI, E. MEDEIROS, J.S. de; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao**

ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE, 2001. 103p. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/dsr/simeao/Publicacoes/SERGISZEE3.pdf> Acesso em: 09 mar. 2017.

ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. 2011.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. DE, TEIXEIRA, A. S., ARAÚJO, L. DE F. P., ROSA, M. F., PAULINO, W. D., MOTA, S., ARAÚJO, J. C. Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Reservatórios à Eutrofização. **Revista Engenharia sanitária e ambiental**. Vol.12 - Nº 4, out/dez 399-409, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

FUKUDA, J. C.; NASCIMENTO, J. L.; MACHADO, R. B.; MAGRIS, R. A.; BACELLAR-SCHITTINI, A. E.; DIAS, R. L.; YONEDA, N. T.; CAMPOS, C. B. Utilização de Pesquisa Básica e Ferramentas de Modelagem Espacial no Processo de Criação de Unidades de Conservação na Região do Boqueirão da Onça, Bahia. **Anais do II Seminário de Pesquisa e Iniciação Científica do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade**. Biodiversidade e Economia. Brasília - DF, 2010.

FUNDAÇÃO CULTURAL PALMARES. Disponível em: <http://www.palmares.gov.br/?page_id=37551> Acesso em: 02 mar. 2017.

GOMES, M. *et al*. Análise preliminar dos mapas de vulnerabilidade do patrimônio espeleológico para as áreas cársticas prioritárias da região de abrangência do pan cavernas do São Francisco. **Revista Brasileira de Espeleologia – RBEsp**, v. 1, n. 4, 2014.

GRIGIO, A. M. **Aplicação de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do município de Guamaré (RN)**: simulação de risco às atividades da indústria petrolífera. Dissertação (Mestrado). UFRN. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Natal, RN, 2003.

MAE – Mundo Ambiente Engenharia, consultoria ambiental e de segurança no trabalho. Disponível em: < http://mundoambiente.eng.br/new/meio-ambiente/diagnostico-ambiental/> Acesso em: 26 out.2016.

MELO, R. M. DE, MELO I. D. F., JÚNIOR, E. C. DE A. **Proposição de metodologia baseada em Análise Multicriterial (AHP) para avaliação de níveis de vulnerabilidade ambiental no estuário do Rio Formoso, PE.** III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife – PE, p. 001-009, 2010.

OLIVEIRA, F. L. S.; CRUZ, M. L. B.; SILVA, C. A. **Uso de geotecnologias aplicadas ao mapeamento da vulnerabilidade ambiental no município de Pacoti, Ceará, Brasil**. In: XII Encontro de Geógrafos da América Latina. Montevidéu, Uruguai, p.1-9. 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?lang=&codmun=290600&search=bahia|campo-formoso|infograficos:-historico> Acesso em: 04 mar. 2017.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Version 2.10. 2016.

RAMOS, R.R.D.; LOPES, H.L.; MELO-JÚNIOR, J.C.F.; CANDEIAS, A.L.B. & SIQUEIRA FILHO, J.A. Aplicação do índice da vegetação por diferença normalizada (NDVI) na Avaliação de áreas degradadas e potenciais para unidades de conservação. *In:* **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.** Recife, PE, p. 27-30, 2010.

SISCMQ. Disponível em: <http://www.alexandrebrito.com/novosistema/comunidade.php?idQuilombo=414> Acesso em: 14 jan. 2015.

TOPOGRAFIA E GEODÉSIA

A GESTÃO TERRITORIAL DAS PREFEITURAS MUNICIPAIS E O PROBLEMA DAS COORDENADAS PSEUDO-UTMS NA AVALIAÇÃO DE ÁREAS E POSICIONAMENTO DE IMÓVEIS

CATARINA MARIA RIBEIRO DOS SANTOS
ANDRÉA DE SEIXAS

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação
cataribs@yahoo.com.br, aseixas@ufpe.br

RESUMO - Este trabalho descreve como as prefeituras municipais brasileiras vem cada vez mais recebendo materiais (plantas topográficas e memoriais descritivos de imóveis) em coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) em um específico Sistema Geodésico de Referência. Porém, diferentemente do que pensa a maioria dos responsáveis pelo material, em grande suma os trabalhos fornecidos aos técnicos da prefeitura são apresentados em coordenadas pseudo-UTMs. Além disso, a não transformação de coordenadas UTM em coordenadas no Sistema Geodésico Local (SGL) pode repercutir em um valor equivocado de área, quando essa representa a superfície plana local de um imóvel. O uso de coordenadas UTM para o cálculo de azimute plano, em vez do azimute plano local, e sua utilização como azimute inicial para o cálculo de uma poligonal, poderá repercutir também em equívocos no posicionamento de seus respectivos vértices. No presente trabalho há uma identificação de um aumento de área no valor de 210,52 m² em uma poligonal simulada na região de ampliação do fuso UTM. Entre os azimutes há uma discrepância na ordem de grandeza de 16 minutos, resultando em um deslocamento de no mínimo 0,563m (EPS-04) e no máximo 4,059m (EPS-05) entre os mesmos marcos geodésicos determinados pelo método da poligonação utilizando como azimute inicial o azimute plano Local no SGL e o azimute plano UTM.

ABSTRACT - This work describes how the Brazilian city halls increasingly see receiving materials (topographical plants and descriptive memorials of properties) in transverse Universal coordinates of Mercator (UTM) in a specific geodetic system of Reference. However, unlike the majority of those responsible for the material, the work provided to the city's technicians is presented in pseudo-UTMs coordinates. In addition, the non-transformation of UTM coordinates into coordinates in the local geodetic system (SGL) can resonate in a misplaced area value, when that represents the local flat surface of a property. The use of UTM coordinates for the calculation of azimuth plan, instead of the azimuth local plane, and its use as initial azimuth for the calculation of a polygonal, may also resonate in misconceptions in the positioning of its respective vertices. In the present work there is an identification of an area increase of 210.52 m² in a simulated polygonal in the UTM zone magnification region. Among the azimuts there is a discrepancy in the order of magnitude of 16 minutes, resulting in a displacement of at least 0, 563m (EPS-04) and a maximum of 4, 059m (EPS-05) between the same marks geodetic determined by the Poligonação method using as Azimuth Initial the azimuth Local plane in the SGL and the azimuth UTM plane.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem a proposta de divulgar uma metodologia para análise do cálculo de área, chamando a atenção para os valores apresentados em plantas topográficas provindas de levantamento topográfico/geodésico, principalmente em projetos apresentados em prefeituras municipais.

Desde a primeira edição da Norma Técnica do Georreferenciamento de Imóveis Rurais (NTGIR) (INCRA, 2003), até a 2ª edição revisada (INCRA, 2010b), que estava em vigor até o final de 2013, o cálculo da área (da poligonal) de uma propriedade rural, com o intuito de certificação junto ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), era gerado sobre o plano da projeção Universal Transversa de Mercator (UTM). Tal método altera o valor da área da poligonal, principalmente nas zonas de redução e ampliação de um fuso UTM, fato interligado às deformações do plano UTM. Hoje, com a 3ª NTGIR (INCRA, 2013) o cálculo de área é realizado por intermédio das coordenadas locais, localizadas sobre um Sistema Geodésico Local (SGL), as quais são obtidas pelas coordenadas geodésicas (latitude,

longitude e altitude elipsoidal) ou cartesianas tridimensionais geocêntricas (X, Y, Z), recorrendo a uma matriz de rotação ortogonal para realização da conversão (PRINA et al., 2015).

Técnicos de áreas a fim a das Ciências Geodésicas costumam usar o método misto de levantamento topográfico, partindo de 2 (dois) pontos de coordenadas conhecidas levantados por técnicas GNSS (Global Navigation Satellite System) e os demais pontos por técnicas topográficas, em sua maior parte com o uso de estação total. Porém não se atém que adotando tal metodologia, e utilizando (erroneamente) os dois pontos de coordenadas UTM conhecidas como "planas" e Locais, quando utilizados como referência são transportados com distorções, pois as coordenadas UTM podem estar em uma área de redução ou ampliação do cilindro projetado. Ou seja, as duas coordenadas iniciais de partida e utilizadas como referência para o transporte de coordenadas planas locais podem apresentar-se distantes de forma maior (ou menor) e com alinhamento rotacionado, uma vez que o azimute plano UTM não é igual ao azimute plano obtido pelas coordenadas no SGL.

Logo, é de grande importância a função do engenheiro cartógrafo e/ou agrimensor no desenvolvimento urbano municipal, contribuindo para o planejamento de atividades, identificação de problemas cartográficos, desenvolvimento de soluções e gestão territorial. Esse profissional em órgãos municipais atua principalmente junto a secretaria de finanças, colaborando com a atualização da base cartográfica e arrecadação de tributos.

Dessa forma, esse trabalho propõe uma metodologia para a obtenção da discrepância de: coordenadas, azimutes, distâncias e valor de área quando calculada no plano UTM e no plano do SGL. Convertendo-se as coordenadas geodésicas (latitude, longitude, altitude elipsoidal) para coordenadas no SGL.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

A metodologia para o desenvolvimento do presente trabalho deu-se de diferentes etapas. A priori foi realizado um vasto levantamento bibliográfico abrangendo tópicos como: sistema de projeção UTM, cálculo de área, método da poligonação, SGL, e transformação entre coordenadas. A partir daí, seguiu-se com aplicação prática do problema comparando-se e analisando-se valores de áreas provindas de dois diferentes sistemas de coordenadas. Tal comparação permitiu uma análise dos valores de áreas, azimutes, distâncias e transporte de coordenadas em UTM e em SGL. Dessa forma, facilitando o entendimento de técnicos de prefeituras com respeito aos valores de áreas e coordenadas apresentados nos trabalhos técnicos ao órgão responsável.

A área de estudo desse trabalho foi baseada no artigo de (SILVA et al., 2017), onde foi realizado um estudo dos elementos geométricos de uma poligonal fechada fictícia, considerando como vértices os marcos geodésicos da Rede de Referência Cadastral – RRC – da UFPE. Obtendo-se os respectivos ângulos internos, distâncias planas e áreas no SGL e UTM no Sistema Geodésico de Referência SIRGAS2000. Constatando-se discrepâncias significativas entre os elementos geométricos da poligonal fechada, citados anteriormente, principalmente, na determinação de área de distâncias e azimutes planos relacionados a cada sistema.

2.1 MÉTODO DE POSICIONAMENTO GNSS

A sigla GNSS (Global Navigation Satellite System) contempla sistemas de navegação com cobertura global, que associados aos sistemas de infraestruturas espaciais e terrestres proporcionam maior precisão e confiabilidade. No Brasil são utilizados mais receptores GNSS, que rastreiam os satélites: NAVSTAR-GPS e GLONASS. O posicionamento por GNSS pode ser realizado por diferentes métodos e procedimentos, que são (SEEBER, 2003): Posicionamento relativo, RTK E DGPS, e Posicionamento Por Ponto Preciso (PPP).

2.2 SISTEMA DE PROJEÇÃO UTM

Conforme Dalazoana e Freitas (2001), o Sistema Universal Transversa de Mercator (UTM) é uma modificação da Projeção Transversa de Mercator, e surgiu na década de 40 devido à necessidade de um sistema de projeção global para o apoio aos trabalhos geodésicos, visando atender aos interesses militares. O sistema foi concebido com a finalidade de minimizar as distorções em azimute e de manter as distorções em escala dentro de certos limites.

As coordenadas de origem para o hemisfério sul são 500.000m na direção leste (abscissas) e no eixo norte-sul, a partir do equador inicia com coordenada 10.000.000m diminuindo no sentido sul. As abscissas têm sentido crescente na direção leste e as ordenadas têm sentido decrescente na direção sul. Em consequência da deformação linear ocorrida devido ao cilindro estar secante ao elipsoide, o sistema não possui escala única, apresentando reduções e ampliações. As reduções máximas ocorrem no meridiano central e as ampliações máximas nos extremos do fuso (IBGE, 2005).

Avaliar as coordenadas plano retangulares E e N definidas pela adoção da representação UTM em comparação com as coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altitude elipsoidal) pode criar alguma confusão. A distância linear medida no plano retangular UTM é diferente da distância medida sob o elipsoide de revolução, porém seus desvios devem ser correspondentes. Isto porque o comprimento de um arco de latitude ou de longitude depende da dimensão do elipsoide. É, pois, fundamental fornecer aos usuários informação e conhecimento de modo a compreenderem estes problemas.

Cada fuso UTM apresenta um único sistema plano de coordenadas, com valores que se repetem em todos os fusos. Assim, para localizar um ponto definido pelo sistema UTM, é necessário conhecer, além dos valores das coordenadas, o

fuso que as coordenadas pertençam, já que elas são idênticas em todos os fusos. O sistema é constituído por 60 fusos de 6º de longitude, numerados a partir do antimeridiano de Greenwich, seguindo de oeste para leste até o encontro com o ponto de origem. Como convenção, atribui-se a letra N para coordenadas sul-norte (ordenadas) e, a letra E, para as coordenadas oeste-leste (abscissas). Um par de coordenadas no sistema UTM é definido, assim, pelas coordenadas (E, N). Cada fuso na linha do Equador apresenta aproximadamente 670 km de extensão leste-oeste, já que a circunferência da Terra é próxima a 40.000 km. Como o meridiano central possui valor de 500.000 m, o limite leste e oeste de cada fuso corresponde, na linha do Equador, respectivamente, valores próximos a 160.000 m e 830.000 m (IBGE, 2005).

Uma das mais importantes propriedades da projeção UTM é a sua conformidade, isto significa que os ângulos projetados no cilindro são respeitados. Logo, apesar de os ângulos internos de uma superfície se manterem os mesmos na superfície projetada, observa-se que os azimutes apresentam divergências (AZSGL ≠ AZUTM).

2.2.1 COORDENADAS PSEUDO-UTM

Para Silva et al. (2016), as modernas estações totais trazem uma ampla série de funções prontas para aplicações em levantamentos topográficos e locações de obras. Além dessas funções estão disponíveis opções de ajustes para correção das distâncias devido à altitude, correção da curvatura da Terra, refração atmosférica e fator de escala UTM. Essas correções podem ser todas agrupadas em um único fator de escala, que é adequado para a precisão necessária para as distâncias usuais medidas sobre o terreno, nos levantamentos topográficos com estações totais. Segundo os autores, se por um lado os recursos tecnológicos estão disponíveis, por outro, na prática, se observa que aquelas correções não são normalmente aplicadas, seja por desconhecimento da metodologia ou pela relativa dificuldade dos necessários cálculos quando está envolvida a projeção UTM. Mesmo com esses vários recursos de ajustes disponíveis, os autores têm observado em obras de diversos portes e em listas de discussões pela Internet, que na prática as correções não têm sido normalmente feitas, inclusive a do fator de escala UTM. A projeção UTM se tornou um padrão comum para projetos de engenharia de modo geral, embora essa projeção possa introduzir alterações nas distâncias muito acima das precisões exigidas para projetos e locação de obras.

Segundo Silva e Frederico (2014), ocorre normalmente o uso de "falso UTM", isto é, um ponto do início do projeto tem suas coordenadas determinadas em UTM e todo o levantamento planimétrico é executado a partir destas coordenadas, sem as devidas correções que o transporte UTM exige. Silva et al. (2016) diz que o projeto é definido sobre um plano que tem apenas um ponto com coordenadas determinadas em UTM (obtida de alguma carta em grande escala ou de simples receptor GPS de mão), sem definição adequada do azimute. Em seguida todas as distâncias horizontais medidas na superfície do terreno são usadas para o transporte das coordenadas iniciais.

O não uso de fator de escala, onde seja necessário compatibilizar distâncias topográficas com distâncias UTM, pode facilmente extrapolar as precisões para levantamentos e locações topográficas em projetos de engenharia. Recomenda-se ainda que seja preciso conferir se o projeto realmente está em projeção UTM ou se apenas um ponto foi medido em sistema UTM e as demais coordenadas foram transportadas com as medidas planas do terreno. Neste caso a projeção UTM é classificada neste artigo como "falsa" e como as distâncias já são reais não necessitam de correções. Os valores obtidos para os fatores de escala são fáceis de serem introduzidos nas estações totais, o que pode ser feito na maioria dos modelos do mercado, nas opções de "ajuste" ou "settings" SILVA et al. (2016).

Denomina-se coordenadas pseudo-UTM as coordenadas planas similares ao sistema UTM calculadas no plano topográfico local, a partir de um ponto de coordenadas planas UTM, utilizadas como base. Para se efetuar o transporte de coordenadas UTM, a partir das suas equivalentes pseudo-UTM, é necessário calcular o coeficiente de deformação linear levando em consideração a altitude média local (Kr) e a convergência meridiana (C). Adicionando-se os fatores de correção nas coordenadas pseudo-UTM, as mesmas podem ser transformadas novamente em UTM, conforme demonstrado em (BARATTO et al., 2017).

Apesar do supracitado, Baratto et al. (2017) propõe o uso de coordenadas pseudo-UTM, visando facilitar o intercâmbio de dados entre o Plano Topográfico Local e o sistema de coordenadas UTM para obras internacionais de integração em regiões de fronteira. As coordenadas pseudo-UTM são coordenadas que mantém algumas características do sistema plano UTM como o azimute de quadrícula e as constantes das coordenadas, porém com as distâncias referenciadas ao plano horizontal local, onde a base para a criação desse plano são as coordenadas UTM.

2.2.2 FATOR DE ESCALA (K)

Na projeção UTM as linhas de secância do cilindro estão situadas entre o meridiano central e as bordas de cada fuso, o que infere, assim, duas linhas onde a distorção é nula, ou seja, o fator escala igual a 1. Entre os círculos de secância, fica estabelecida a zona de redução e, externa a eles a zona de ampliação (IBGE, 2005). No meridiano central o coeficiente de redução de escala corresponde a 0,9996, enquanto nos limites do fuso o coeficiente de ampliação é igual 1,000977.

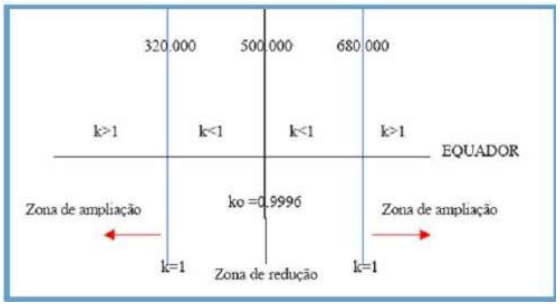
Para saber a qual zona (ampliação/redução) de uma determinada localidade de posse apenas de suas coordenadas geodésicas, deve-se saber a posição da longitude em relação ao meridiano central (MC) (Quadro 1). Para conhecimento

se o valor de área da região trabalhada sofrerá redução ou ampliação em função das coordenadas UTM e geodésicas, faz-se a sugestão de consulta as Figuras 1 e 2, respectivamente.

Quadro 1 - Parâmetros do SIRGAS2000

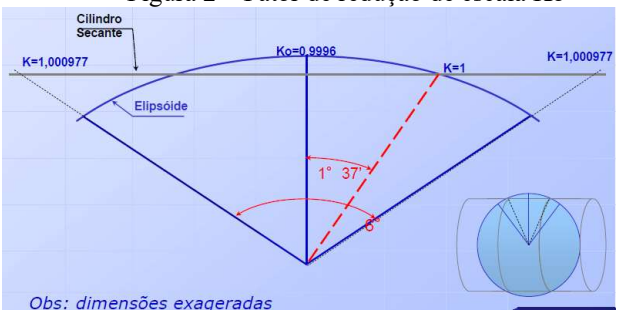
Longitude (λ)	**Fator de escala (K)**
$\lambda = MC$	$K = 1$
$MC - 1°37' \leq \lambda \leq MC + 1°37'$	$K \leq 1$ (redução)
$\lambda \geq MC + 1°37'$	$K \geq 1$ (ampliação)
$\lambda \leq MC - 1°37'$	$K \leq 1$ (ampliação)

Figura 1 – Zonas de ampliação e redução de um fuso UTM



Fonte: CRUZ e PINA, 2002

Figura 2 – Fator de redução de escala Ko



Fonte: https://edisciplinas.usp.br/

2.3 SISTEMA GEODÉSICO LOCAL (SGL)

O SGL é o sistema de representação, em planta, das posições relativas de pontos de um levantamento topográfico com origem em um ponto de coordenadas geodésicas conhecidas, onde todos os ângulos e distâncias de sua determinação são representados em verdadeira grandeza sobre o plano tangente à superfície de referência (elipsoide de referência) do sistema geodésico adotado, na origem do sistema, no pressuposto de que haja na área de abrangência do sistema a coincidência da superfície de referência com a do plano tangente (ABNT, 1998).

Antes do início do levantamento, o profissional deve pesquisar nas proximidades da área um vértice do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) que esteja em bom estado, o qual será eleito para servir de amarração do Sistema Topográfico Local e ao Sistema Cartográfico em função UTM ao SGB (ABNT, 1998). Quando o desvio da vertical não é conhecido, pode-se substituir o Sistema Topográfico Local pelo SGL.

A topografia clássica pode ser adotada de forma isolada ou em complemento a trabalhos conduzidos por posicionamento GNSS. Pela praticidade, os vértices de referência devem ter suas coordenadas determinadas por meio de posicionamento por GNSS (INCRA, 2013).

As coordenadas plano-retangulares da origem do Sistema Topográfico Local (0,0) são adicionadas os valores constantes 150.000 m e 250.000 m, respectivamente, para a abscissa (X) e para a ordenada (Y), no escopo de evitarem-se valores negativos nos demais pontos da área de abrangência do sistema (ABNT, 1998). Apesar da norma citar as coordenadas iniciais 150.000 m e 250.000 m para o STL, esta origem é também adotada para o SGL.

2.4 TRANSFORMAÇÃO ENTRE COORDENADAS

Para este trabalho, as notações dos parâmetros para transformação de sistemas geodésicos seguem o IBGE em sua resolução nº. 23 de 1989. São elas:

φ - Latitude geodésica; λ - Longitude geodésica; h - Altitude elipsoidal; X, Y, Z - Coordenadas cartesianas geocêntricas; N - raio de curvatura seção primeiro vertical; a, b - semi-eixos maior e menor do elipsóide; f - achatamento do elipsóide; e, e' - primeira e segunda excentricidades do elipsóide.

A transformação de coordenadas geodésicas em cartesianas geocêntricas se dá pelas equações 1 a 3 (IBGE, 1989):

$$X = (N + h) \cdot \cos\varphi \cdot \cos\lambda \quad (1)$$

$$Y = (N + h) \cdot \cos\varphi \cdot \text{sen}\lambda \quad (2)$$

$$Z = [\, N \cdot (1 - e^2) + h \,] \cdot \text{sen}\varphi \quad (3)$$

Já a transformação de coordenadas cartesianas geocêntricas em geodésicas se dá pelas equações 4 a 7 (IBGE, 1989):

$$\varphi = \arctan\left(\frac{Z + e'^2 \cdot b \cdot \mathrm{sen}^3 u}{\sqrt{X^2 + Y^2} - e^2 \cdot a \cdot \cos^3 u}\right) \quad (4)$$

$$\lambda = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (5)$$

$$h = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{\cos} - N \quad (6)$$

$$\text{Sendo: } \mathrm{sen}\, u = \frac{\tan u}{\sqrt{1+\tan^2 u}} \quad ; \quad \cos u = \frac{1}{\sqrt{1+\tan^2 u}} \quad ; \quad \tan u = \frac{Z}{\sqrt{Y^2 + Y^2}} \cdot \frac{a}{b} \quad (7)$$

A conversão de coordenadas cartesianas geocêntricas (X, Y, Z) para coordenadas cartesianas locais (e, n, u) é feita por meio do método das rotações e translações, conforme modelo funcional a seguir (TORGE 2001; GARNÉS et al., 1988, DAL'FORNO et al., 2010):

$$\begin{bmatrix} e \\ n \\ u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & sen(\varphi o) & \cos(\varphi o) \\ 0 & -\cos(\varphi o) & sen(\varphi o) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -sen(\lambda o) & cos\,(\lambda o) & 0 \\ -\cos(\lambda o) & -sen(\lambda o) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X\text{-}Xo \\ Y\text{-}Yo \\ Z\text{-}Zo \end{bmatrix} \quad (8)$$

Onde: e, n, u = são as coordenadas cartesianas locais do vértice de interesse;
X, Y, Z = são as coordenadas cartesianas geocêntricas do vértice de interesse;
φ_0, λ_0 = são a latitude e a longitude adotadas como origem do SGL;
X_0, Y_0, Z_0 = são as coordenadas cartesianas geocêntricas adotadas como origem do SGL.

A conversão de coordenadas cartesianas locais para coordenadas cartesianas geocêntricas é realizada conforme o seguinte modelo funcional: (GARNÉS et al., 1988)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -sen(\lambda o) & -cos\,(\lambda o) & 0 \\ \cos(\lambda o) & -sen(\lambda o) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & sen(\varphi o) & -\cos(\varphi o) \\ 0 & \cos(\varphi o) & sen(\varphi o) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e \\ n \\ u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Xo \\ Yo \\ Zo \end{bmatrix} \quad (9)$$

A principal aplicação dessa conversão se dá quando se utiliza métodos de posicionamento por topografia clássica. A seguir será apresentada a sequência de cálculos: (GARNÉS et al., 1998)

a) Determinar as coordenadas cartesianas geocêntricas dos vértices de apoio;
b) Converter as coordenadas cartesianas geocêntricas dos vértices de apoio para cartesianas locais, conforme equação 8, e usando como origem do sistema, a média das coordenadas geocêntricas destes vértices ou as coordenadas de um vértice de apoio escolhido;
c) De posse das observações topográficas (ângulos e distâncias), efetuar o cálculo (processamento e ajustamento) para determinação das coordenadas cartesianas locais dos vértices;
d) Converter as coordenadas cartesianas locais para geocêntricas, conforme equação 9 e usar como origem do sistema o mesmo valor de coordenadas de origem do item b.

Caso os pontos de coordenadas conhecidas apenas possuam coordenadas UTM em sua descrição, será necessário converter tais coordenadas para coordenadas geodésicas. A conversão se dá da seguinte forma (equações 10 e 11): (SILVEIRA, 1990)

$$\varphi = \varphi' - VII \cdot q^2 + VIII \cdot q^4 - D'_6 \cdot q^6 \quad (10)$$

$$\Delta\lambda = IX \cdot q - X \cdot q^3 + E'_5 \cdot q^5 \text{ (segundos)} \quad (11)$$

Sendo:
$q = 0{,}000001 \cdot E'$
$E' = |\, cte - E \,|$
cte = 500.000,00 m
N' = 10.000.000 – N (hemisfério sul)
Ko = 0,9996 (fator de escala)

φ' é determinado por processo iterativo. A iteração acaba quando $B'_i = B'_{i+1}$ e $\varphi_i = \varphi_{i+1} >>> \varphi' = \varphi_i$

Para i = 0: $B'_o = \frac{N'}{K_o}$

$$\varphi_{i+1} = \frac{1}{\alpha} \cdot [\, B'_i + \beta \cdot \operatorname{sen}(2 \cdot \varphi_i) - \gamma \cdot \operatorname{sen}(4 \cdot \varphi_i) + \delta \cdot \operatorname{sen}(6 \cdot \varphi_i) - \varepsilon \cdot \operatorname{sen}(8 \cdot \varphi_i) + \xi \cdot \operatorname{sen}(10 \cdot \varphi_i)]$$

$$B'_{i+1} = \alpha \cdot \varphi_{i+1} - \beta \cdot \operatorname{sen}(2 \cdot \varphi_{i+1}) + \gamma \cdot \operatorname{sen}(4 \cdot \varphi_{i+1}) - \delta \cdot \operatorname{sen}(6 \cdot \varphi_{i+1}) + \varepsilon \cdot \operatorname{sen}(8 \cdot \varphi_{i+1}) - \xi \cdot \operatorname{sen}(10 \cdot \varphi_{i+1})$$

O Quadro 2 mostra parâmetros do elipsóide de revolução do SIRGAS2000 apresentados pelo IBGE, definidos através da comissão da IUGS (época 2000.4). Os Quadros 3 e 4 mostram os coeficientes e as expressões analíticas para cálculo dos coeficientes SIRGAS2000 por coordenadas geodésicas, respectivamente.

Quadro 2 - Parâmetros do SIRGAS2000

Semi eixo maior:	a =	6378137
Achatamento:	f =	0,00335281068118232
Primeira excentricidade:	e^2 =	0,00669438002290079
Segunda excentricidade:	e'^2 =	0,00673949677547896
Semi eixo menor:	b =	6356752,31414036

Quadro 3 - Coeficientes (auxiliares para cálculo) em SIRGAS2000

A =	1,00505250181309	α =	111132,952546998
B =	0,00506310862222411	β =	16038,508741268
C =	$1{,}06275902633386 \cdot 10^{-5}$	γ =	16,8326133266222
D =	$2{,}08203785716502 \cdot 10^{-8}$	δ =	0,0219843742012679
E =	$3{,}93237137112417 \cdot 10^{-11}$	ε =	$3{,}11416252916485 \cdot 10^{-5}$
F =	$6{,}55454794289611 \cdot 10^{-14}$	ξ =	$4{,}15259408086807 \cdot 10^{-8}$

Quadro 4 – Expressões analíticas para cálculo dos coeficientes SIRGAS2000 por coordenadas geodésicas

VII =	$\frac{\tan \varphi'}{2 \cdot N^2 \cdot \operatorname{sen} 1''} \cdot [\, 1 + e'^2 \cdot \cos^2(\varphi') \,] \cdot \frac{1}{K_o^2} \cdot 10^{12}$
VIII =	$\frac{\tan \varphi'}{24 \cdot N^4 \cdot \operatorname{sen} 1''} \cdot [5+3 \cdot \tan^2(\varphi')+6 \cdot e'^2 \cdot \cos^2(\varphi')-6 \cdot e'^2 \cdot \operatorname{sen}^2(\varphi')-3 \cdot e'^4 \cdot \cos^4(\varphi')-9 \cdot e'^4 \cdot \cos^2(\varphi') \cdot \operatorname{sen}^2(\varphi')] \cdot \frac{1}{K_o^4} \cdot 10^{24}$
$D'_6 \cdot q^6$ =	$\frac{\tan \varphi'}{720 \cdot N^6 \cdot \operatorname{sen} 1''} \cdot [61+90 \cdot \tan^2 \varphi'+45 \cdot \tan^4 \varphi'+107 \cdot e'^2 \cdot \cos^2 \varphi'-162 \cdot e'^2 \cdot \operatorname{sen}^2 \varphi'-45 \cdot e'^2 \cdot \tan^2 \varphi' \cdot \operatorname{sen}^2 \varphi'] \cdot \frac{1}{Ko^6} \cdot 10^{36}$
IX =	$\frac{\sec \varphi'}{N \cdot \operatorname{sen} 1''} \cdot \frac{1}{K_o} \cdot 10^6$
X =	$\frac{\sec \varphi'}{6 \cdot N^3 \cdot \operatorname{sen} 1''} \cdot [\, 1 + 2 \cdot \tan^2(\varphi') + \cdot e'^2 \cdot \cos^2(\varphi') \,] \cdot \frac{1}{Ko^3} \cdot 10^{18}$
$E'_5 \cdot q^5$ =	$\frac{\sec \varphi'}{120 \cdot N^5 \cdot \operatorname{sen} 1''} \cdot [\, 5 + 28 \cdot \tan^2(\varphi') + 24 \cdot \tan^4(\varphi') + 6 \cdot e'^2 \cdot \varphi' + 8 \cdot e'^2 \cdot \operatorname{sen}^2(\varphi') \,] \cdot \frac{1}{Ko^5} \cdot 10^{30}$
N =	$\frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot (\operatorname{sen} \varphi)^2}}$ (Grande Normal)

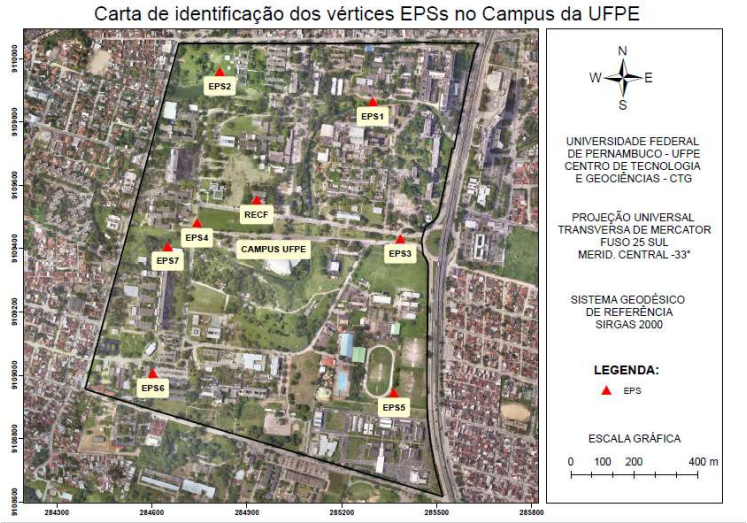
Fonte: SILVEIRA (1990)

2.5 ÁREA TESTE

Para exemplificar a diferença de valores de áreas, escolheu-se como região teste um polígono de 7 (sete) vértices no *Campus* Recife da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Nessa região existem 7 (sete) marcos implantados e descritos em (VILA FLOR, 2010) que foram materializados de acordo com o vértice de 1ª ordem (padrão da RIBaC/RBMC) descrito em (IBGE, 2008). Esses marcos geodésicos são denominados de EPS-01, EPS-02, EPS-03, EPS-04, EPS-05, EPS-06 e EPS-07 e fazem parte da Rede de Referência Cadastral do Campus Recife da UFPE. O ajustamento do rastreio GPS (VILA FLOR, 2010), fornece as coordenadas (latitude, longitude, altitude elipsoidal) dos EPSs no Sistema Geodésico de Referência em SIRGAS2000. As coordenadas dos EPSs apresentadas no Sistema Geodésico Local-SGL (x, y) e no Sistema UTM (E, N), encontram-se em (MENDONÇA et al., 2010), tendo sido escolhido como origem do SGL o vértice da RBMC-RECF (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo).

Sendo assim, o polígono escolhido para a aplicação da metodologia desse trabalho é formado pelos vértices supracitados, localizados dentro do *Campus* da UFPE, compreendido no fuso 25, MC -33° da projeção UTM (Figura 3).

Figura 3 – Identificação dos vértices EPSs no *Campus* da UFPE



Fonte: As autoras, Ortofotos PCR 2013/2014 (2018)

O Campus da UFPE dispôs até fevereiro de 2018 de uma estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC), a RECF. As coordenadas da estação da RBMC – RECF estão dispostas na Figura 4 e as coordenadas dos marcos geodésicos no SGL e no sistema UTM estão dispostas na Figura 5.

Figura 4 – Coordenadas da RBMC estação Recife (RECF) – SIRGAS2000

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	- 08° 03' 3,46972"	Sigma:	0,001 m
Longitude:	- 34° 57' 5,45911"	Sigma:	0,002 m
Alt. Elip.:	20,180 m	Sigma:	0,002 m
Coordenadas Cartesianas			
X:	5.176.588,6532 m	Sigma:	0,002 m
Y:	-3.618.162,1632 m	Sigma:	0,001 m
Z:	-887.363,9200 m	Sigma:	0,001 m
Coordenadas Planas (UTM)			
UTM (N):	9.109.554,894 m		
UTM (E):	284.931,043 m		
MC:	-33		

Fonte: IBGE (2017)

Figura 5 – Coordenadas na projeção UTM e no SGL da Rede Cadastral da UFPE.

PTO	E (m)	N (m)	X (m)	Y (m)	h (m)
RECF	284.931,043	9.109.554,895	150.000,000	250.000,000	20,180
EPS1	285.297,190	9.109.864,811	150.367,559	250.308,113	2,787
EPS2	284.814,681	9.109.960,583	149.885,595	250.406,169	4,332
EPS3	285.384,804	9.109.430,884	150.453,087	249.873,847	5,200
EPS4	284.742,576	9.109.481,118	149.811,215	249.927,136	4,892
EPS5	285.364,818	9.108.945,773	150.430,788	249.388,919	3,083
EPS6	284.603,506	9.109.006,560	149.669,906	249.453,330	4,586
EPS7	284.650,091	9.109.407,837	149.718,398	249.854,310	4,637

Fonte: Mendonça et al. (2010).

De acordo com Mendonça et al. (2010) as equações utilizadas na transformação para o SGL foram as "cartesianas" conforme apresentadas em Garnés et al. (1998) e Garnés et al. (2005), em preferências as da NBR 14166 (1998) por causa das aproximações e simplificações nelas contidas.

3 CÁLCULOS (ÁREA, DISTÂNCIA, AZIMUTE E COORDENADAS), RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando-se que a área de estudo segue o seguinte caminhamento dos vértices: EPS-01 > EPS-03 > EPS-05 > EPS-06 > EPS-07 > EPS-04 > EPS-02 > EPS-01. De posse dos valores das coordenadas dos EPSs em UTM e SGL:

Percebe-se facilmente a discrepância entre os valores calculados de área, distância (perímetro) e azimute, entre os dois sistemas planos aqui comparados: SGL e UTM. Um indicador de como alguns desses valores se apresentam em relação às coordenadas geodésicas é o fator de escala (k). Para a região de estudo, as coordenadas localizam-se em uma zona de ampliação do fuso.

Observa-se que para todos os vértices apresentados, o fator de escala para as coordenadas geodésicas e UTM dos EPSs, Figuras 4 e 6, respectivamente, encontra-se em uma região de ampliação da projeção UTM. Tal informação pode ser ratificada analisando-se o intervalo apresentado nas Figuras 1 e 2. Dessa forma, tem-se que:

- Todas as coordenadas E (UTM) são ≤ 320.000 (fuso 25), logo a região é de ampliação;
- Todas as coordenadas λ (longitude) > 34°37' (MC -33°), ratificando que a região é de ampliação;

3.1 CÁLCULO DE ÁREA

Para os valores de áreas, aplicando-se o método de Gauss para as coordenadas UTM e no SGL, tem-se (as equações de Gauss podem ser encontradas no livro de ESPARTEL, 1987):

Para as coordenadas em UTM (SIRGAS2000):	Para as coordenadas no SGL (SIRGAS2000):
$2 \cdot A = \Sigma\ E_i \cdot (N_{i-1} - N_{i+1}) = 614.262{,}592802\ m^2$	$2 \cdot A = \Sigma\ Xi \cdot (Yi-1 - Yi+1) = 614.052{,}070119\ m^2$
$2 \cdot A = \Sigma\ Ni \cdot (E_{i+1} - E_{i-1}) = 614.262{,}592802\ m^2$	$2 \cdot A = \Sigma\ Yi \cdot (Xi+1 - Xi-1) = 614.052{,}070119\ m^2$

Logo, percebe-se um valor acrescido de área de 210,52 m² (para o polígono teste desse trabalho) quando a medição é realizada pelas coordenadas UTM ao invés do SGL, como recomendado pelo INCRA (SGL ao invés de UTM), este aumento de área é explicado pelo k>1.

3.2 CÁLCULOS DAS DISTÂNCIAS

O valor da distância (m) deve seguir o 'teorema de Pitágoras' para as coordenadas UTM e SGL. O perímetro do objeto de estudo é de 3.190,690m no plano UTM e 3.190,126m no SGL. Assim como para o valor de área, o k>1 também pode ser um indicador para a diferença no valor das distâncias, neste caso o perímetro teve um acréscimo de 56,4 cm.

Plano retangular UTM $(\sqrt{(E_A - E_B)^2 + (N_A - N_B)^2})$	Plano retangular local (SGL) $(\sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2})$
$d_{(EPS-01/EPS-03)}$ = 442,684 m	$d_{(EPS-01/EPS-03)}$ = 442,602 m
$d_{(EPS-03/EPS-05)}$ = 485,523 m	$d_{(EPS-03/EPS-05)}$ = 485,436 m
$d_{(EPS-05/EPS-06)}$ = 763,735 m	$d_{(EPS-05/EPS-06)}$ = 763,602m
$d_{(EPS-06/EPS-07)}$ = 403,972 m	$d_{(EPS-06/EPS-07)}$ = 403,902 m
$d_{(EPS-07/EPS-04)}$ = 117,998 m	$d_{(EPS-07/EPS-04)}$ = 117,977 m
$d_{(EPS-04/EPS-02)}$ = 484,856 m	$d_{(EPS-04/EPS-02)}$ = 484,773 m
$d_{(EPS-02/EPS-01)}$ = 491,922 m	$d_{(EPS-02/EPS-01)}$ = 491,835 m
Σ = 3.190,690 m	Σ = 3.190,126 m

Para fins de comparação, as distâncias do menor e maior lado do polígono foram também calculadas segundo o 'problema geodésico inverso de Puissant' para as coordenadas geodésicas, o qual pode ser encontrado em SILVEIRA (1990). Obtendo-se os seguintes valores: $d_{(EPS-05/EPS-06)}$ = 763,603 m e $d_{(EPS-07/EPS-04)}$ = 117,977m.

3.3 CÁLCULOS DOS AZIMUTES

O cálculo do azimute deu-se pelas equações trigonométricas para as coordenadas planas (SGL e UTM). A discrepância dos azimutes planos alcança o valor de 0°16'25,17". Para a área teste, a média da discrepância dos azimutes fica na ordem de grandeza dos 16 minutos. Apesar da propriedade UTM da conformidade, esses 16 minutos de diferença no azimute apenas reforçam que tal propriedade apenas é válida para os ângulos internos e /ou externos.

Plano retangular UTM Az = arc tang (ΔE/ΔN)	Plano retangular local (SGL) Az = arc tang (ΔX/ΔY)	DIFERENÇA $Az_{(SLG)} - Az_{(UTM)}$
$Az_{(EPS-01/EPS-03)}$ = 168°35'5,66"	$Az_{(EPS-01/EPS-03)}$ = 168°51'29,82"	16'24,16"
$Az_{(EPS-03/EPS-05)}$ = 182°21'33,06"	$Az_{(EPS-03/EPS-05)}$ = 182°37'58,23"	16'25,17"
$Az_{(EPS-05/EPS-06)}$ = 274°33'54,36"	$Az_{(EPS-05/EPS-06)}$ = 274°50'19,42"	16'25,06"
$Az_{(EPS-06/EPS-07)}$ = 06°37'18,96"	$Az_{(EPS-06/EPS-07)}$ = 06°53'43,82"	16'24,86"

$Az_{(EPS-07/EPS-04)}$ =	51°36'29,74"	$Az_{(EPS-07/EPS-04)}$ = 51°52'53,72" 16'23,98"
$Az_{(EPS-04/EPS-02)}$ =	08°33'08,69"	$Az_{(EPS-04/EPS-02)}$ = 08°49'33,25" 16'24,56"
$Az_{(EPS-02/EPS-01)}$ =	101°13'35,69"	$Az_{(EPS-02/EPS-01)}$ = 101°29'59,72" 16'24,03"

Para fins de comparação, o azimute do menor lado do polígono foi também calculado segundo o 'problema geodésico direto de Puissant' para as coordenadas geodésicas, o qual (problema geodésico de Puissant) pode ser encontrado em Silveira (1990). Obtendo-se o seguinte valor: $Az_{(EPS-07/EPS-04)}$ = 51°52'55,18".

3.4 CÁLCULOS DAS COORDENADAS

Para o transporte de coordenadas, considerando-se conhecidos os pontos EPS-04 e EPS-07, simulou-se o transporte para os azimutes de partida conhecidos no SGL e no sistema UTM. Dessa forma, o azimute de partida no sistema UTM está rotacionado de -16'23,98" em relação ao azimute do mesmo alinhamento descrito no SGL, ocasionando-se as seguintes coordenadas equivocadas no SGL:

COORDENADAS NO SGL	COORDENADAS EQUIVOCADAS NO SGL	Δ(m)
$X_{CALCULADO} = X_{CONHECIDO} + d_{(SGL)} \cdot senAz_{(SGL)}$ $Y_{CALCULADO} = Y_{CONHECIDO} + d_{(SGL)} \cdot cosAz_{(SGL)}$	$X_{CALCULADO} = X_{CONHECIDO} + d_{(SGL)} \cdot senAz_{(UTM)}$ $Y_{CALCULADO} = Y_{CONHECIDO} + d_{(SGL)} \cdot cosAz_{(UTM)}$	
$X_{CONHECIDO} = X_{EPS-07}$ = 149.718,398 $Y_{CONHECIDO} = Y_{EPS-07}$ = 249.854,310	$X_{CONHECIDO} = X_{EPS-07}$ = 149.718,398 $Y_{CONHECIDO} = Y_{EPS-07}$ = 249.854,310	d (m) = | EPS(UTM) – EPS(SGL) |
X_{EPS-04} = 149811,215 / Y_{EPS-04} = 249927,136	X_{EPS-04} = 149810.8665 / Y_{EPS-04} = 249927.5780	d_{EPS-04} = 0,5628
X_{EPS-02} = 149885,595 / Y_{EPS-02} = 250406,169	X_{EPS-02} = 149882.9605 / Y_{EPS-02} = 250406.9603	d_{EPS-02} = 2,7508
X_{EPS-01} = 150367,559 / Y_{EPS-01} = 250308,113	X_{EPS-01} = 150365.3868 / Y_{EPS-01} = 250311.2046	d_{EPS-01} = 3,7785
X_{EPS-03} = 150453,087 / Y_{EPS-03} = 249873,847	X_{EPS-03} = 150452.9854 / Y_{EPS-03} = 249877.3516	d_{EPS-03} = 3,5060
X_{EPS-05} = 150430,788 / Y_{EPS-05} = 249388,919	X_{EPS-05} = 150433.0000 / Y_{EPS-05} = 249392.3227	d_{EPS-05} = 4,0593
X_{EPS-06} = 149669,906 / Y_{EPS-06} = 249453,33	X_{EPS-06} = 149671.8194 / Y_{EPS-06} = 249453.1032	d_{EPS-06} = 1,9268

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho evidenciou a importância de atender as exigências do INCRA em seu manual técnico de posicionamento (georreferenciamento de imóveis rurais) quanto a transformação de sistema de coordenadas, especialmente no que diz respeito ao atendimento ao SGL, complementando a NBR 14166 no mesmo tema. A visualização em valor de área facilita ao técnico de áreas afins (Ciências Geodésicas) quantificar o quanto os trabalhos entregues em coordenadas UTM precisam ser revistos, quando este é entregue com valores de áreas/azimutes/distância/coordenadas que foram calculadas no plano Local utilizando coordenadas e azimute inicial no Sistema UTM. A metodologia para converter estes trabalhos geodésicos apresenta-se de forma sucinta e coerente, a fim de facilitar as conversões para o SGL.

Levantamentos topográficos por terem pontos de partida em dois vértices conhecidos, levantados com estação total, geralmente UTM, acabam envolvendo uma diversidade de coordenadas em seus trabalhos finais, e por vezes aprovados equivocadamente no órgão ao qual são apresentados.

É possível visualizar neste trabalho, que dependendo da zona do fuso UTM, pode-se saber se a geometria de áreas/azimutes/distâncias/coordenadas de estudo sofrerá reduções ou ampliações em seus valores, principalmente no que diz respeito à área e aos deslocamentos dos vértices levantados quando calculados a partir de azimute inicial vindo de coordenadas no sistema UTM em vez de azimute inicial vindo de coordenadas no SGL, como apresentado no item 3.4.. Entre os azimutes calculados para esta área ocorreu uma discrepância na ordem de grandeza de 16 minutos, resultando em um deslocamento de no mínimo 0,563m (EPS-04) e no máximo 4,059m (EPS-05) entre os mesmos marcos geodésicos determinados pelo método da poligonação utilizando como azimute inicial o azimute plano Local no SGL e o azimute plano UTM.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR – 14166 – **Rede de Referência Cadastral Municipal** - Procedimento. 1998.

BARATTO, P. F. B.; MARTINS, V. E.; NETO, R. F.; SILVEIRA, L. N.; NEDEL, E. C. **Utilização de coordenadas pseudoutm no transporte de coordenadas UTM sobre o plano topográfico local em regiões de fronteira**. Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Exposicarta. 6 a 9 de novembro de 2017, SBC, Rio de Janeiro - RJ, p. 230-234.

CRUZ, C. B. M; PINA, M. F**. Fundamentos de Cartografia. CEGEOP Unidades didáticas 29 a 41**. Volume 2. Rio de Janeiro: LAGEOP /UFRJ, 2002.

DAL'FORNO, G. L.; AGUIRRE, A. J.; HILLEBRAND, F. L.; GREGÓRIO, F. V. **Transformação de Coordenadas Geodésicas em Coordenadas no Plano Topográfico Local Pelos Métodos da Norma NBR 14166;1998 e o de Rotações e Translações.** III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife-PE, 2010.

DALAZOANA, R.; FREITAS, S. R. C. de. **A evolução do sistema geodésico brasileiro e futura adoção do SIRGAS: implicações na cartografia.** In: 30 ANOS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS NO BRASIL, 1, 2001, Curitiba, PR. Anais do I Colóquio em Ciências Geodésicas, Curitiba: UFPR, 2001.

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia.** Editora Globo, 1987.

GARNÉS, S. .J. A.; SIQUEIRA, V.P.; CACHO, J.P. **Definicao para implantacao do sistema topografico local de Campo Grande-MS e analise das formulas da NBR-14.166.** In: Anais do IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, CD-ROM, 2005, Curitiba-PR, 2005

GARNÉS, S. J. A. **Sistema de projeção e orientação das plantas topográficas.** In.: COBRAC 98. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário · UFSC Florianópolis · 18 a 22 de Outubro 1998.

GARNÉS,S.J.A; DALMOLIN, Q. **Trilateração em redes topográficas: solução do problema linear por ajustamento livre**. Cartografia e Cadastro, Lisboa, n.9, dez. 1998.

IBGE (2005). **Noções Básicas de Cartografia.**

IBGE. Resolução nº 23 **PARÂMETROS PARA TRANSFORMAÇÃO DE SISTEMAS GEODÉSICOS**, de 21 de fevereiro de 1989.

INCRA**. Manual técnico de posicionamento - Georreferenciamento de Imóveis Rurais.** 1a Edição. Brasília. 2013.

MENDONÇA, F. J. B.; GARNÉS, S. J. A. G. ;PEREIRA, C. M.; NETO, J. A. B.; MELO, W. D. A.. **Análise do ajustamento por mínimos quadrados de uma trilateração topográfica com injunções nos planos utm e topocêntrico.** In.: III SIMGEO. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação – UFPE Recife - 27-30 de Julho de 2010.

PRINA, B. Z.; TRENTIN, R.; SÁ, R. G. C.; CARVALHO, L. F. D. **Georreferenciamento de imóveis rurais: análise do cálculo de área.** Revista do Departamento de Geografia – USP, Volume 29, p. 116 a 136. 2015. Quando são 3 autores os 3 são citados no texto do trabalho em vez de et al.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy. 2nd completely revised and extended edition**. Walter de Gruyter · Berlin · New York 2003

SILVA, D. C; FEDERICO, L. N. S.; COSTA, G. C.. **Cálculo aproximado de fator de escala UTM para uso direto em estações totais**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, Brasil. Rev. Bras. Geom., v.4, n. 1, p.59-67, jan/abr. 2016.

SILVA, D. C.; FREDERICO, L. N. S. **Cálculo de fator de escala UTM para medições com estações totais**. Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 12- 14 de Nov de 2014.

SILVA, M. B. S.; MELO, W. D. A., SILVA, E. V. S., NETO, J. P. S., ARAÚJO, A. S., SEIXAS, A. de**. Análise comparativa entre coordenadas nos sistemas geodésico local e utm baseada em uma poligonal fechada.** Simpósio regional de geoprocessamento e sensoriamento remoto - GEONORDESTE 2017. Salvador-BA - Brasil. 03-06 de outubro de 2017.

SILVEIRA, L. C. **Curso: cálculos geodésicos no sistema UTM aplicados a topografia.** 2ª ed. Editora e Livraria Luana. 1990.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

A MEDIDA ADOP E OS FATORES QUE INFLUENCIAM NA SOLUÇÃO DAS AMBIGUIDADES

VÍCTOR VINÍCIUS SILVA DE MORAES
CRISLAINE MENEZES DA SILVA
DANIELE BARROCA MARRA ALVES

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT
Departamento de Cartografia, Presidente Prudente, SP
victormoraes2208@gmail.com, crismenezes_@live.com, daniele.barroca@unesp.br

RESUMO – Os métodos de posicionamento baseados nos sistemas globais de navegação por satélite (GNSS – *Global Navigation Satellite System)* se mostram eficazes ao que diz respeito a determinação da posição de pessoas ou objetos, seja para finalidades civis, militares ou científicas, sendo os resultados mais precisos alcançados com a utilização da observável fase da onda portadora. Contudo, essa observável é ambígua, isto é, o número de ciclos entre o satélite e o receptor é desconhecido no início da coleta dos dados. Assim, para posicionamento com alta precisão é necessário solucionar essas ambiguidades. Para fornecer um indicativo na solução das ambiguidades no planejamento das observações, a medida ADOP (*Ambiguity Dilution of Precision)* na forma fechada pode ser utilizada. Tais expressões foram desenvolvidas para diferentes modelos, considerando ou não a geometria entre o satélite e o receptor, e assim, é possível verificar a influência dos fatores que as compõem na solução das ambiguidades. Como resultados, obtêm-se que a solução das ambiguidades é beneficiada pelo aumento da quantidade de frequências e menores valores de desvios-padrão das observáveis.

ABSTRACT – Positioning methods based on the Global Navigation Satellite System (GNSS) are effective in determining the position of persons or objects, whether for civil, military or scientific purposes, with the most accurate results achieved with the use of the observable carrier wave phase. However, this observable is ambiguous, that is, the number of cycles between the satellite and the receiver is unknown at the beginning of the data collection. Thus, for positioning with high precision it is necessary to solve these ambiguities. To provide a code for solving ambiguities in planning observations, the Ambiguity Dilution of Precision (ADOP) measure in closed form can be used. These expressions were developed for different models, considering or not the geometry between the satellite and the receiver, and thus, it is possible to verify the influence of the factors that compose them in the solution of the ambiguities. As results, it is obtained that the solution of the ambiguities is benefited by the increase of the quantity of frequencies and smaller values of standard deviations of the observables.

1 INTRODUÇÃO

O processo de solução das ambiguidades visa determinar o número desconhecido de ciclos inteiros de duplas diferenças (DDs) da fase da onda portadora, sendo um pré-requisito no posicionamento por GNSS de alta acurácia. Em geral, para solucionar as ambiguidades, é necessário a realização de duas etapas fundamentais: a estimação dos valores inteiros para as ambiguidades e a validação, que geralmente está relacionada a verificação da coerência do valor estimado, sendo avaliado a possibilidade de uso ou não do valor inteiro obtido (TEUNISSEN e KLEUSBERG, 1998).

Em geral, solucionar as ambiguidades não é um processo trivial, sendo objeto de estudo da comunidade científica internacional nas últimas décadas. Com isso, Teunissen (1997) introduziu a medida ADOP, que proporciona uma visão geral da qualidade das ambiguidades, uma vez que em sua determinação utiliza-se a MVC (Matriz de Variância e Covariância) das ambiguidades. Além desta forma de obter a medida ADOP, algumas expressões na forma fechada foram desenvolvidas e podem considerar diferentes modelos de geometria entre o satélite e o receptor, sendo compostas por fatores como quantidades de frequências, épocas, satélites e desvios-padrão das observáveis fase da onda portadora, pseudodistância e ionosférica, bem como pela variação das extensões das linhas de base (ODIJK e TEUNISSEN, 2008).

Portanto, nesse artigo busca-se apresentar o relacionamento da medida ADOP com os fatores que compõem as expressões na forma fechada, de modo que são analisadas suas influências em linhas de base curtas e longas, e ainda, comparar os diferentes modelos de geometria abordados, com base em tais fatores.

2 MEDIDA ADOP

A medida ADOP é uma das formas utilizadas para indicar a solução das ambiguidades, que pode ser determinada por cálculo simples resultando em um escalar, em que as características intrínsecas das ambiguidades são capturadas, conforme definido por Teunissen (1997) e identificado na Equação 01.

$$ADOP = |Q_{\hat{a}}|^{\frac{1}{2n}} \tag{01}$$

em que $Q_{\hat{a}}$ é a MVC das ambiguidades, $|.|$ representa o determinante e n indica o número de duplas diferenças.

Em geral, a medida ADOP pode ser aplicada na determinação da probabilidade da estimativa inteira correta, que dispõe a respeito do sucesso na solução das ambiguidades. Essa taxa de sucesso é denominada por P_{ADOP} e pode ser calculada a partir da função de densidade acumulada da normal padrão (Φ), conforme identificado na Equação 02 (ODIJK e TEUNISSEN, 2008).

$$P_{ADOP} \approx \left(2\Phi\left(\frac{1}{2ADOP}\right) - 1\right)^n \tag{02}$$

3 EXPRESSÕES DO ADOP NA FORMA FECHADA

As expressões da medida ADOP na forma fechada são úteis em simulações e planejamento das observações GNSS. Foram desenvolvidas por Odijk e Teunissen (2008) e utilizam um modelo de ionosfera ponderada para alguns tipos de modelos GNSS, como por exemplo, de geometria fixa, livre de geometria e baseado na geometria, para curtos e longos tempos de observação, conforme são apresentados na sequência.

No modelo de geometria fixa, os parâmetros da linha de base e o atraso zenital troposférico são considerados ausentes e a geometria entre o satélite e o receptor é classificada como conhecida, restando como incógnitas apenas os atrasos ionosféricos e as ambiguidades (ODIJK e TEUNISSEN, 2008). A Equação 03, apresentada a seguir, é usada na determinação da medida ADOP no modelo de geometria fixa, que é a base para os demais modelos.

$$ADOP^{GF} = \underbrace{\frac{\sqrt{2}|C_\phi|^{\frac{1}{2j}}}{\prod_{i=1}^{j}\lambda_i^{\frac{1}{j}}}}_{f_1}\underbrace{\left[\frac{1}{e_k^T R_k^{-1} e_k}\right]^{\frac{1}{2}}}_{f_2}\underbrace{\left[\frac{\sum_{s=1}^{m} w_s}{\prod_{s=1}^{m} w_s}\right]^{\frac{1}{2(m-1)}}}_{f_3}\underbrace{\left[1+\frac{1}{\Upsilon}\right]^{\frac{1}{2j}}}_{f_4} \tag{03}$$

sendo f_1 referente a correlação cruzada, isto é, a correlação existente entre as observáveis fase da onda portadora e pseudodistância, f_2 associado à correlação temporal, f_3 ao peso dos satélites, considerando o ângulo de elevação, e f_4 define os pesos aos atrasos ionosféricos, parametrizados em relação à primeira frequência (ODIJK e TEUNISSEN, 2008).

Na utilização do modelo livre de geometria não é considerado a geometria entre o satélite e o receptor, dado que o objetivo não é estimar as coordenadas. Além disso, ambos os receptores da linha de base podem estar no modo estático ou cinemático e, ainda, as distâncias geométricas e os atrasos troposféricos são agrupados em um único parâmetro (ODIJK e TEUNISSEN, 2008), como pode ser observado na Equação 04, a expressão para o modelo livre de geometria.

$$ADOP^{LG} = ADOP^{GF}\underbrace{\left[1+\frac{1}{\delta}\right]^{\frac{1}{2j}}}_{f_5} \tag{04}$$

em que $ADOP^{GF}$ é o valor obtido pela Equação 03 e f_5 refere-se aos componentes da distância entre o satélite e o receptor.

Para o modelo baseado na geometria as duplas diferenças das distâncias geométricas são desconhecidas e é necessário realizar a linearização das equações de observação em relação as componentes da linha de base. A geometria entre o receptor e o satélite é fundamental, sendo considerada no mapeamento para o zênite dos diferentes atrasos troposféricos, resultando no atraso chamado atraso zenital troposférico (ODIJK e TEUNISSEN, 2008; SILVA, 2015).

O modelo baseado na geometria considera intervalos de coleta curtos e longos e, ainda, receptores no modo estático ou cinemático. A seguir, são apresentadas as Equações 05 e 06 que representam, respectivamente, a medida ADOP para receptores no modo estático ou cinemático, com tempo de observação curto, bem como, para receptores no modo estático e tempo de observação longo (ODIJK e TEUNISSEN, 2008).

$$ADOP^{BG_{curto}} = ADOP^{GF}\left[1+\frac{1}{\delta}\right]^{\frac{1}{2j(m-1)}} \tag{05}$$

$$ADOP^{BG_{longo}} = ADOP^{GF}\left[\prod_{i=1}^{v}\left(1+\frac{1-\frac{1}{\gamma_i}}{\delta+\frac{1}{\gamma_i}}\right)\right]^{\frac{1}{2j(m-1)}} \tag{06}$$

A Tabela 01 identifica as definições para os parâmetros envolvidos nas Equações 03, 04, 05 e 06, das expressões na forma fechada para o ADOP em seus diferentes modelos.

Tabela 01 – Definições das variáveis envolvidas nas expressões do ADOP na forma fechada.

Variável	Definições	Variável	Definições
j	Número de frequências	λ	Comprimento de onda da fase
k	Número de épocas de observações	Υ	Fator ionosférico
m	Número de satélites	w_s	Peso dependente do satélite
v	Número de componentes da linha de base	R_k	Matriz de correlação temporal
C_Φ	MVC da fase	e_k	Vetor de k uns
C_p	MVC da pseudodistância	δ	Fator randômico
$c_{I_1}^2$	Variância da observável ionosférica	γ_i	Números de ganho da linha de base

Fonte: Adaptado de ODIJK e TEUNISSEN (2008).

4 METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados utilizando as expressões do ADOP na forma fechada (Equações 03, 04, 05 e 06), visando analisar a influência de diversos fatores na solução das ambiguidades, como a quantidade de frequências, épocas, satélites e as variações das observáveis fase da onda portadora e pseudodistância, sendo comparadas e analisadas em relação ao comprimento da linha de base, curta e longa.

Para a realização desses experimentos utilizou-se o *software* MATLAB para implementação das equações, sendo que, quando fosse necessário o uso de algum parâmetro como fixo, tais configurações foram adotadas: 06 satélites rastreados para apenas uma época e 03 frequências e os desvios-padrão para a fase da onda portadora e pseudodistância como 0,003 m e 0,3 m, respectivamente. As linhas de base longas e curtas correspondem, em ordem, a 100 km e 10 km.

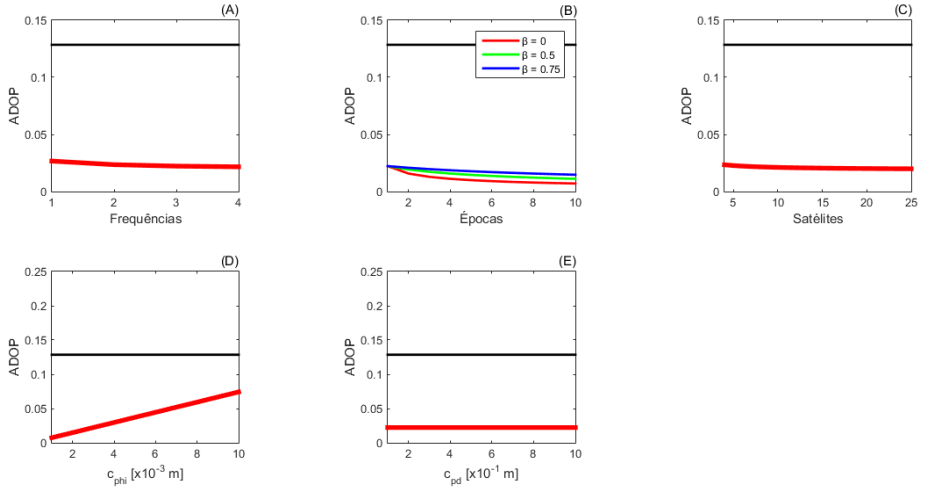
Destaca-se que para se obter 99,9% de sucesso na solução das ambiguidades o valor do ADOP deve ser inferior a 0,1285 ciclos, que será o limiar apresentado nos resultados (indicado por um traço preto) (ODIJK e TEUNISSEN, 2008; SILVA, 2015).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Geometria Fixa

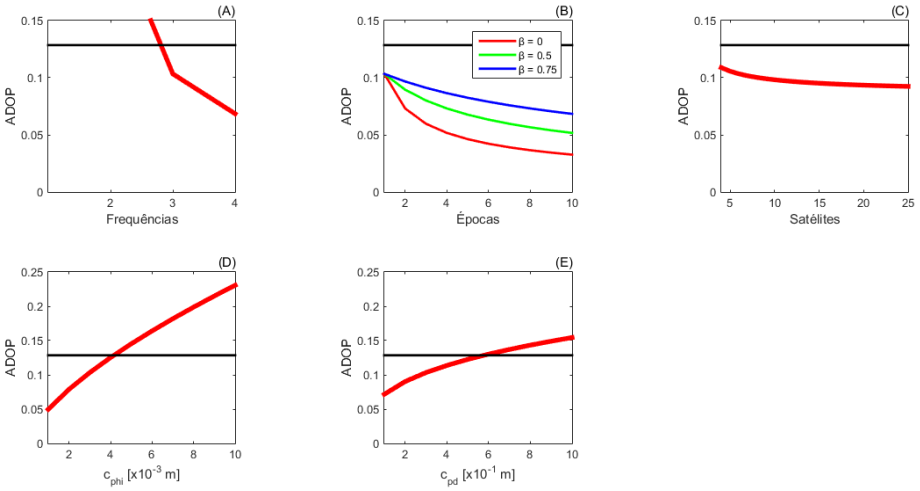
A Figura 01 apresenta a variação do ADOP considerando diferentes quantidades de frequências (A), épocas (B), satélites (C) e a influência dos desvios-padrão das observáveis fase da onda portadora (D) e pseudodistância (E), para uma linha de base curta. Já a Figura 02 apresenta as variações destes mesmos fatores considerando uma linha de base longa. Para avaliar a influência destes fatores na medida ADOP, adotou-se a configuração pré-estabelecida, sendo variado apenas um desses fatores e indicando os resultados em vermelho, ou quando necessário em azul e verde, e o limiar por um traço horizontal preto.

Figura 01 - Sensibilidade do ADOP com o modelo de Geometria Fixa em linhas de base curtas e variando os números de frequências (A), épocas (B), satélites (C) e os desvios-padrão da fase da onda portadora (D) e pseudodistância (E).



Fonte: Os autores (2018).

Figura 02 - Representação do ADOP com o modelo de Geometria Fixa em linhas de base longas, em variações do número de frequências (A), épocas (B), satélites (C) e dos desvios-padrão da fase da onda portadora (D) e pseudodistância (E).



Fonte: Os autores (2018).

Analisando as Figuras 01 e 02 em relação ao número de frequências (A), pode-se dizer que para linhas de base longas apenas com três frequências percebe-se a possibilidade de solucionar as ambiguidades instantaneamente, enquanto que para linhas curtas, independentemente da quantidade de frequências disponíveis as ambiguidades são solucionadas. Deste modo, para linhas de base longas e curtas, é possível afirmar que ao aumentar o número de frequências utilizadas no processamento dos dados, o valor da medida ADOP diminui, aumentando a possibilidade de solucionar as ambiguidades. Ressalta-se que não é possível visualizar tais melhorias para linhas de base curtas (Figura 01 (A)) devido a amplitude da escala, porém ao aumentar a quantidade de frequências, os resultados do ADOP diminuem, tal relação pode ser associada a não estimação das coordenadas da estação, visto que estas não são parâmetros a serem estimados no modelo de Geometria Fixa.

Com as Figuras 01 e 02 é possível observar a variação da medida ADOP em relação à quantidade de épocas e correlação temporal (B), sendo que a correlação temporal é o peso atribuído da época anterior no processamento dos dados, em que, quanto mais se aproxima de um maior a influência da época anterior sobre a solução das ambiguidades. Assim, diz-se que a solução das ambiguidades é obtida com apenas uma época, independente da correlação temporal ou dos comprimentos das linhas de base adotados, dado que os valores estão situados abaixo do limiar adotado de 0,12. Verifica-se também, que quanto menor a correlação temporal, menores são os valores obtidos para o ADOP. Desta forma, quando a correlação temporal tende a zero, maior será o benefício para a solução das ambiguidades. Além disso, em relação ao número de épocas pode-se observar que, quanto mais épocas rastreadas, menores são os valores obtidos para o ADOP. Assim, o aumento do número de épocas é um dos fatores que afetam beneficamente a solução das ambiguidades.

Em relação a variação da medida ADOP através das quantidades de satélites disponíveis (C), nota-se, nas Figuras 01 e 02, que a solução das ambiguidades instantânea é obtida com três frequências e quatro satélites disponíveis tanto para linhas de base curtas quanto para longas. Assim, a variação do número de satélites ocasiona uma pequena melhoria no valor do ADOP, não sendo tão significativa visto que conforme aumenta-se a quantidade de satélites, também se aumenta o número de ambiguidades a serem estimadas como inteiros.

No que diz respeito a sensibilidade da medida ADOP influenciada pelo desvio-padrão das observáveis, pode-se dizer, analisando as Figuras 01 e 02, que para o desvio-padrão da fase da onda portadora (D), representado por c_{phi}, a solução das ambiguidades pode ser obtida instantaneamente para valores inferiores a 10 mm em linhas de base curtas. Já para linhas de base longas, para valores superiores a 3,5 mm do desvio-padrão da fase a solução das ambiguidades instantânea não pode ser obtida. Desta forma, verifica-se que o aumento do desvio-padrão da fase faz com que a solução das ambiguidades seja prejudicada.

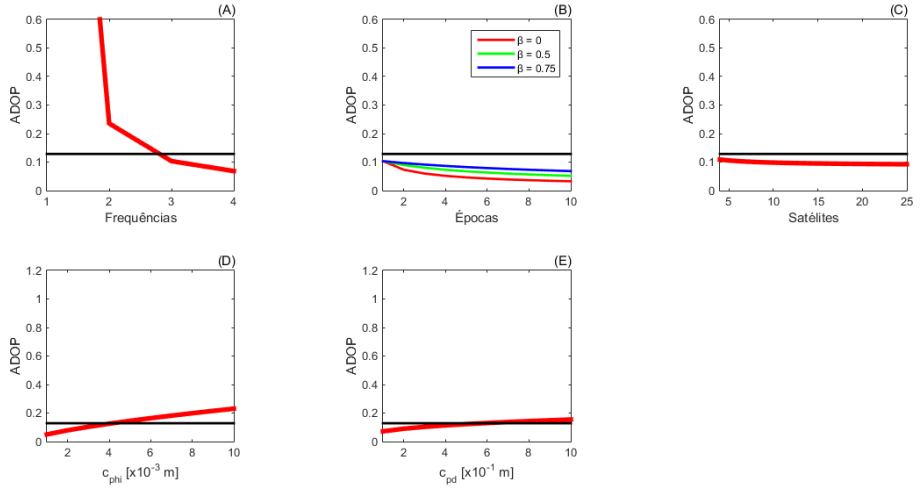
Além disso, observando as Figuras 01 e 02 em relação a influência do desvio-padrão da pseudodistância (E), representado por c_{pd}, nota-se que para linhas de base curtas, o aumento do desvio padrão da pseudodistância não causa piora nos valores da medida ADOP. Assim, a variação do desvio-padrão da pseudodistância não tem impacto sob a solução instantânea das ambiguidades para linhas de base curtas. Para linhas de base longas, observa-se que para valores acima de 45 cm para o desvio-padrão da pseudodistância, a solução instantânea das ambiguidades não pode ser obtida. Deste modo, a variação do desvio-padrão da pseudodistância gera um aumento no valor do ADOP e dificulta a solução instantânea das ambiguidades em linhas de base longas.

Em geral, para linhas de base curtas, os desvios-padrão das observáveis não tem influência na obtenção instantânea da solução das ambiguidades. Já para o caso das linhas de base longas, o aumento do desvio-padrão das observáveis faz com que a solução instantânea das ambiguidades possa não ocorrer.

5.2 Livre de Geometria

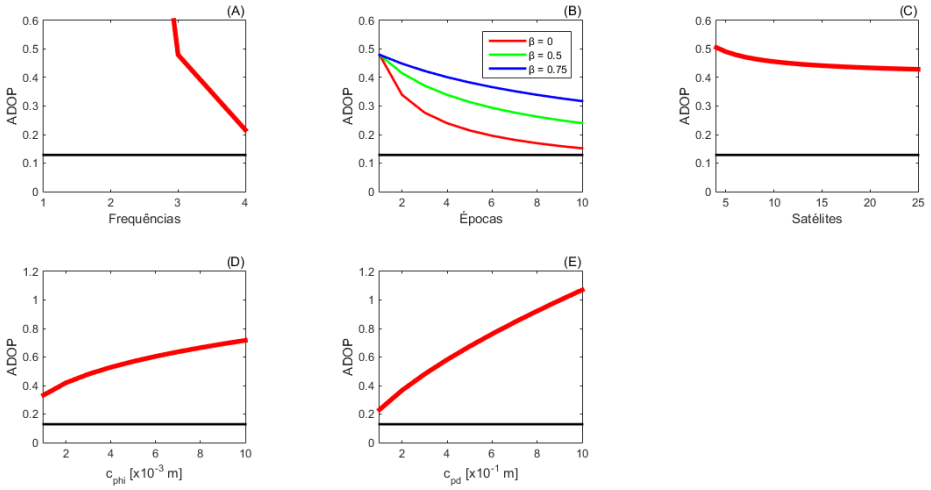
A Figura 03 apresenta a sensibilidade da medida ADOP conforme as quantidades de frequências (A), épocas (B), satélites (C) e influência dos desvios-padrão das observáveis fase da onda portadora (D) e pseudodistância (E), para linha de base curta. Enquanto a Figura 04, identifica as variações destes mesmos fatores considerando linha de base longa. Para a verificação da influência de cada um destes fatores na medida ADOP, foi necessário adotar a configuração pré-estabelecida, de modo que apenas um fator fosse variável, apresentando os resultados em vermelho, ou quando necessário azul e verde, e o limiar por um traço horizontal preto.

Figura 03 - Sensibilidade do ADOP com o modelo Livre de Geometria em linhas de base curtas e variando os números de frequências (A), épocas (B), satélites (C) e os desvios-padrão da fase da onda portadora (D) e pseudodistância (E).



Fonte: Os autores (2018).

Figura 04 - Representação do ADOP para o modelo Livre de Geometria em linhas de base longas, em variações do número de frequências (A), épocas (B), satélites (C) e dos desvios-padrão da fase da onda portadora (D) e pseudodistância (E).



Fonte: Os autores (2018).

Ao examinar as Figura 03 e 04, em relação à variação da quantidade de frequências (A), é possível dizer que para linhas de base curtas, a solução instantânea das ambiguidades é observada quando o número de frequências rastreadas pelos satélites for superior a 3, sendo percebido a possibilidade de melhora dos resultados ao aumentar a quantidade de

frequências, enquanto que, para linhas de base longas a solução instantânea das ambiguidades não será possível nem usando 4 frequências, visto que os valores representados estão acima do limiar. Sendo esses resultados diferentes dos identificados com o modelo de Geometria Fixa para ambas extensões de linhas de base, pois no modelo Livre de Geometria as coordenadas da estação rastreada são incluídas aos parâmetros a serem estimados, o que prejudica, em partes, a obtenção instantânea da solução das ambiguidades.

Pelas Figuras 03 e 04, também é possível observar a variação da medida ADOP em relação à quantidade de épocas e correlação temporal (B). Assim, pode-se inferir que a solução das ambiguidades pode ser obtida com apenas uma época para linhas de base curtas, sendo observado melhora dos resultados ao aumentar o número de épocas coletadas e quanto menor for a correlação temporal. Já para linhas de base longas, não se observa solução das ambiguidades, nem instantaneamente nem aumentando a quantidade de épocas ao limite (10 épocas). Além disso, é possível verificar que os resultados são melhorados conforme aumenta-se o número de épocas e menor for a correlação temporal, no entanto, tais benefícios destacados não são suficientes para solucionar as ambiguidades em linhas de base longas, dado que as trajetórias das curvas descritas nos gráficos são superiores ao limiar adotado de 0,1285.

Observa-se nas Figuras 03 e 04, no que concerne a quantidade de satélites (C), que a solução das ambiguidades é solucionada instantaneamente independente da quantidade de satélites rastreados em linhas de base curtas, devido aos valores da medida ADOP estarem abaixo do limiar estabelecido. Porém, para linhas de base longas, tem-se que a solução das ambiguidades para apenas uma época não será observada para linhas de base longas, mesmo que a quantidade de satélites seja aumentada, dado que a trajetória da curva que descreve a medida ADOP para este caso, se dá na divisão superior definida pelo limiar adotado. Percebe-se que há uma pequena melhora no valor do ADOP à medida que o número de satélites aumenta.

No que diz respeito a sensibilidade da medida ADOP influenciado pelo desvio-padrão das observáveis, pode-se dizer, analisando as Figuras 03 e 04 para o desvio-padrão da fase da onda portadora (D), representado por c_{phi}, que a solução das ambiguidades pode ser instantânea para valores inferiores a 2 mm dos desvio-padrão da fase da onda portadora em comprimentos curtos das linhas de base, enquanto que para linhas de base longas, não é observada a solução instantânea das ambiguidade no intervalo do desvio-padrão da fase estabelecido (entre 01 e 10 mm), em que é notado que conforme maiores são os valores definidos para o desvio-padrão desta observável, menores são as possibilidades para solucionar instantaneamente as ambiguidades, visto que os valores registrados são superiores ao limiar adotado no processo de solução das ambiguidades.

Destaca-se, ao comparar os resultados obtidos pelas expressões na forma fechada de Geometria Fixa (Figuras 01 e 02) e Livre de Geometria (Figuras 03 e 04), que no segundo modelo há uma ligeira alteração na curva da medida ADOP para valores maiores, isto implica que a solução das ambiguidades atinge seu valor crítico antes do observado para o primeiro, ou seja, o cruzamento entre o limiar e a curva do ADOP acontece em valores menores do desvio-padrão da fase da onda portadora.

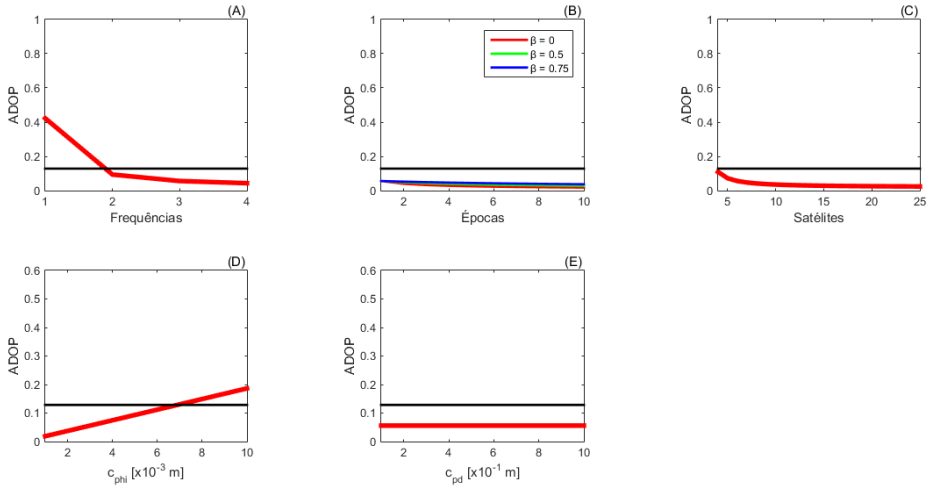
Além disso, ao observar as Figuras 03 e 04 em relação a influência do desvio-padrão da pseudodistância (E), representado por c_{pd}, pode-se afirmar que em linhas de base curtas a influência do desvio-padrão da pseudodistância na medida ADOP é, praticamente, irrelevante até aproximadamente 20 cm, e possui ligeira piora com valores superiores a esse, visto o limiar adotado para comparação de 0,1285 ciclos da medida ADOP, deste modo, acima de 20 cm a solução instantânea das ambiguidades é degradada em linhas de base curtas. Já para linhas de base longas, é possível observar que entre os valores do desvio-padrão da pseudodistância de 10 cm e 100 cm, não se tem a solução instantânea das ambiguidades, dado que os valores da medida ADOP apresentados pela variação do desvio-padrão da pseudodistância estão dispostos acima do limiar definido.

Em linhas gerais, para linhas de base curtas o desvio-padrão das observáveis interfere significativamente pouco na determinação da solução das ambiguidades instantaneamente se comparado a linhas de base longas, sendo que, conforme maiores são os valores do desvio-padrão o processo de solução instantânea das ambiguidades é degradado.

5.3 Baseado na Geometria com curto tempo de observação

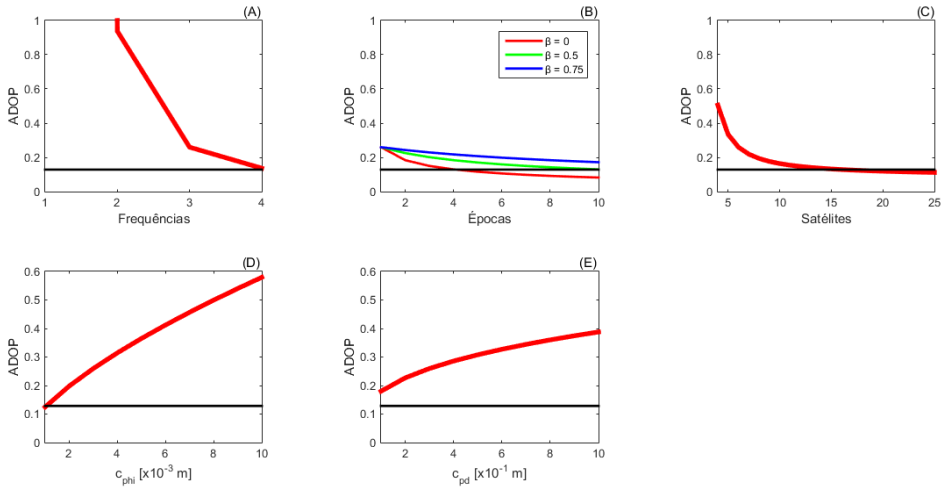
A Figura 05 apresenta a variação da medida ADOP conforme os números de frequências (A), épocas (B), satélites (C) e influência dos desvios-padrão das observáveis fase da onda portadora (D) e pseudodistância (E). Enquanto que a Figura 06, apresenta as variações destes fatores considerando linha de base longa. Da mesma forma que nas seções anteriores, para verificar a influência destes fatores na medida ADOP, foi adotada a configuração pré-estabelecida, de modo que apenas um fator fosse variável e indicando os resultados em vermelho, ou quando necessário em azul e verde, e o limiar por um traço horizontal preto.

Figura 05 - Sensibilidade do ADOP com o modelo Baseado na Geometria para curto tempo de observação em linhas de base curtas e variando as quantidades de frequências (A), épocas (B), satélites (C) e os desvios-padrão da fase da onda portadora (D) e pseudodistância (E).



Fonte: Os autores (2018).

Figura 06 - Representação da medida ADOP para o modelo Baseado na Geometria com curto tempo de observação e em linhas de base longas, sendo variados os números de frequências (A), épocas (B), satélites (C) e dos desvios-padrão da fase da onda portadora (D) e pseudodistância (E).



Fonte: Os autores (2018).

Quando as Figuras 05 e 06 são examinadas em relação à quantidade de frequências (A), pode-se dizer que para linhas de base curtas a solução instantânea das ambiguidades será percebida quando se tem mais de duas frequências e em linhas de base longas não são observados resultados que satisfaçam o limiar adotado para que a solução instantânea das ambiguidades seja obtida no intervalo de frequências estabelecido (01 a 04 frequências). Além disso, com estes gráficos é possível destacar que conforme aumentam as quantidades de frequências associadas ao processo de solução das ambiguidades instantaneamente, menores são os valores obtidos para a medida ADOP, e com isso, tem-se que a solução das ambiguidades é beneficiada.

Pelas Figuras 05 e 06, no que concerne ao número de épocas (B), é possível afirmar que para linhas de base curtas, a solução das ambiguidades é obtida para uso de apenas uma época, independentemente da correlação temporal, dado que os valores representados pelas curvas são inferiores ao limiar definido de 0,1285 ciclos para a medida ADOP. Em contrapartida, quando se tem linhas de base longas, é observado que as ambiguidades podem ser solucionadas apenas para 06 épocas ou mais, considerando que a correlação temporal seja nula (β = 0), para as demais correlações representadas não é possível verificar solução para as ambiguidades, de acordo com o limiar definido e a configuração

definida previamente. Ademais, para ambos, conforme aumenta-se a quantidade de épocas e menores são os valores da correlação temporal, melhores são as possibilidades de solucionar as ambiguidades.

Observa-se nas Figuras 05 e 06, em relação ao número de satélites (C), que há a possibilidade de solução instantânea das ambiguidades para um conjunto mínimo de quatro satélites em linhas de base curtas, enquanto que para linhas de base longas, as ambiguidades podem ser solucionadas instantaneamente com quantidades de satélites superiores à 20, sendo associada ao limiar adotado como parâmetro de comparação dos resultados. Além disso, percebe-se pequena melhora nos valores da medida ADOP, para linhas de base curtas e longas, conforme aumenta-se a quantidade de satélites, beneficiando o processo de solução instantânea das ambiguidades.

Analisando as Figuras 05 e 06, no que diz respeito ao desvio-padrão da fase da onda portadora (D), pode-se afirmar que se obtêm a solução instantânea das ambiguidades em linhas de base curtas para valores de até 05 mm, de modo que acima do limiar o processo de solução das ambiguidades com apenas uma época é prejudicada conforme aumenta-se o valor do desvio-padrão da fase atribuído. Já para linhas de base longas, identifica-se que a solução instantânea para as ambiguidades é obtida apenas com a definição de 01 mm para o desvio-padrão da fase da onda portadora, de modo que quando se aumenta este valor, sua curva situa-se na porção superior do limiar e assim o processo de solucionar as ambiguidades instantaneamente é degradado. Em geral, conforme maiores são os valores do desvio-padrão atribuído à observável fase da onda portadora, o processo de obtenção da solução das ambiguidades é prejudicado, para o modelo baseado na geometria com curto tempo de observação.

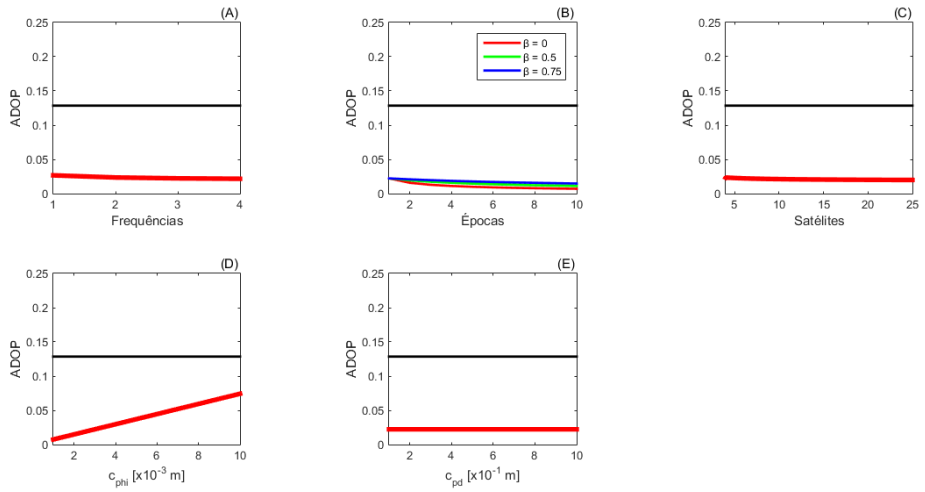
Examinando as Figuras 05 e 06 com relação ao desvio-padrão da pseudodistância (E), pode-se inferir que em linhas de base curtas sua influência na medida ADOP é irrelevante, visto que sua curva é constante e sem inclinações, com isso, não tem impacto sob a solução instantânea das ambiguidades. No entanto, para linhas de base longas, não são observados valores abaixo do limiar adotado e entre o intervalo estabelecido (10 cm a 100 cm), com isso não se identifica solução instantânea das ambiguidades.

Assim, pode-se afirmar que em linhas de base curtas o desvio-padrão das observáveis não possui interferência significativa no processo de solução instantânea das ambiguidades, o que não pode ser verificado para linhas de base longas, visto que o aumento do desvio-padrão das observáveis degrada os resultados e a solução instantânea não ocorre.

5.4 Baseado na Geometria com longo tempo de observação

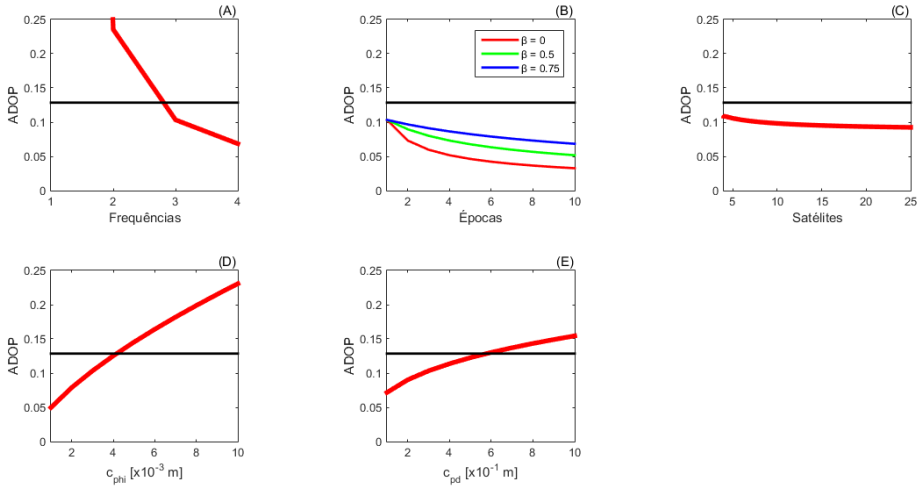
A Figura 07 apresenta a variação da medida ADOP conforme as quantidades de frequências (A), épocas (B), satélites (C) e influência dos desvios-padrão das observáveis fase da onda portadora (D) e pseudodistância (E), para linha de base curta. Enquanto a Figura 08, identifica as variações destes fatores considerando linha de base longa.

Figura 07 - Sensibilidade do ADOP com o modelo Baseado na Geometria para longo tempo de observação em linhas de base curtas e variando as quantidades de frequências (A), épocas (B), satélites (C) e os desvios-padrão da fase da onda portadora (D) e pseudodistância (E).



Fonte: Os autores (2018).

Figura 08 - Representação da medida ADOP para o modelo Baseado na Geometria com longo tempo de observação e em linhas de base longas, sendo variado a quantidade de frequências (A), épocas (B), satélites (C) e dos desvios-padrão da fase da onda portadora (D) e pseudodistância (E).



Fonte: Os autores (2018).

Ao examinar as Figuras 07 e 08 com relação ao número de frequências (A) envolvido no processo de solução das ambiguidades, é possível dizer que em linhas de base curtas não representa problemas relevantes para a solução instantânea das ambiguidades, visto que os valores da medida ADOP representados pela curva são inferiores ao limiar adotado. No que diz respeito a linhas de base longas, a afirmação anterior não é verdadeira, dado que apenas a partir de três frequências a solução das ambiguidades pode ser obtida para apenas uma época de coleta de dados. Além disso, quando a escala do gráfico é ampliada, percebe-se que em linhas de base curtas os resultados obtidos são, em geral, 10 vezes melhores se comparados com de linhas de base longas.

Com as Figuras 07 e 08, correspondentes ao número de épocas (B) envolvidas no processo de solução das ambiguidades, tem-se que independente do comprimento das linhas de base, sejam curtos ou longos, as ambiguidades podem ser solucionadas desde a primeira época de coleta, visto que as trajetórias das curvas, também associadas às correlações temporais, são inferiores ao limiar definido para a medida ADOP. E ainda, é possível identificar que conforme aumenta-se o número de épocas e a correlação temporal tende a zero, há uma ligeira melhora nos resultados da medida ADOP, beneficiando o processo de solução das ambiguidades.

Através das Figuras 07 e 08, com relação à quantidade de satélites (C), nota-se que para ambos os comprimentos das linhas de base é possível encontrar a solução instantânea das ambiguidades, para a quantidade mínima de satélites que devem ser observados durante o posicionamento (04 satélites), dado que os valores da medida ADOP, situam-se abaixo do limiar adotado. Sendo que, ao aumentar o número de satélites, o processo de solução das ambiguidades é favorecido, visto que há a redução dos valores registrados para a medida ADOP.

Verifica-se nas Figuras 07 e 08 no que concerne ao desvio-padrão da fase da onda portadora (D), que a solução das ambiguidades para apenas uma época pode ser obtida em linhas de base curtas para valores inferiores a 10 mm do desvio-padrão da fase, enquanto que para linhas de base longas, a solução instantânea das ambiguidades pode ser obtida para até, aproximadamente, 04 mm, visto o limiar convencionado. Além disso, nota-se a degradação dos resultados do processo de obtenção da solução instantânea das ambiguidades, conforme maiores são os valores identificados para o desvio-padrão da fase da onda portadora.

Examinando as Figuras 07 e 08 com relação ao desvio-padrão da pseudodistância (E), diz-se que para linhas de base curtas o desvio-padrão da pseudodistância não representa influência significativa no processo de solução das ambiguidades, dado a constância da curva que representa a medida ADOP e estar situada abaixo do limiar estabelecido. Contudo, quando se trata de linhas de base longas, nota-se que o desvio-padrão da pseudodistância afeta significativamente o processo de solução instantânea das ambiguidades, para valores do desvio-padrão da pseudodistância superiores a 60 cm, devido os valores serem superiores ao limiar adotado.

De modo geral, os desvios-padrão das observáveis, para a expressão na forma fechada Baseado na Geometria com longo tempo de observação, exerce maior influência sobre a solução instantânea das ambiguidades quando se tem linhas de base longas. Ainda, é possível afirmar que conforme maiores são os valores dos desvios-padrão das observáveis, principalmente para linhas de base longas, piores são os resultados encontrados para a medida ADOP e assim a solução instantânea das ambiguidades não acontece.

6 CONCLUSÕES

A medida ADOP é um importante método utilizado na indicação da solução das ambiguidades no posicionamento GNSS, de modo que, usando as expressões na forma fechada desenvolvidas por Odjik e Teunissen (2008), têm-se modelos que consideram a geometria fixa, livre de geometria e baseado na geometria, para curtos e longos tempos de observação.

Com os valores do ADOP obtidos neste trabalho, a partir da utilização das expressões na forma fechada, é possível observar sua dependência com os fatores que o compõem, principalmente, a quantidade de frequências, épocas, satélites e os desvios-padrão das observáveis fase da onda portadora e pseudodistância, independente do modelo analisado.

Além disso, com base nos resultados, pode-se afirmar que os modelos, em geral, possuem diferenças entre si, sendo o de Geometria Fixa melhor que o Baseado na Geometria com longo tempo de observação, pois seus valores para o ADOP são menores, sendo, por sua vez, superior ao modelo Baseado na Geometria com curto tempo de observação, e na sequência, melhor que os resultados para o Livre de Geometria, de modo que podem ser dispostos em uma sequência crescente para os valores do ADOP obtidos, conforme a esquematização a seguir:

$$ADOP^{GF} \leq ADOP^{BG_{longo}} \leq ADOP^{BG_{curto}} \leq ADOP^{LG}$$

em que, pode-se assumir que conforme menores são os valores da medida ADOP, as ambiguidades podem ser solucionadas com maior eficácia. Tal afirmativa é valida para os resultados obtidos pela simulação realizada, estando sujeita a novos resultados com experimentos utilizando dados reais.

A partir dos resultados, observa-se ainda, que conforme maiores as quantidades de frequências, tempo de observação e satélites, bem como menores os valores dos desvios-padrão das observáveis, seja para curtas ou longas linhas de base, a solução das ambiguidades é beneficiada, visto que se observa a redução dos valores obtidos para a medida ADOP independente do modelo utilizado.

De modo geral, as expressões utilizadas não apenas identificam com clareza o relacionamento entre as modelagens, como também a influência e relação de fatores que são relevantes no processo de solução das ambiguidades, sendo um importante artifício na predição da taxa de sucesso das ambiguidades para aplicação em diferentes cenários, extensões de linhas de base ou sistemas de posicionamento por satélite com várias frequências.

AGRADECIMENTOS

A Deus; à FAPESP por apoiar financeiramente o projeto de Iniciação Científica (n° 2017/15200-6) do primeiro autor; e, ao Grupo de Estudo de Geodésia Espacial da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, campus de Presidente Prudente - SP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MONICO, J. F. G.; ROFATTO, V. F.; MENDONÇA, M. A. M. **Introdução e aplicação da diluição da precisão das ambiguidades GNSS – ADOP**. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 20, n. 2, p. 273, 2014.

ODIJK, D.; TEUNISSEN, P. **ADOP in closed form for a hierarchy of multi-frequency single-baseline GNSS models**. Journal of Geodesy, Springer-Velarg, v. 82, n. 8, 2008. ISSN 0949-7714. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00190-007-0197-2>. Acesso em: 10 de Julho de 2018.

SILVA, C. M. **Solução das ambiguidades de linhas de base medias e longas: aplicações no posicionamento baseado em redes**. 2015. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada e Computacional) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Presidente Prudente.

TEUNISSEN, P. J. G. **A canonical theory for short GPS baselines. Part IV: precision versus reliability**. Journal of Geodesy, Springer-Verlag, v. 71, n. 9, 1997. ISSN 0947-7714. Disponível em: < https://doi.org/10.1007/s001900050119>. Acesso em 10 de Julho de 2018.

TEUNISSEN, P. J. **Success probability of integer GPS ambiguity rounding and bootstrapping**. Journal of Geodesy, v. 72, n. 10, p. 606-612, 1998.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

ALTERNATIVAS DE MONUMENTAÇÃO GEODÉSICA PARA CONTROLE VERTICAL DE MARÉGRAFOS

DOUGLAS BUENO LEIPELT
FELIPE GEREMIA NIEVINSKI

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Instituto de Geociências
Departamento de Geodésia
douglas.leipelt@ufrgs.br, felipe.nievinski@ufrgs.br

RESUMO - Estudos das mudanças climáticas apontam para um inequívoco aumento do nível médio dos mares globalmente. Os marégrafos instalados em plataformas para determinar este aumento devem ser constantemente aferidos, visto que sofrem interferências externas e com deformações estruturais (como soerguimento ou rebaixamento da crosta terrestre, recalque do píer, etc.), além de problemas relacionados aos erros instrumentais. Sendo assim, a monumentação não deve se somar a estes fatores, evitando se tornar mais uma fonte de erros. Avaliamos a criação de monumentos fiáveis, com base em modelos da UNAVCO, porém mais baratos. Observando sua futura implantação, consideramos também os materiais e métodos a serem praticados na sua execução, obtendo boas perspectivas nas criações destes modelos.

ABSTRACT - Studies of climate change point to an unequivocal increase in the average level of the seas globally. The tides installed on platforms to determine this increase must be constantly checked, since they suffer external interferences and structural deformations (such as uplift or crumbling of the earth's crust, jetting of the pier, etc.), as well as problems related to the errors of the equipment. Therefore, the monumentation should not be added to these factors, being more an adder of errors. We suggest building on UNAVCO models of reliable monuments, more feasible the current financial reality, observing their implementation, also considering the materials and methods to be practiced in their execution, obtaining good perspectives in the creations and future implementation of these models.

1 INTRODUÇÃO

Estudos das mudanças climáticas apontam para um inequívoco aumento do nível médio dos mares (NMM) globalmente [CHURCH et al. 2013]. Porém regionalmente a variação do NMM pode ser maior ou menor do que o valor integrado global. Estas variações são ainda mais nocivas quando por exemplo o fenômeno das ressacas que chegam à costa e fazem com que a água do mar sofra um empilhamento e invadam a beira-mar. No sul do Brasil, este evento ocorre devido à passagem das frentes frias, que podem ocasionar uma agitação acentuada na água do mar. Infelizmente este fenômeno está ocorrendo com frequência cada vez maior, estando associado ao aumento do nível dos mares, causando enormes prejuízos tanto materiais como humanas. Se por um lado somente temos dados de níveis dos oceanos globais e por outro temos dificuldades de capacidade modelagem destes dados, acabamos com grandes incertezas regionais relacionadas ao NMM. O risco que cada cidade costeira brasileira é exposta seria melhor determinado se tivéssemos mais marégrafos ao longo da costa (PBMC, 2016).

Os marégrafos que existem atualmente por vezes estão instalados em plataformas e devem ser constantemente aferidos para isolar interferências externas e deformações locais ou regionais (como soerguimento ou rebaixamento da crosta terrestre, recalque do píer etc.). Dessa forma, instrumentos como da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG), mantida pelo IBGE, necessitam de controle geodésico. Técnicas como GPS e outros GNSS permitem controlar a possibilidade de que estas discrepâncias estruturais ou crustais sejam interpretadas erroneamente como alterações no nível médio do mar (NIEVINSKI e MONICO, 2016).

A monumentação da antena merece a atenção devida, para que não incorra em incertezas adicionais. Logo, se justifica a necessidade da correta implantação de monumentos geodésicos, principalmente em plataformas que avançam sobre o mar, sofrendo mais ainda com as intempéries. Serão apresentadas algumas opções com custo reduzidos e que cumpram suas funções de maneira satisfatória a tal ambiente adverso. Visando com isso oferecer alternativas de monumentação a serem utilizadas nas plataformas marítimas onde estão implantados marégrafos. Um dos locais prioritários mais próximos seria o marégrafo de Tramandaí (RS), como parte da rede SiMCosta da Furg (Figura1)

Figura 1 - Marégrafo do SiMCosta em Tramandaí (RS).

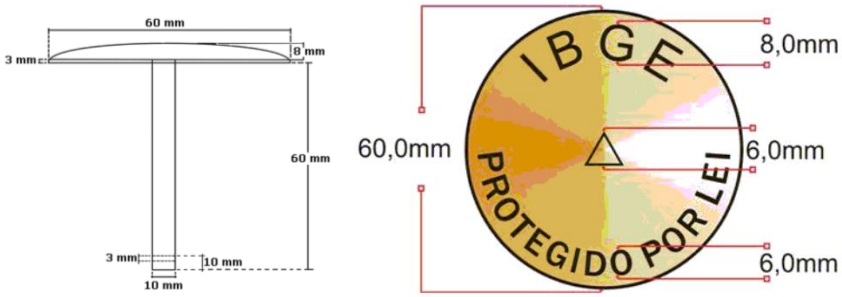
Fonte: Autores.

2 LEVANTAMENTO DO ESTADO DA ARTE

Conforme Monico (2000), alguns tipos de levantamento requerem que após o planejamento e o reconhecimento seja estabelecida a monumentação do ponto de interesse. Este monumento é específico para cada tipo de levantamento, podendo ser uma plaqueta de metal em estrutura estável como um afloramento rochoso, um pino de centragem forçada em pilar de concreto, etc. No presente estudo, necessita-se de dois tipos de monumentação: uma para nivelamento geométrico (referência de nível) e outra para posicionamento por geodesia espacial (GNSS contínuo ou permanente).

Em relação à RN, tomou-se como base a Padronização para Marcos Geodésicos do IBGE (IBGE, 2008), conforme Figura 2. Entretanto, em consulta ao fornecedor do IBGE (empresa Rali de Caxias, no Rio de Janeiro), o preço seria de R$ 80 por unidade, o que foi considerado alto para nossos trabalhos.

Figura 2 - Chapa padrão IBGE para Referência de Nível.



Fonte: IBGE (1988)

Já para a monumentação GNSS, inicialmente foi considerado o modelo de dispositivo de centragem forçada (DCF) padrão IBGE (Figura 3). Entretanto, a sua fixação ao concreto foi considerada inadequada, por envolver a destruição do material já existente. Ademais, a fixação se dá puramente por agente químico (como cola epóxi), o qual poderia vir a ceder com o tempo, principalmente em locais sujeito a intempéries como chuvas, maresia, oscilações drásticas de temperatura e umidade, como no ambiente marítimo.

Figura 3 - Dispositivo de centragem forçada padrão IBGE.

Fonte: IBGE (2008).

Posteriormente, foi tomado como segundo modelo para monumentação o mastro polar (figura 4), utilizada pela Unavco (antigamente denominada *University Navstar Consortium*). Entretanto, em consulta ao seu fornecedor (empresa Tech 2000), o custo foi informado em US$ 750 e US$ 680 para modelos com 1,5 m e 1 m de altura, respectivamente, o que foi novamente considerado muito oneroso para nossos propósitos.

Figura 4 - Mastro polar padrão Unavco.

Fonte: UNAVCO (2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aqui apresentamos algumas alternativas de monumentação geodésica para controle vertical de marégrafos.

3.1 Plaquetas para referência de nível

As plaquetas foram confeccionadas pela empresa RDJ Placas, de Curitiba (PR), sob encomenda especial. São constituídas de chapas metálicas circulares, com pino para fixação na parte inferior e uma saliência abaulada na parte superior. A saliência foi projetada de forma a permitir repouso da régua de nivelamento, sem alteração de sua cota ao ser rotacionada, entre ré e vante. As plaquetas tiveram um custo de confecção de R$300 pela matriz (Figura 5) e custo

unitário de R$5,50 (Figura 6). A matriz foi encomendada sem identificação da UFRGS para que pudesse ser reutilizada sem custo pela comunidade científica e profissional.

Figura 5 – Projeto de plaqueta metálica para RN.

Fonte: RDJ Placas

Figura 6 – Exemplar de plaqueta metálica para RN.

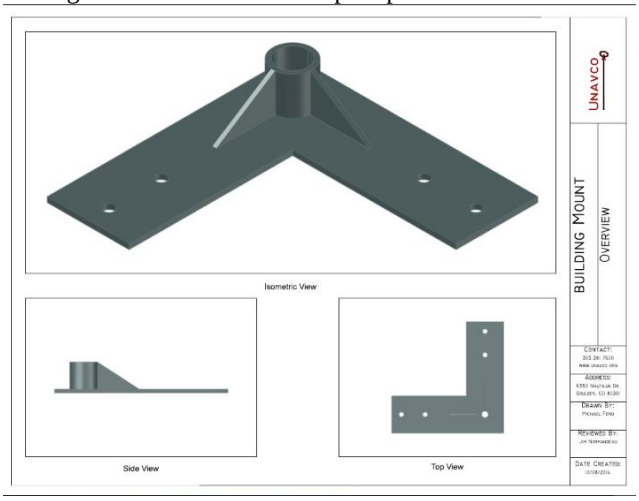
Fonte: Autores.

3.2 Monumento GNSS

3.2.1 Geometria

Em consulta à equipe da Unavco (J. Normandeau, comunicação pessoal), foi sugerido um modelo recente, projetado para instalação em quinas no topo de prédios, conforme Figura 7. O mesmo foi considerado mais estável que o DCF do IBGE e mais barato que o mastro polar da própria Unavco.

Figura 7 - Modelo de base para prédios da Unavco.



Fonte: UNAVCO (2018)

A base do modelo e mastro foram confeccionados na Oficina do Instituto de Física da UFRGS, conforme figura 8. Com isso o custo de mão-de-obra para a confecção pode ser assimilado pela instituição, tornando-se mais factível às possibilidades e adequado às necessidades do projeto.

Optou-se por mais um ponto de suporte no engate da base, reforçando assim o ponto de contato entre o mastro e base, impedindo sua variação. Com intuito semelhante, foram feitos mais furos que no projeto da UNAVCO, que contava com quatro furos, sendo aumentados para nove. Há assim uma menor chance de movimentação da base após sua fixação e mais possibilidades de colocação de chumbadores ao longo do tempo.

A placa-base tem 0,5 cm de espessura; 26,5 cm de comprimento; 10 cm de largura; o receptáculo do mastro com 9,5 cm de altura; 8 mm de espessura e 4,7 cm de diâmetro; tendo suas nervuras com 0,5 cm de espessura e cada uma sendo fixada com 7,5 cm soldados ao receptáculo e 2,5 cm soldados à placa-base.

Figura 8 – Modelo fabricado.

Fonte: Autores

O mastro (Figura 9) conta com dimensões de 63 cm de comprimento; 3,2 cm de largura e com espessura de 0,2 cm, em aço inox, sendo torneado para encaixar na base. O comprimento final ainda não foi definido, pois depende da sua estabilidade quando for colocado na base em função dos ventos marítimos. Por fim, será instalada um DCF (não exibido) no topo do mastro, para fixação da antena (com rosca).

Figura 9: Base com o mastro

Fonte: Autores

3.2.2 Material

Em relação à escolha do material para confecção da base, foi decidido utilizar o aço inox, devido às condições de clima severas a beira mar, o uso de aço comum foi descartado em função da corrosão. Devido a isso, teve início pesquisa de qual tipo mais se adequaria as necessidades do local. O aço utilizado do tipo inoxidável (inox), mais especificamente a liga 304, que é utilizada em materiais como facas de cozinha, bandejas. Em retrospectiva, teria sido melhor utilizar a liga 316, que tem em sua composição o molibdênio, elemento químico que confere ao aço inox 316 ainda mais resistência, sendo utilizado principalmente em laboratórios. Devida a estas propriedades o aço inox 316 é mais indicado para áreas litorâneas, sendo utilizado em iates, pescas e ambientes marítimos em geral (ABINOX, 2016). Por questões de custo e conveniência na aquisição dos materiais, não foi o adotado para confeccionar o modelo. Foi utilizado material de rejeito, com custo de R$15 por quilo, com total aproximado de R$200. Sendo assim, será necessário empregar tinta náutica para proteção extra à corrosão.

3.2.3 Fixação

A escolha do melhor método de fixação da antena sobre a laje da estação em virtude das condições climáticas e de que não pode haver movimentação também se mostra um desafio singular. Para esta tarefa seguiu-se novamente a indicação da UNAVCO de utilização de elemento mecânico e químico.

O primeiro trata-se de chumbador/âncora, modelo Parabolt. Este dispositivo se agarra, devido à expansão, dentro do orifício onde ficará inserido. O segundo elemento é um chumbador químico, ou seja, cola do tipo epóxi. Também há

a possibilidade de utilização barra rosqueada, que é colocada dentro do furo e presa apenas com o chumbador químico (figura 10).

Figura 10: Fixação mecânica

Fonte: autores

O adesivo epóxi é bom para utilização em ancoragem de monumentos, visto que é de fácil aplicação, endurecimento rápido, excelente aderência a superfícies como o concreto, impermeável e com elevada resistência à tração e compressão, para os testes foram utilizados o modelo Sikadur 32 da marca Sika, o qual tem excelente resistência mecânica, tanto a tração quanto a compressão. Ele é utilizado se misturando a cola no seu catalisador, sendo que após serem misturados podem ser aplicados, tendo tempo de cura inicial de 24 horas. Foi testado também o chumbador químico WIT P-200 da marca Wurth, o qual além de ter as mesmas características de resistência do epóxi, porém tem tempo de cura muito menor (< 1h) e maior facilidade de aplicação, já que dentro da própria embalagem ocorre a mistura dos dois elementos componentes.

Para verificação do seu uso na monumentação, foram realizados testes de ancoragem, utilizando o adesivo epóxi (Figura 11). O adesivo epóxi comprovou sua eficiência como fixador para ancoragem, não havendo movimentação do parafuso mesmo realizando forças por todos os lados com um alicate, o mesmo não se moveu.

Figura 11 - Sequencia de teste de ancoragem utilizando adesivo epóxi

Fonte: autores

Por fim, serão utilizadas três porcas, sendo uma para prender a base contra o parafuso e duas pra nivelar a base e fixá-la, conforme Figura 12.

Figura 12: Forma de nivelamento da base.

Fonte: Unavco.

4 CONCLUSÃO

O projeto tem sua implementação programada para os próximos meses, com a continuação das adequações, como a ancoragem e a própria monumentação. Como trabalhos futuros, serão executados a ponteira do dispositivo de centragem forçada, definição da altura do mastro e sua fixação. Espera-se que o monumento resista as difíceis condições climáticas sem ser fonte de erros nas medições propostas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao acadêmico Maurício Kenji Yamawaki pelo auxílio no trabalho e a Oficina do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela confecção dos modelos. Esse projeto foi financiado em parte pelo CNPq (457530/2014-6 e) e FAPERGS (26228.414.42497.26062017).

REFERÊNCIAS

ABINOX – Associação Brasileira do Inox - informativo nr 08 – Abril de 2016

CHURCH, J. A.; CLARK, P. U.; CAZENAVE, A.; GREGORY, J. M.; JEVREJEVA, S.; LEVERMANN, A.; MERRIFIELD, M. A.; MILNE, G. A., NEREM, R. S.; NUNN, P. D.; PAYNE, A. J.; PFEFFER, W. T.; STAMMER, D.; UNNIKRISHNAN, A. S. **Sea Level Change**. In STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P.M. (Eds.). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013.

DAWIDOWICZ, K; (2013) **Sea level changes monitoring using GNSS technology – a review of recent efforts.** ACTA ADRIATICA, 55(2): 145 - 162, 2014

IBGE. **Padronização de Marcos Geodésicos**. Agosto de 2008

MONICO, J.F.G., **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS Descrição, fundamentos e aplicações.** 1.ed. Presidente Prudente: Editora UNESP, 2000.

NIEVINSKI, F. G.; MONICO, J. F. G. **GPS como um sensor remoto**. In: PARANHOS FILHO, A. C. et al. (Eds.). Geotecnologias em Aplicações Ambientais. Campo Grande: Editora da UFMS, 2016.

PBMC, 2016 **Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas** [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 116p.

UNAVCO, 2010 **Polar Mast Overview** Disponível em: < http://kb.Unavco.org/kb/article.php?id=326> acessado em: 25 de junho de 2018

WOODWORTH, P. L.; G. WÖPPELMANN, M. MARCOS; M. GRAVELLE; R. M. BINGLEY (2017), **Why we must tie satellite positioning to tide gauge data**, Eos, 98, Publicado em 03 Janeiro de 2017.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

AMPLIAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DA RBMC

SONIA MARIA ALVES COSTA
GUIDERLAN MANTOVANI
FLÁVIO SCOFANO
MARCO AURÉLIO DE ALMEIDA LIMA
ALBERTO LUIZ DA SILVA
NEWTON JOSÉ DE MOURA JÚNIOR

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE
Diretoria de Geociências – DGC
Coordenação de Geodésia – CGED
sonia.alves@ibge.gov.br, guiderlan.mantovani@ ibge.gov.br
flavio.scofano@ ibge.gov.br, marco.almeida@ ibge.gov.br
alberto.luis@ibge.gov.br, newton.junior@ibge.gov.br

RESUMO – Estabelecida há mais de 21 anos, a RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS é a principal infraestrutura geodésica para o referencial SIRGAS2000 no Brasil. Ao longo destes anos, a RBMC passou por diversas modificações decorrentes da evolução tecnológica, bem como da modernização e surgimento dos novos sistemas de navegação por satélites. Inicialmente, os dados publicados diariamente atendiam o posicionamento relativo pós-processado e a partir de 2009 a RBMC passou a operar também em tempo real, disponibilizando fluxo de dados e correções para o posicionamento em tempo real.
Atualmente com 144 estações operacionais e com mais de 360.000 downloads mensais, a RBMC assume um papel de destaque no georreferenciamento de precisão para o país. Seus dados também são de extrema importância nos estudos associados aos sistemas que interagem no planeta Terra, como por exemplo, das camadas atmosféricas e geodinâmica. O objetivo deste trabalho é apresentar as futuras mudanças que a rede deverá passar nos próximos anos, visando acompanhar a evolução e modernização dos sistemas GNSS, bem como as premissas adotadas para a sua ampliação. Serão apresentados também resultados oriundos do pós-processamento multi-constelação obtidos a partir de duas ferramentas gratuitas e a análise dos resultados.

ABSTRACT - Established more than 21 years ago, the Brazilian GNSS permanent Network - RBMC is the main geodetic infrastructure for the official geodetic reference system in Brazil, SIRGAS2000. Throughout these years RBMC has undergone several modifications, due to the technological evolution, as well as the modernization of the Global Navigation Satellite System. Initially, daily data attended the post processed relative positioning and since 2009 RBMC began to operate also in real time, providing data stream and corrections for the real time positioning. Currently with 144 operating stations, more than 360,000 monthly downloads, RBMC has an important role in the precise georeferencing for the country. Their data are also extremely important in studies associated with systems that interact on planet Earth, such as atmospheric layers and geodynamics. The goal of this work is to present RBMC future steps for the coming years, aiming to follow the evolution of GNSS systems, as well as the premises adopted for its expansion. We will also present results from multi-constellation post-processing obtained from two free tools and the analysis of the results.

1 INTRODUÇÃO

Na responsabilidade do estabelecimento e manutenção do Sistema Geodésico Brasileiro-SGB, o IBGE através da Coordenação de Geodésia incorporou a tecnologia GPS (Global Positioning System) em 1991 na expansão do SGB, a qual possibilita a determinação tridimensional das coordenadas das estações geodésicas, além de ser a mais precisa, proporcionando assim, as redes geodésicas mais precisas do país.

Esta modernização ocasionou uma transformação na metodologia e determinação das coordenadas das estações do SGB na vertente planimétrica, passando a partir deste momento, uma única técnica ser utilizada na obtenção das coordenadas tridimensionais, caracterizando-a como rede planialtimétrica do SGB.

Da rede planialtimétrica surgiram duas vertentes distintas, porém complementares; uma passiva constituída pelas estações das redes estaduais GPS e demais estações GPS e outra ativa, composta pelas estações da RBMC. A RBMC

atua como estrutura geodésica de referência para os posicionamentos utilizando-se da técnica baseada no Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS - Global Navigation Satellite System). Também conhecida como rede geodésica ativa ou de operação contínua, a RBMC é formada por um conjunto de estações com receptores GNSS que operam 24 horas, durante os sete dias da semana. Os receptores que equipam as estações da RBMC são de alto desempenho e proporcionam observações de alta qualidade e confiabilidade. Neste contexto, é de extrema importância não só o controle da qualidade dos dados, mas também a estabilidade no funcionamento das estações.

Na década de 90, através da colaboração com algumas iniciativas internacionais, o IBGE iniciou a capacitação no estabelecimento de estações ativas. A primeira estação, Fortaleza (FORT), foi estabelecida no INPE de Euzébio em 1993 com o National Geodetic Survey (NGS). A segunda estação, Brasília (BRAZ), estabelecida em 1995 na Reserva Ecológica do Roncador, com a Jet Propulsion Laboratory (JPL), uma instituição associada a NASA. O interesse destas instituições internacionais era o cálculo das órbitas precisas GPS, realizado pelo International GNSS Service (IGS), pois era necessária uma distribuição homogênea de estações no mundo todo. Somente no final de 1996 com a aquisição de sete equipamentos através do Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), em colaboração com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) é que foi estabelecida a primeira estação da RBMC em Curitiba, a estação PARA.

A RBMC assumiu um papel e destaque para a geodésia nacional quando o SIRGAS2000 (IBGE, 2018), compatível com o GNSS, foi adotado oficialmente no país em 2005, passando ser a estrutura geodésica de referência, e a principal ligação do SGB com os sistemas de referência globais (ITRF, SIRGAS e WGS84).

Dada a importância da RBMC, os dados de todas as estações são processados semanalmente pelo Centro de Análise SIRGAS (Sistema Geocêntrico de Referência para as Américas) – IBGE, que desempenha também a tarefa de combinar as soluções de outros centros de processamento regionais SIRGAS, formando assim a solução semanal da rede SIRGAS-CON (Continuous Operating Network). Através deste processamento no software Bernese é realizado o monitoramento das coordenadas ao longo do tempo, atividade importante para a manutenção do referencial geodésico no país.

Considerando a popularização do GNSS, a RBMC é de grande contribuição no georreferenciamento de precisão, destacando-se na demarcação de unidades político-administrativas, obras de infraestrutura e ordenamento territorial, operando tanto no modo pós-processado como em tempo real. Hoje a RBMC também é um laboratório de pesquisas em diversas áreas que estudam os sistemas que interagem no planeta Terra, dentre as quais se destacam a geodinâmica, meteorologia e atmosfera.

Foi através de suas observações que se constatou que a crosta terrestre na região Amazônica possui uma variação vertical de amplitude anual de 9 cm aproximadamente, decorrente da variação de massa d'água dos rios. Descobriu-se também que o Brasil possui uma atividade ionosférica com altos níveis de oscilação, o que vem a ocasionar problemas na propagação das ondas eletromagnéticas na região que habitamos.

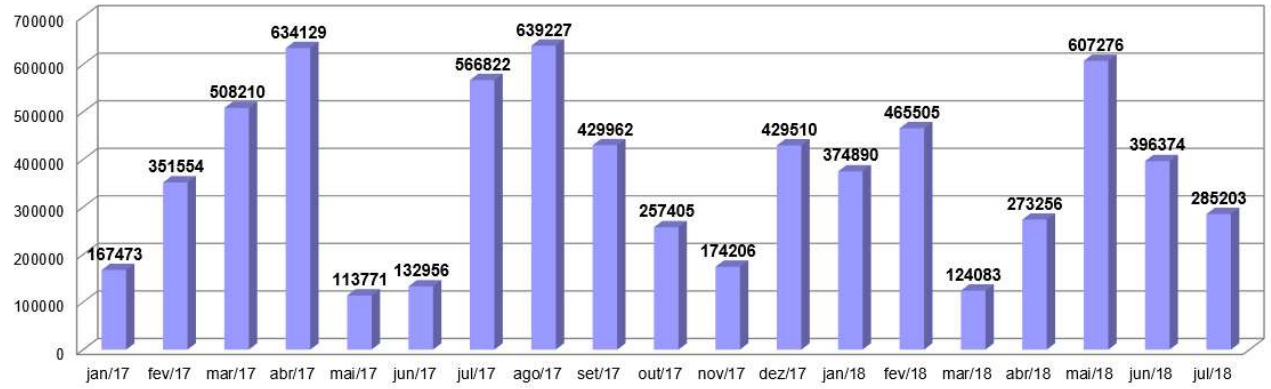
Em um levantamento recente, realizado pela Agência Espacial Brasileira (AEB) sobre o processo de identificação e análise de demandas nacionais ao setor espacial, no âmbito das atividades de posicionamento e navegação por satélite, foi endereçada a importância de se reforçar os investimentos na melhoria da RBMC. Neste contexto, o IBGE vem traçando as futuras implementações para a rede através do projeto estratégico denominado Ampliação e Modernização da RBMC, que abrange a densificação da rede orientado nos arranjos populacionais de maior relevância e nas estatísticas de uso dos dados, seja no modo pós-processado como em tempo real. A modernização da RBMC vai de encontro com a necessidade de equipamentos mais modernos capazes de rastrear satélites das quatro constelações GNSS que estarão operacionais até 2020, sendo elas: GPS (sistema americano), GLONASS (sistema russo), Galileo (sistema europeu) e Beidou (sistema chinês).

Este trabalho tem como proposta apresentar as futuras estratégias na densificação da RBMC, incluindo as estatísticas de uso dos dados da rede, os quais são de vital importância no endereçamento das prioridades. Será abordado também a etapa de modernização da rede, a qual prevê algumas alterações no formato de publicação dos dados, na quantidade de observáveis e de constelações. A última parte foi dedicada ao processamento dos dados de algumas estações com equipamentos multi-constelação através de duas ferramentas gratuitas sendo elas; o serviço web RTX Post-Processing da Trimble e o aplicativo RTKLIB desenvolvido pela Universidade de Tóquio. Os resultados destes processamentos serão avaliados com as soluções semanais da rede SIRGAS-CON, sendo considerada o melhor resultado obtido para as coordenadas das estações da RBMC.

2 ESTATÍSTICAS DE USO DOS DADOS DA RBMC

Há alguns anos a Coordenação de Geodésia vem calculando mensalmente as estatísticas de uso dos dados da rede, com o objetivo de orientar as ações futuras quanto a densificação de suas estações. Na Figura 1 são apresentadas as estatísticas de *download* mensal dos dados diários utilizados no pós-processamento, para o período de apuração entre janeiro de 2017 a julho de 2018. Constata-se através deste gráfico que a quantidade de *downloads* pode variar muito de mês a mês, entretanto a média para este período apurado é de 360.000.

Figura 1 – número de downloads mensais dos dados diários da RBMC, entre janeiro de 2017 a julho de 2018.



A Figura 2 apresenta as 20 estações mais utilizadas pelos usuários em 2017, enquanto a Figura 3 apresenta as 20 estações mais utilizadas até julho de 2018. Identifica-se nestes gráficos que cerca de 50% deste conjunto, estão as estações nas capitais dos estados, sendo as mais procuradas UFPR(Curitiba), POAL(Porto Alegre), POLI(São Paulo), CEFE(Vitória), NAUS(Manaus), BRAZ(Brasília), CUIB(Cuiabá), BOAV(Boa Vista), presentes na lista das 20 mais procuradas nos dois últimos anos. Outras estações situadas em cidades de menor porte, tais como PPTE(Presidente Prudente-SP), IMPZ(Imperatriz-MA) e SCLA(Lajes-SC), também estão na lista das mais procuradas nos anos 2017 e 2018.

Figura 2 – As 20 estações mais procuradas pelos usuários da RBMC e quantidade de downloads no ano 2017.

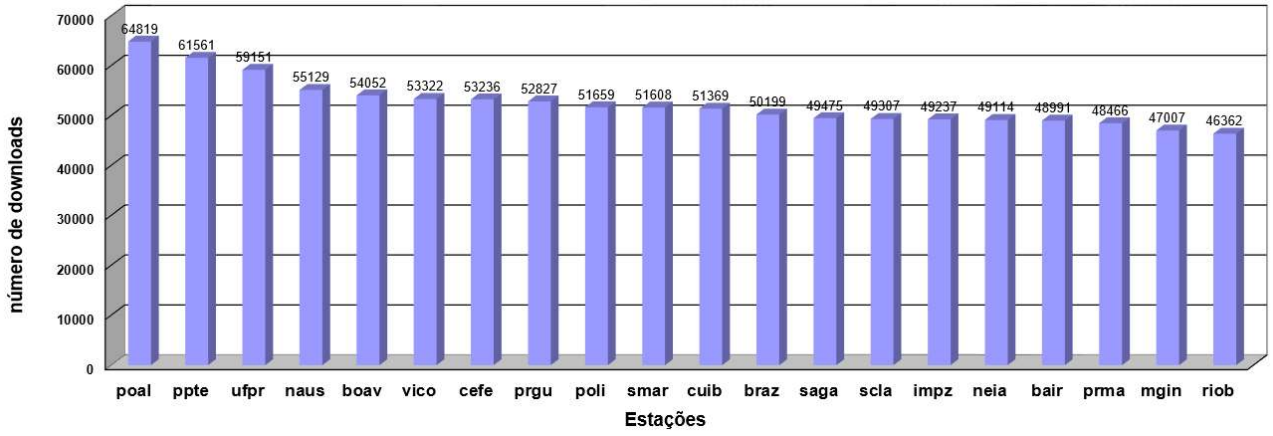
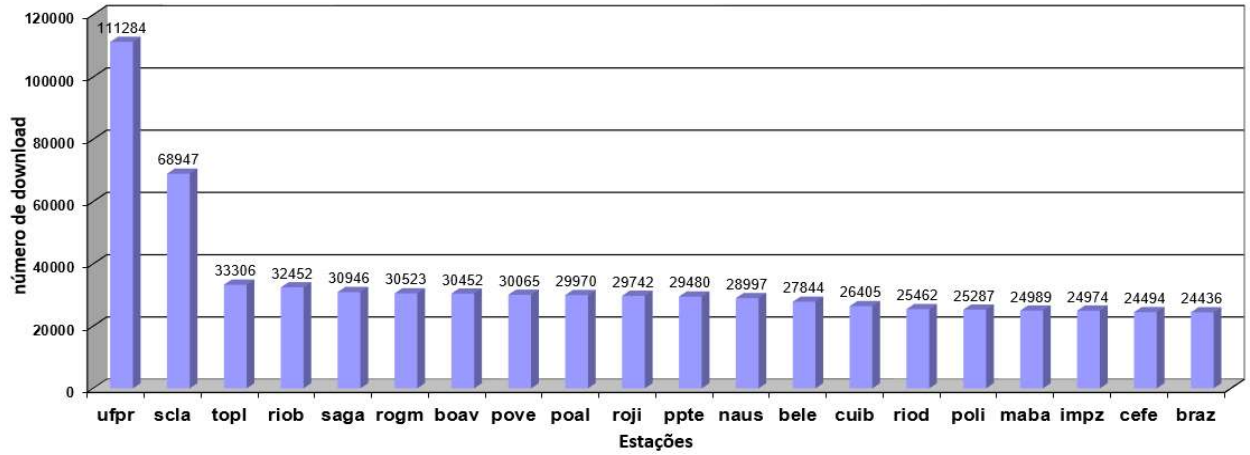


Figura 3 – As 20 estações mais procuradas pelos usuários da RBMC e quantidade de downloads até julho de 2018.



Considerando que o acesso aos dados em tempo real através do serviço RBMC-IP é realizado pelo protocolo NTRIP caster, é possível contabilizar e identificar os usuários através do login de acesso, bem como as estações utilizadas. Entretanto, devido à instabilidade da Internet seja, na estação ou no usuário, as estatísticas foram

contabilizadas eliminando-se as repetições. Deste modo, a Figura 4 apresenta as 20 estações mais utilizadas e a quantidade de usuários do serviço RBMC-IP no ano 2017 e a Figura 5 apresenta as mesmas informações até julho de 2018. Com base nas estatísticas apresentadas nas Figuras 4 e 5 constata-se que 50% das estações localizam-se nas capitais dos estados, provavelmente pela ampla disponibilidade de Internet móvel nestas cidades. As capitais mais procuradas pelos usuários do serviço em tempo real são: São Paulo, Curitiba, Porto Alegre, Florianópolis, Brasília, Salvador, Recife, Rio de Janeiro e Vitória. Os outros 50% são contabilizados por estações localizadas no estado de São Paulo e algumas na região sul, podendo indicar uma maior disponibilidade de Internet móvel nestes estados.

Figura 4 – As 20 estações mais utilizadas pelo serviço RBMC-IP e o número de usuários por estação no ano 2017.

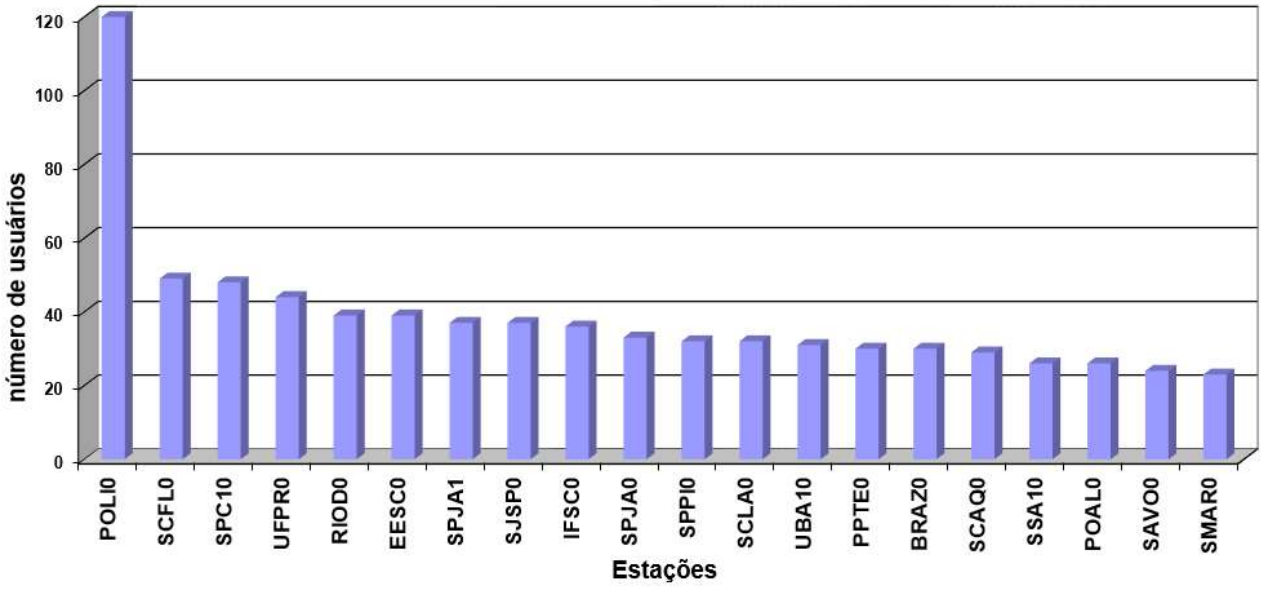
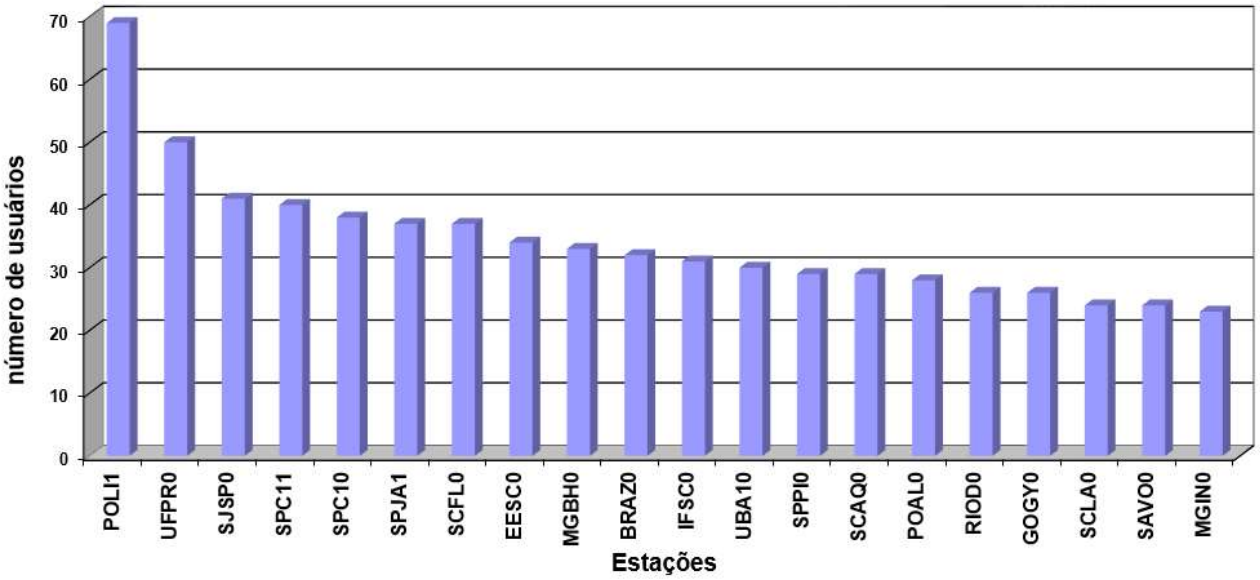


Figura 5 – As 20 estações mais utilizadas pelo serviço RBMC-IP e o número de usuários por estação, até julho de 2018.



3 AMPLIAÇÃO DA RBMC

Conforme informado anteeriormente, o estabelecimento da RBMC foi iniciado no final de 1996 com a estação de Curitiba. Em 2002, a RBMC encontrava-se constituída por um total de 15 estações. Entretanto, nesta época as operações da RBMC ainda eram impactadas pela comunicação com as estações através de linha telefônica e o acesso aos receptores era realizado através microcomputador instalado na estação. Além disso, o IBGE não dispunha de muitos equipamentos para atender um país de dimensões continentais.

Foi somente em 2007, através da parceria com o INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária), o qual havia adquirido 83 receptores de dupla frequência, que a RBMC passou de 24 estações para 55 em junho de

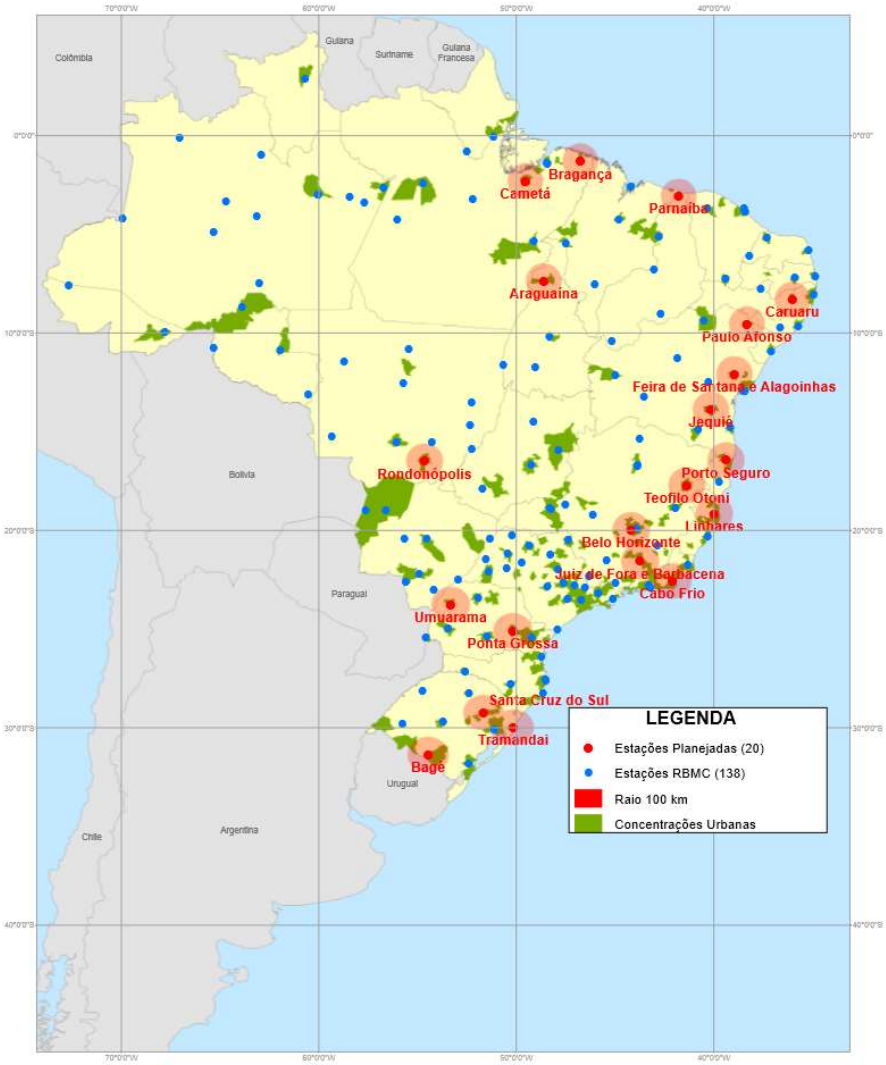
2008. Outros fatores também facilitaram a operação das estações, como por exemplo, o acesso direto aos receptores através de uma interface gráfica via Internet. Em 2013 iniciou-se a parceria com o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), o qual disponibilizou mais de 70 receptores e também algumas estações meteorológicas. Além destas duas instituições parceiras, a RBMC também conta com a colaboração de mais de 70 instituições, a grande maioria universidades, as quais fazem uso dos seus dados nas atividades acadêmicas e em pesquisas.

Atualmente, agosto de 2018, a RBMC possui 144 estações operando no modo pós-processado, sendo que 109 destas estações também operam em tempo real. A grande maioria dos receptores são GNSS (GPS e GLONASS) e em 32 delas possuem um sensor meteorológico coletando temperatura, pressão e umidade relativa a cada minuto. Estas informações meteorológicas são publicadas juntamente com os dados de rastreio.

Até pouco tempo atrás, o critério adotado para a densificação da RBMC era o cobrimento dos vazios geográficos, entretanto os resultados das estatísticas apresentadas na seção anterior proporcionaram uma visão voltada para o atendimento ao usuário. Deste modo, o IBGE realizou um estudo identificando nos arranjos populacionais e concentrações urbanas de maior relevância (IBGE, 2018a) do país, onde não havia uma estação da RBMC em um raio de 100 km. A Figura 6 apresenta os resultados deste estudo, ou seja, os municípios que serão contemplados com novas estações no contexto do planejamento estratégico da instituição até o ano 2027. Em 2018 já foram instaladas 3 novas estações; Paulo Afonso/BA, Teófilo Otoni/MG e Juiz de Fora/MG, seguindo este critério.

Outras densificações ocorrerão mediante à parcerias que são concretizadas com outras instituições, as quais precisam seguir os padrões internacionais de estações de operação contínua GNSS estabelecidos pelo IGS, quanto a estrutura física e equipamentos . Todas as estações da RBMC são incorporadas à Rede Regional SIRGAS-CON (Rede SIRGAS de monitoramento contínuo) (SIRGAS, 2018) e, portanto, a necessidade de seguir os padrões do IGS. Estes padrões e orientações encontram-se na publicação do IBGE "Orientações para Instalação de Estações de Monitoramento Contínuo GNSS compatíveis com a RBMC" (IBGE, 2018b).

Figura 6 – Estações da RBMC(azul) em operação e futuras estações (vermelho) nos arranjos populacionais e concentrações urbanas de maior relevância.



4 MODERNIZAÇÃO DA RBMC

A grande maioria dos receptores instalados nas estações da RBMC são GNSS (GPS e GLONASS), nos quais são coletadas observações de código e fase (L1, L2 e em algumas estações L5), a um intervalo de 15 segundos, sendo sua disponibilização efetuada em arquivos diários no formato RINEX2, juntamente com as órbitas operacionais IGS.

Todos receptores são configurados para funcionarem de forma automática enviando pacotes de dados através da conexão de Internet, a cabo ou satélite, ao servidor da RBMC ao longo do dia. A partir da 0 hora do dia seguinte são iniciados vários processos neste servidor, os quais organizam, criticam e publicam os dados no servidor de ftp da geociências do IBGE (ftp: //geoftp.ibge.gov). Estas tarefas são concluídas por volta das 8:00 da manhã e realizadas automaticamente todos os dias.

Em 2009, entrou em operação o serviço RBMC-IP cujo objetivo é disponibilizar fluxo de dados, efemérides e correções GNSS das estações da RBMC em tempo real através do protocolo TCP/IP, NTRIP - *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol,* desenvolvido pela Agência Alemã de Geodésia e Cartografia para transmitir estas correções e dados no formato RTCM 3.0. O serviço RBMC-IP proporciona aos usuários levantamentos de precisão centimétrica em tempo real, seja no modo estático quanto no modo cinemático.

O software NTRIP *caster* foi disponibilizado ao IBGE por esta agência alemã com base na cooperação com o Serviço IGS em Tempo Real (IGS-RTS) (IGS, 2018). De acordo com esta cooperação, os dados em tempo real de 5 estações da RBMC são disponibilizados ao IGS para contribuírem no cálculo de órbitas precisas em tempo real, entre outros produtos do IGS-RTS. Estas órbitas em tempo real são utilizadas em outro serviço, ainda em fase experimental, denominado PPP-TR (Posicionamento por Ponto Preciso em Tempo Real) (IBGE, 2018c). Para o Brasil, existem dois fluxos de correções para o referencial SIRGAS2000, o fluxo SIRGAS200001 para receptores GPS e o fluxo SIRGAS200002 para receptores GNSS.

Conforme relatado nesta seção, a RBMC vem aprimorando e diversificando a sua operação, acompanhando o desenvolvimento tecnológico e atendendo as necessidades dos usuarios de seus dados.

No contexto do projeto estratégico, o IBGE está trabalhando também na melhoria da qualidade dos dados. Com este objetivo há a previsão de instalar receptores GNSS multi-constelação em aproximadamente 13 estações por ano. Além disso, os dados passarão a ser publicados no formato RINEX3, contemplando todas as observações disponíveis nos 4 sistemas de navegação e a disponibilização das observações com intervalo de coleta de 1 segundo.

Estas atividades foram iniciadas no final de 2017 quando o IBGE adquiriu 20 novos receptores multi-constelação. Atualmente, agosto de 2018, todos equipamentos encontram-se instalados em 18 estações já existentes e 2 em novas estações, conforme apresentado na Figura 7. Em decorrência da aquisição dos novos receptores e da necessidade de acompanhar a evolução dos sistemas GNSS, os dados passaram a ser publicados com todas observáveis e frequências disponíveis. Em contrapartida, visando compensar o acréscimo no tamanho dos arquivos de dados, duas compressões foram aplicadas; as compressões no formato zip e Hatanaka. Para 2018 está prevista a publicação dos dados no formato RINEX3 de 32 estações que possuem receptores multi-constelação, identificadas em vermelho e azul na Figura 7. Para 2019, está prevista a publicação dos dados com intervalo de coleta a cada segundo em 10 estações, e a cada ano, este número de estações crescerá gradativamente.

Alterações também ocorreram no serviço RBMC-IP, adotando-se o formato RTCM 3.2, MSM (Multi Signal Messages), o qual contempla todas observações das 4 constelações.

A Tabela 1 apresenta a evolução da RBMC tanto na quantidade de estações, quanto na quantidade de constelções rastreadas, entre os anos 2013 e 2018

Tabela 1 - Evolução da RBMC entre os anos 2013 e 2018.

Ano	número de estações	GPS	GPS+GLO	GPS+GLO+GAL	GPS+GLO+GAL+BDS
2013	94	26	68	-	-
2018	145	7	110	6	22

5 PROCESSAMENTO MULTI-CONSTELAÇÃO

O objetivo desta seção é explorar resultados de processamento realizados com dados GNSS multi-constelação de estações da RBMC em comparação com a solução semanal da rede SIRGAS-CON, sendo esta a melhor solução para as coordenadas estações da RBMC calculadas atualmente. Com este propósito, foram utilizadas duas ferramentas, gratuitas, sendo elas:

(1) Serviço RTX Post-processing da Trimble (https://www.trimblertx.com/);

(2) Software RTKlib (www.rtklib.com);

Nas próximas sub-seções serão exploradas as características destas duas ferramentas e as análises dos resultados obtidos.

Figura 7 – RBMC em destaque na cor vermelha as estações com receptores multi-constelação e em azul as novas estações instaladas em 2018.

5.1 Processamento com o serviço RTX Post-processing

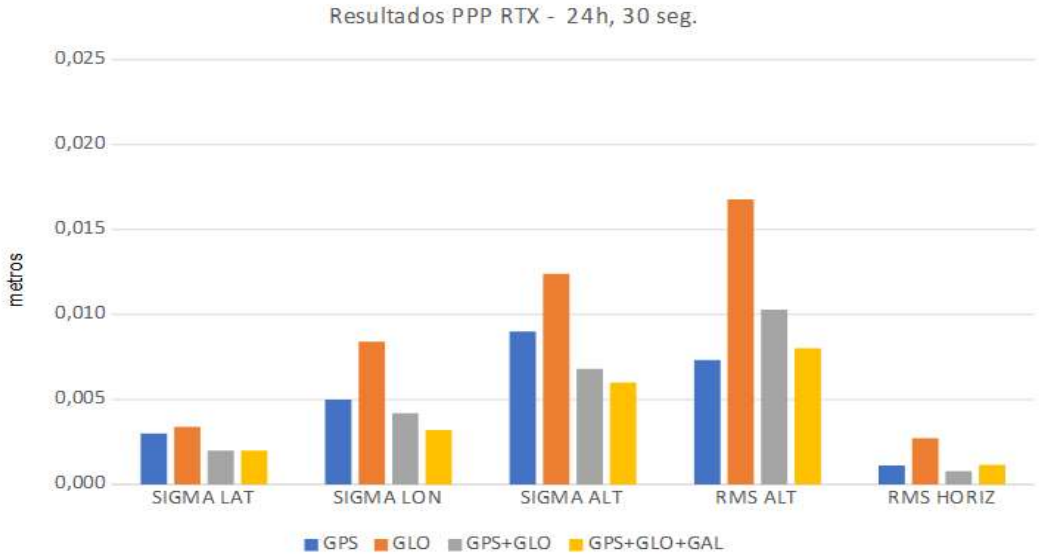
O serviço RTX Post-processing processa observações GNSS das 4 constelações GNSS (GPS, Glonass-GLO, Galileo-GAL e Beidou-BDS), entretanto, ele possui alguns requisitos para realizar o processamento através do método de posicionamento por ponto preciso, sendo eles: aceita somente modelos de antenas contempladas pela lista do IGS, aceita diferentes formato de dados, incluindo o RINEX3, os dados não podem ultrapassar 24 horas de rastreio, processa levantamentos somente no modo estático, os dados devem conter observações de fase da portadora e pseudo-distância e devem conter pelo menos as frequências L1 e L2. No caso da constelação Galileo, devem estar presentes todas as frequências para que as observações sejam utilizadas no processamento.

Apesar de existirem atualmente satélites da constelação Beidou que atendam o posicionamento global, apenas dois são encontrados nos dados de 24 horas obtidos das estações da RBMC, não havendo uma contribuição para os resultados obtidos. Os testes foram realizados com duas amostras de dados. Uma de 24 horas e intervalo de coleta de 30 segundos e outra de 1 hora com intervalo de coleta de 1 segundo, obtida através do serviço RBMC-IP. Nestes dois casos foi utilizado o formato RINEX3 de 5 estações da RBMC, sendo elas: BRAZ (Brasília), POVE (Porto Velho), SALU (São Luiz), SAVO (Salvador) e UFPR(Curitiba). Os dados são do período de maio a junho de 2018.

5.2 Análise dos Resultados do Serviço RTX Post-processing

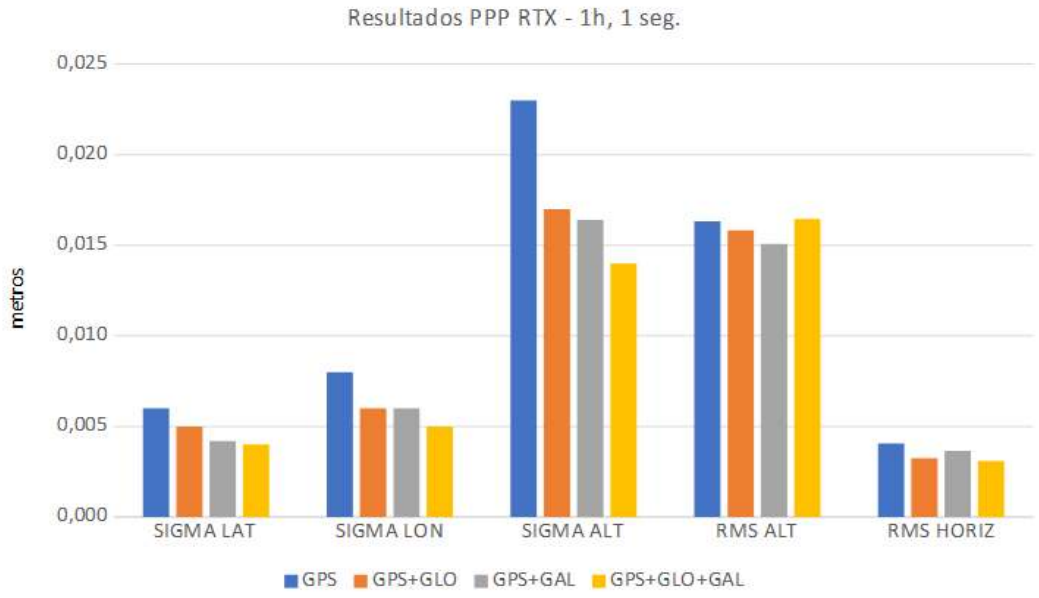
A Figura 8 apresenta o gráfico que resume os resultados com os dados de 24 horas, em 4 amostras de diferentes constelações. O sigma lat, lon e alt, correspondem ao desvio padrão em latitude, longitude e altitude e o RMS correspondem ao erro médio quadrático (EMQ) dos resíduos obtidos entre as soluções RTX e solução semanal da rede SIRGAS-CON. Os desvios padrão da pior solução correspondem aquela amostra que contém somente a constelação Glonass, entretanto estes valores não excedem 1.2 cm, indicando a boa qualidade da solução interna. Os desvios padrão de melhor solução correspondem aquela amostra em que foram usadas as três constelações, GPS+GLO+GAL. O mesmo ocorre com o EMQ dos resíduos, sendo que no deslocamento horizontal ele é melhor que o desvio padrão. Entretanto na componente vertical a solução contendo somente a constelação GPS tem melhor exatidão que as demais, apesar da pior solução vertical apresentar o EMQ de 1.6 cm, indicando uma solução de boa qualidade.

Figura 8 - Resumo dos resultados do Serviço RTX Post-processing com dados de 24 horas e intervalo de coleta de 30 segundos, obtidos em 4 amostras de diferentes constelações.



A Figura 9 apresenta o gráfico que resume os resultados com os dados de 1 hora, em 4 amostras de diferentes constelações, contendo as mesmas informações estatísticas da Fígura 8. Observa-se que tanto o desvio padrão quanto o EMQ das componentes horizontais são melhores que 1 cm, enquanto na componente vertical o desvio padrão chega a 2.3 cm na solução GPS. Em todos os casos as soluções são de qualidade, sendo que a solução contendo as três constelações apresenta uma pequena melhoria nas componentes horizontais.

Figura 9 - Resumo dos resultados do Serviço RTX Post-processing com dados de 1 hora e intervalo de coleta de 1 segundo, obtidos em 4 amostras de diferentes constelações.



5.3 Processamento com o software RTKlib

O RTKlib é um pacote de código aberto para o posicionamento GNSS desenvolvido por Tomoji Takasu da Universidade de Ciência e Tecnologia Marinha de Tóquio, disponibilizado gratuitamente na Internet. Neste trabalho foi utilizada a versão mais atual do software, v2.4.3, a qual processa dados de multi-constelação e realiza diferentes modos de posicionamento, estratégias para resolução de ambiguidade, e usa informações necessárias para um posicionamento preciso, tais como o modelo de correção de centro de fase das antenas dos receptores e satélites. Os dados GNSS (GPS+GLO+GAL+BDS) são de julho de 2018 e pertencem a 4 estações da RBMC, POLI, SPC1 (Campinas), RIOD e UFPR, cujas distâncias entre elas variam de 80 a 400 Km. Para cada linha de base processada foram produzidas 4 soluções, com os seguintes intervalos de tempo: 1 hora (de 5:00 as 6:00), 2 horas (de 5:00 as 7:00), 3 horas (de 5:00 as 8:00) e 24 horas. Os dados estão com intervalo de coleta de 5 segundos, no formato RINEX3, inclusive as órbitas transmitidas do IGS (BRDC). A Tabela 2 apresenta resumidamente algumas informações e opções adotadas na obtenção dos resultados.

Tabela 2 - Informações e opções usadas nos processamentos com o RTKlib.

formato dos dados GNSS	RINEX3
intervalo de coleta	5 segundos
órbitas	transmitidas GNSS BRDC - RINEX3
angulo de elevação	5 º
frequências	L1, L2 e L5
modelo de correção de centro de fase das antenas do receptor e satélite	ngs14.atx
Modelo de correção da troposfera	Saastamoinen
Modelo de correção de ionosfera	Combinação linear livre da ionosfera

5.4 Análise dos Resultados com o software RTKlib

A Figura 10 apresenta o gráfico que resume os resultados com observações GPS de 1, 2, 3 e 24 horas, em 4 amostras de diferentes constelações. Os desvios padrão da pior solução correspondem ao período de 1 hora, entretanto estes valores não excedem 6 cm, indicando a boa qualidade da solução interna. Não há uma diferenças significativas tanto do desvio padrão quanto do EMQ entre as soluções dos períodos de 2 e 3 horas, sendo consideradas de semelhante consistência interna e externa. Os desvios padrão de melhor solução correspondem aquela solução de 24 horas, entretanto o EMQ não indica esta a solução de melhor exatidão. Este fato ocorreu em todas as linhas de base processadas porque os resultados após às 14:00 horas TU, eram de pior qualidade. Observa-se que o RMS da componente vertical possui uma sistematicidade de aproximadamente 15 cm que pode ser decorrente de problemas na aplicação do modelo de correção do centro de fase da antena do receptor. Este fato também é constatado na Figura 11.

A Figura 11 apresenta o gráfico com as mesmas informações estatísticas da Figura 10, entretanto correspondem as soluções GNSS incluindo o Galileo. Observa-se que os desvios padrão das 3 componentes são melhores que na solução GPS, entretanto o EMQ são em alguns casos piores do que na solução GPS, como por exemplo, no período de 1 hora.

Figura 10 - Resumo dos resultados do RTKlib com dados de 1, 2, 3 e 24 horas e intervalo de coleta de 5 segundos, obtidos de soluções GPS.

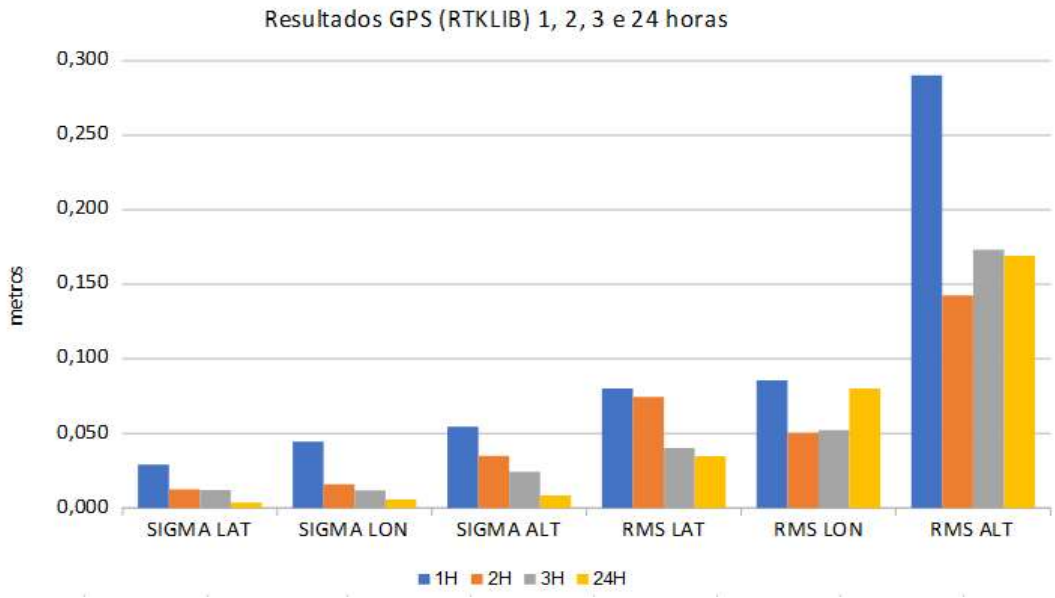
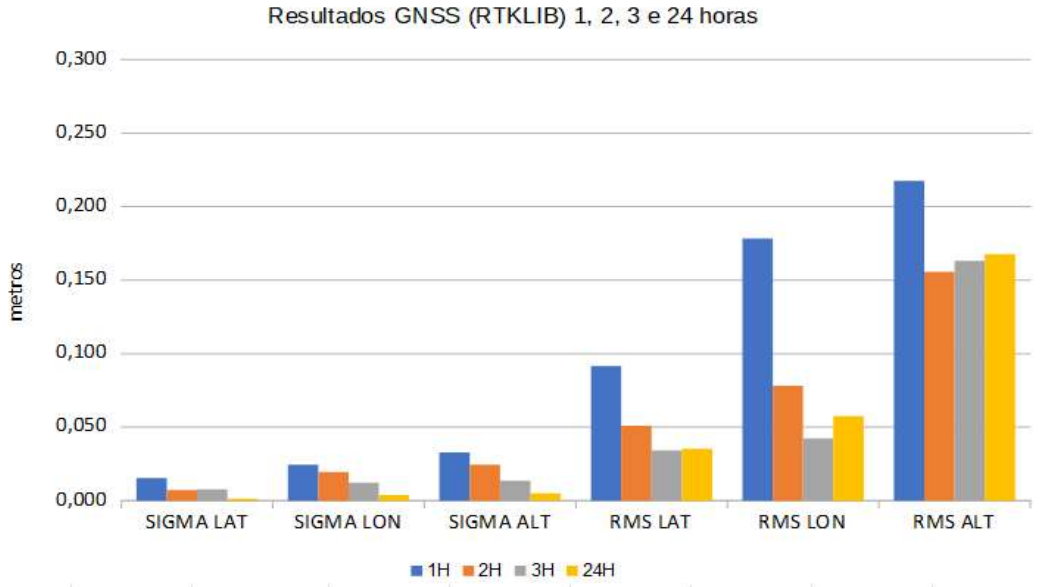


Figura 11 - Resumo dos resultados do RTKlib com dados de 1, 2, 3 e 24 horas e intervalo de coleta de 5 segundos, obtidos de soluções GNSS (GPS+GLO+GAL).



6 CONCLUSÕES

Constata-se através das estatísticas de uso dos dados da RBMC apresentadas neste trabalho que esta infra estrutura geodésica é de grande importância tanto nas atividades de georreferenciamento quanto para as pesquisas científicas. O IBGE, reconhece a sua importância para a geodésia no país e conduz de forma estratégica o futuro da rede, através de investimentos que visam acompanhar o desenvolvimento tecnológico dos sistemas GNSS.

Os resultados obtidos nos testes realizados no RTX e no RTKlib são de boa qualidade, tanto em relação a consistência interna quanto externa, apesar de algumas diferenças de origem sistemática na compomente vertical aparecerem nas soluções do RTKlib e não terem uma causa identificada claramente.

Apesar da previsão das constelações Galileo e Beidou estarem operacionais em 2020, no momento existe uma carência de *software* para o processamento de múltiplas constelações GNSS. Outra questão que merece atenção até 2020 é a estimativa de valores de calibração de centro de fase das antenas dos receptores para as demais frequências GNSS, além de L1 e L2.

Agradecimentos
A equipe da RBMC e o IBGE agradecem todas as instituições que colaboram na operação da Rede.

REFERÊNCIAS

IBGE, 2018. **Estabelecido em 25 de fevereiro de 2015 o término do período de transição para o SIRGAS2000.** Disponível em:<https://ww2.ibge.gov.br/home/disseminacao/destaques/2015_02_11_sirgas2000.shtm>. Acesso: 24 agosto 2018.

IBGE, 2018a. **Arranjos Populacionais e Concentrações Urbanas do Brasil** . Disponível em: < https://www.ibge.gov.br/apps/arranjos_populacionais/2015/pdf/publicacao.pdf>. Acesso: 24 agosto 2018.

IBGE, 2018b. **Orientações para Instalação de Estações de Monitoramento Contínuo GNSS compatíveis com a RBMC.** Disponível em: <http://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/revista_e_manuais_tecnicos/mtg10.pdf>. Acesso: 24 agosto 2018.

IBGE, 2018c. **Posicionamento por Ponto Preciso em Tempo Real.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16332-rbmc-ip-rede-brasileira-de-monitoramento-continuo-dos-sistemas-gnss-em-tempo-real.html?edicao=16331&t=sobre>. Acesso: 24 agosto 2018.

IGS . **Real-Time Service**. Disponível em:<**http://www.igs.org/rts**>. Acesso: 24 agosto 2018.

SIRGAS. **Rede SIRGAS de Monitoramento Contínuo**. Disponível em: <http://www.sirgas.org/pt/sirgas-con-network/>. Acesso: 24 agosto 2018.

ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA DOS DADOS DAS REFERÊNCIAS DE NÍVEL DO SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO LOCALIZADAS NA CIDADE DE ITAQUI NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

SAMUEL TARSO DA SILVA 1
AROYTO PEREIRA CARDOSO DE SOUSA BACURI 2
TAÍSE GONÇALVES DE SALES 3
LEONARD NIERO DA SILVEIRA 4

Universidade Federal do Pampa- UNIPAMPA
Núcleo de Estudos em Cartografia e Agrimensura - NECA
Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Itaqui, RS
s.tarso@alunos.unipampa.edu.br, aroytopscardoso@gmail.com, taise.14@gmail.com, leonardsilveira@unipampa.edu.br

RESUMO - Este presente trabalho realizou uma verificação as referências de nível (RRNN) pertencentes à rede de 1ª ordem do IBGE existentes no perímetro urbano de Itaqui, por meio de nivelamento geométrico, utilizando-se o nível digital da marca Leica®, com precisão de ±2 mm por km de duplo nivelamento. Para isso, foram implantados cinco circuitos de nivelamento geométrico entre as RRNN. O Circuito 1, entre as RN1931B e RN1923T, o erro de fechamento do nivelamento duplo foi de +1,00 mm para um deslocamento de 2.316,37 m. No Circuito 2, compreendido pelas RN1923X e RN1931B, o erro foi de +4,00 mm para um trecho percorrido de 2.589,750 m. Para o Circuito 3, estabelecido entre as RN1923X e RN1931A, o erro de fechamento do duplo nivelamento foi de +5,00 mm para uma extensão de 4.089,750 m. Para o Circuito 4 dentre as RN1923X e RN1931B, com erro de –11,00 mm no duplo nivelamento para o trajeto percorrido de 4503,980 m, finalmente no Circuito 5 o erro foi de -8,00 mm no nivelamento geométrico com a extensão de 4.721,780 m. Todos os circuitos de nivelamentos obtiveram erro inferior ao máximo permitido segundo a resolução PR nº 22 (IBGE, 1983), que é de $12\text{mm}\sqrt{\text{km}}$.

ABSTRACT – This work carried out a verification of the level references (RRNN) belonging to the first-order IBGE network existing in the urban perimeter of Itaqui, by means of geometric leveling, using the Leica® digital level, with an accuracy of ± 2 mm per km of double leveling. For this, five geometric leveling circuits were implemented between the RRNN. Circuit 1, between RN1931B and RN1923T, the double level closing error was +1.00 mm for a 2,316.37 m detachment. In Circuit 2, comprised of the RN1923X and RN1931B, the error was +4.00 mm for a 2,5 km. For Circuit 3, established between RN1923X and RN1931A, the double level closing error was +5.00 mm for an extension of 4,089,750 m. For Circuit 4 of the RN1923X and RN1931B, with error of -11.00 mm in the double leveling for the path traveled of 4503.980 m, finally in Circuit 5 the error was of -8.00 mm in the geometric leveling with the extension of 4,721,780 m. All the leveling circuits obtained an error lower than the maximum allowed according to the resolution PR nº 22 (IBGE, 1983), that is of $12\text{mm}\sqrt{\text{km}}$.

1 INTRODUÇÃO

Para as obras de engenharia, o conhecimento da altitude ortométrica reveste-se de vital importância devido ao seu sentido físico (afetada pela gravidade). No Brasil a rede vertical oficial foi implantada pelo IBGE denominada de Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) sendo constituída por um conjunto de pontos materializados ao longo do território brasileiro (RRNN). Possui como *datum* vertical a superfície que coincide com a superfície equipotencial que contém o nível médio do mar (NMM), "marco zero", definido pelas observações maregráficas no porto de Imbituba, no Estado de Santa Catarina.

Para a implantação do sistema de referência materializada na superfície física da Terra é necessário a obtenção das altitudes a partir de um ponto inicial, *Datum*, determinada por meio de nivelamento geométrico, trigonométrico, barométrico ou por técnicas espaciais (DE FREITAS; BLITZKOW, 1999).

A precisão do nivelamento geométrico é na ordem dos milímetros enquanto o trigonométrico fica na ordem do centímetro ou decímetro.

Rodrigues *et al*. (1999) demonstra como o IBGE classifica as RNs de acordo com seu estado de conservação e condições de uso para atividades de exigem precisão geodésica em: bom, destruído, destruído sem chapa, destruído com chapa danificada, não encontrado e não visitado. Essa conceituação possibilita atender profissionais da área de Geomática

para a execução de trabalhos com precisão geodésica, assim como trabalhos que ordenam menor precisão como levantamentos cartográficos e topográficos de menor precisão.

1.1 Geodésia

De acordo com a definição clássica de Helmert (1880), "a geodésia ($\gamma\eta$ = Terra, $\delta\alpha\iota\omega$ = divisão) é a ciência de mensurar e representar a superfície terrestre" (TORGE; MÜLLER, 2012 apud HELMERT, 1880). A geodésia é a ciência que se ocupa do estudo da forma e dimensões da Terra, incluindo seu campo de gravidade e variação temporal (VANÍČEK, 1976). A geodésia pode ser classificada em geodésia física, geodésia geométrica e geodésia celeste ou espacial.

A geodésia física é a área voltada para o estudo do campo da gravidade e suas aplicações em zonas afins como a determinação das anomalias da gravidade, desvio da vertical e das ondulações do geoide (GEMAEL, 1999).

A geodésia geométrica realiza operações sobre a superfície terrestre, (medidas angulares e distâncias) que proporciona as coordenadas elipsoidais (ϕ, λ) (GEMAEL, 1999).

A geodésia celeste ou espacial é baseada na observação de corpos celestes artificiais, que por meio de técnicas de trilateração espacial, posicionamento geodésico explorando o efeito doppler e rastreio de satélites a laser que proporcionaram a determinação do posicionamento de pontos na superfície terrestre. O conjunto de técnicas para o posicionamento astronômico por estrelas, também estão inseridas neste contexto, porém as coordenadas obtidas por astronomia são geográficas, necessitando-se o conhecimento dos componentes do desvio da vertical para convertê-las em coordenadas geodésicas (SILVEIRA, 2009).

1.2 Superfície de referência

De acordo com Torge (2001) as superfícies de referências são empregadas para distinguir as coordenadas oriundas da superfície curvilínea elipsoidal para posicionamento vertical das altitudes que estão localizadas acima da superfície de altitude zero, datum vertical, utilizadas no posicionamento vertical.

A composição heterogênea dos diferentes materiais que compõem a superfície física terrestre intervém na intensidade da aceleração gravitacional naquele local. Por ser tratar de uma superfície de difícil representatividade e modelagem, na aproximação matemática da forma física real da Terra é adotado o elipsoide de revolução (SEEBER, 2003).

A superfície elipsoidal é amplamente adotada para facilitar o seu uso em cálculos matemáticos, e por isso é utilizado como superfície de referência para coordenadas horizontais nas redes geodésicas. Para as coordenadas verticais a superfície de referência é o geoide, que é uma superfície equipotencial do campo gravitacional da Terra coincidindo com o nível médio dos mares (TORGE, 2001).

A constituição da Rede Altimétrica Alta Precisão do SGB iniciou-se no ano de 1945 por meio de Nivelamento Geométrico de Alta Precisão realizado pela Seção de Nivelamento (SNi) da Divisão de Cartografia (DC) no sentido Norte-Sul através das regiões litorâneas estendendo-se até a capital do Estado do Maranhão, São Luiz-MA (ALENCAR, 1968).

Posteriormente, o nivelamento geométrico seguiu para o interior do Brasil, substituindo as referências de níveis implantadas por outras instituições e também a reconstituição dos circuitos danificados (ALENCAR, 1990).

Porém, antes dos trabalhos se desenvolverem em direção ao norte do Brasil, foi estabelecido como *datum* provisório os valores fornecidos pelo marégrafo de Torres-RS.

Em 1958, houve a troca do *Datum* de Torres-RS pelo *Datum* Imbituba-SC, pois naquele momento o Porto de Imbituba-SC contava com nove anos de observações maregráficas (1949-1957) em relação as variações dos níveis do mar (ALENCAR, 1990).

A Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) é constituída por um conjunto de pontos materializados ao longo do território brasileiro por meio de duplo nivelamento (nivelamento e contranivelamento) com nível ótico ou digital. Possui como referência vertical a superfície equipotencial que contém o nível médio do mar (NMM), definido pelas observações maregráficas no porto de Imbituba-SC.

A grande maioria da Rede Altimétrica está conectada ao Datum Imbituba, entretanto somente uma pequena parte localizada ao Norte no Estado do Amapá, localizada às margens do Rio Amazonas, está interligada ao Porto de Santana originando assim o *Datum* Santana (LUZ, GUIMARÃES, 2001).

A metodologia empregada no nivelamento de precisão permitia a tolerância igual ou menor a 4mm $\sqrt{\text{km}}$ entre duas medidas de RRNN, ou seja, entre o nivelamento e contranivelamento. Conforme MEDEIROS (1999 apud LUZ, 1998) existiam 180.000 km de linhas de nivelamento integradas aos SGB, e foram materializadas por 65.000 Referências de Nível (RRNN), sendo que em torno de 60% do total hoje encontram-se danificados ou destruídos. A destruição e/ou danificação dos mesmos é fato recorrente, e dependendo da finalidade do nivelamento a ser realizado, a presença de uma RRNN é indispensável, pois todas suas RRNN estão vinculadas ao porto de Imbituba-SC, isto é, ponto de altitude zero em relação ao geoide que é denominado *Datum* (MEDEIROS, 1999).

A figura 1 mostra a distribuição da rede altimétrica do SGB pelo território brasileiro.

Figura 1 – Rede Altimétrica do SGB com os *Datum* de Imbituba e Santana. Adaptado (REALT, 2018).

Fonte: IBGE (2018).

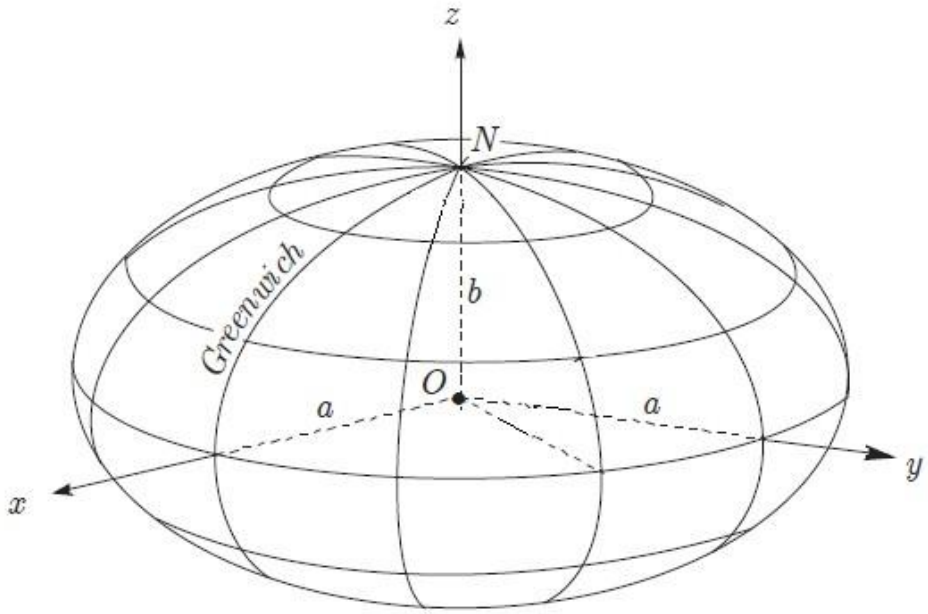
Em julho de 2018, o IBGE realizou o reajustamento de toda a RAAP com números geopotenciais, com a inclusão da gravidade é possível diminuir as inconsistências altimétricas, aliando o nivelamento geométrico de alta precisão com dados da gravimetria.

O geoide é usado como superfície de referência para distintas áreas das geociências como a geodesia, cartografia, geomática, geofísica e especialmente na oceanografia para alturas e profundidades marinhas (TORGE; MÜLLER, 2012).

Já Gemael (1999), define o geoide como uma superfície equipotencial do campo de gravidade onde apresenta suave ondulações de acordo com a densidade do material de origem no interior da Terra.

Na geodesia, o elipsoide é uma superfície de revolução criada pela rotação de uma elipse (cujos comprimentos maiores e menores de semi-eixos são a e b respectivamente e a>b) em relação ao seu eixo secundário (DEAKIN; HUNTER, 2010), conforme a Figura 2.

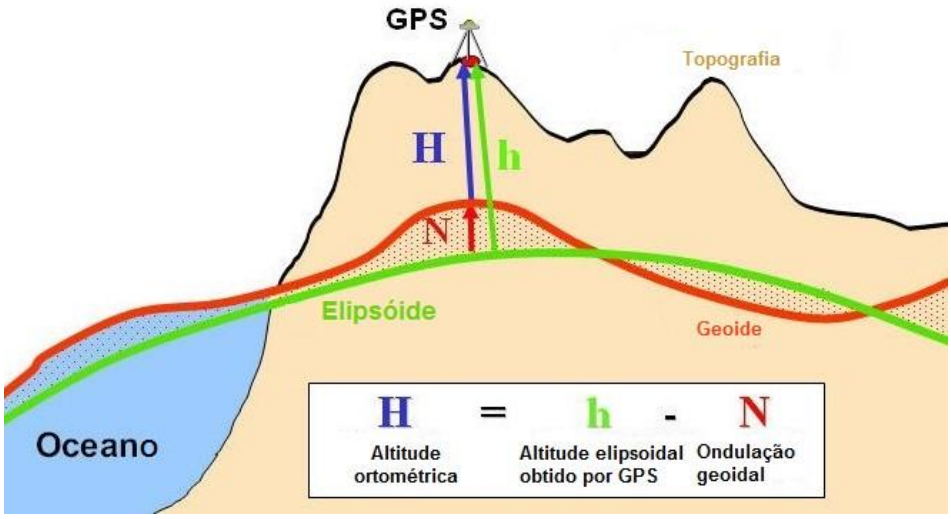
Figura 2 – Equipamentos e acessórios utilizados



Fonte: Adaptado de (DEAKIN; HUNTER, 2010).

A ondulação geoidal ou ondulação do geoide (N), é determinada como a distância vertical entre o elipsoide e o geoide (TORGE; MÜLLER, 2012). Geralmente, quando o geoide estiver acima do elipsoide, a ondulação geoidal será positiva, abaixo do geoide terá valor negativo (SAATKAMP; MORAES; FARRET, 2009), a Figura 3 ilustra as diferentes altitudes e a ondulação geoidal.

Figura 3 – Equipamentos e acessórios utilizados



Fonte: Adaptado de https://earthdata.nasa.gov/user-resources/sensing-our-planet/where-on-earth.

O *National Geodetic Survey* (NGS), define o datum geodésico como um conjunto de parâmetros e constantes que define um sistema de coordenadas, incluindo a sua origem, a sua orientação e escala, de tal maneira de torná-los acessíveis para aplicações geodésicas (DATA, 1976).

O *datum* horizontal é a origem de um sistema geodésico quanto as suas coordenadas horizontais (SILVEIRA, 2009). No Brasil, desde de fevereiro de 2015, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), estabeleceu que o *datum* horizontal a ser adotado seria geocêntrico, denominado como o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS).

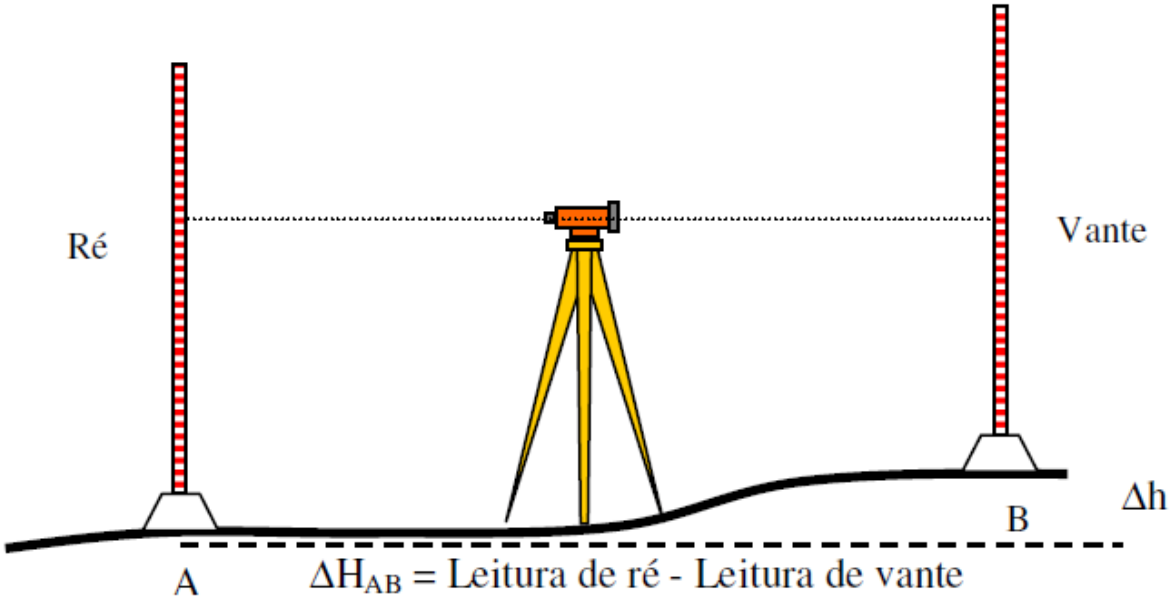
Um *datum* geodésico vertical é empregado para o controle geodésico das altitudes em que os pontos são mapeados para o geopotencial (JEKELI, 2006). A origem do *datum* vertical, está baseada nas observações do nível médio dos mares (NMM) e refere-se somente a um sistema geodésico local. No Brasil, a origem altimétrica do SGB é o nível médio do mar no marégrafo do porto de Imbituba - SC (SILVEIRA, 2009).

Altitude geométrica (h) é a distância contada ao longo da normal, da superfície do elipsoide, que é o modelo matemático que melhor representa a verdadeira forma da Terra, a um ponto na superfície física (superfície topográfica).

A altura ortométrica (H) é definida como a distância linear entre o ponto considerado da superfície física e o geoide, medido ao longo da vertical. No nivelamento geométrico sem o uso de gravímetros, é muito difícil a determinação da gravidade pontual, sendo que até o momento, os engenheiros denominam usualmente de altitude pseudo-ortométrica (GEMAEL, 1999).

De acordo com a ABNT (1994), a norma NBR 13.333 para a Execução de levantamento topográfico, o nivelamento geométrico ou direto realiza a medida da diferença de nível (Δh) entre dois pontos A e B do terreno por intermédio de leituras correspondentes a visadas horizontais, obtidas com um nível óptico ou ópticos/eletrônico, em miras colocadas verticalmente, nos referidos pontos A e B contados a partir de uma RN oficial. A leitura entre ré e vante está demonstrada na Figura 4.

Figura 4 – Nivelamento geométrico



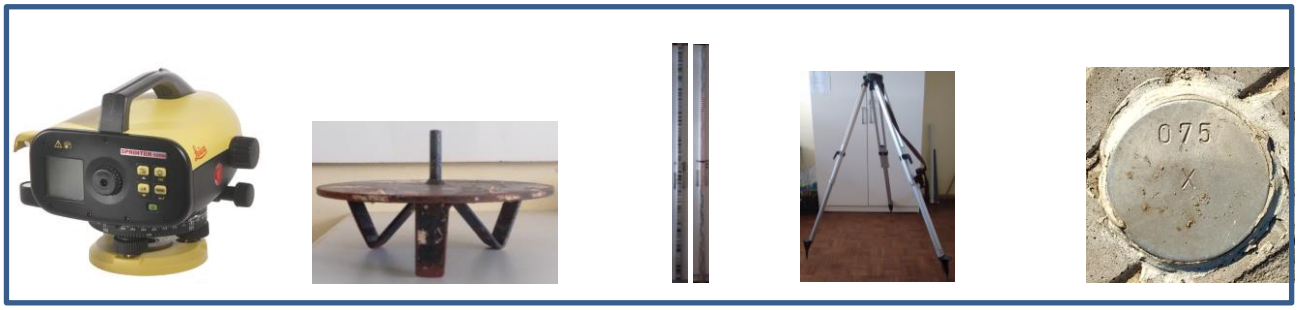
Fonte: (VEIGA; ZANETTI; FAGGION, 2012).

Os valores obtidos no nivelamento duplo (nivelamento e contranivelamento) variam de acordo com a aceleração da gravidade e da superfície equipotenciais existente na região. Por se tratar de superfícies equipotenciais não paralelas, os valores dos desníveis resultarão em valores distintos ($\Delta H1 \neq \Delta H2$) e dependerá do trajeto percorrido, desta forma o nivelamento geométrico se limita a uma região de aproximadamente 10 km (DE FREITAS; BLITZKOW, 1999).

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

Para a implementação deste experimento da verificação foi utilizado um nível eletrônico da marca LEICA, modelo SPRINTER100M com precisão de ± 2mm por km de duplo nivelamento, uma sapata topográfica, uma mira graduada em código de barras. Os equipamentos e acessórios utilizados são mostrados na Figura 5.

Figura 5 – Equipamentos e acessórios utilizados.



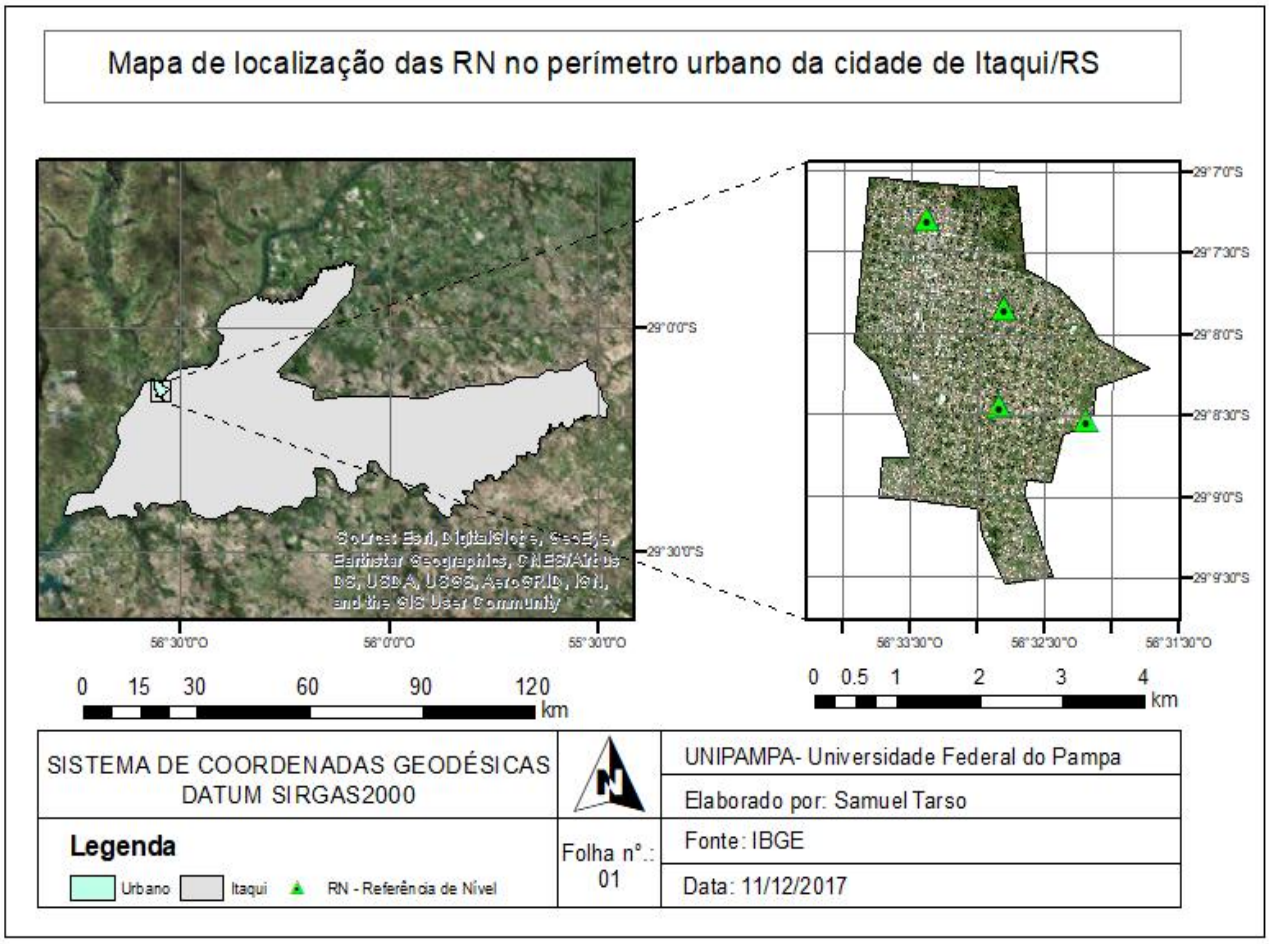
Fonte: Elaborado pelos autores.

Para os cálculos dos nivelamentos geométricos foi utilizado o software Posição, e a partir deste foi verificado o erro de fechamento para cada circuito de nivelamento.

2.1 Área de estudo

Inicialmente foi realizada a visita técnica in loco das RNs para a verificação preliminar existentes das condições físicas das mesmas. A área de estudo está localizada no perímetro urbano do município de Itaqui, Fronteira Oeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre as latitudes 29°07'18" S e 29º08'32" S e longitudes 56°33'23" W e 56º32'11" W, de acordo com a Figura 6.

Figura 6 – Mapa de localização das RNs da cidade de Itaqui – RS.



Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2 Métodos

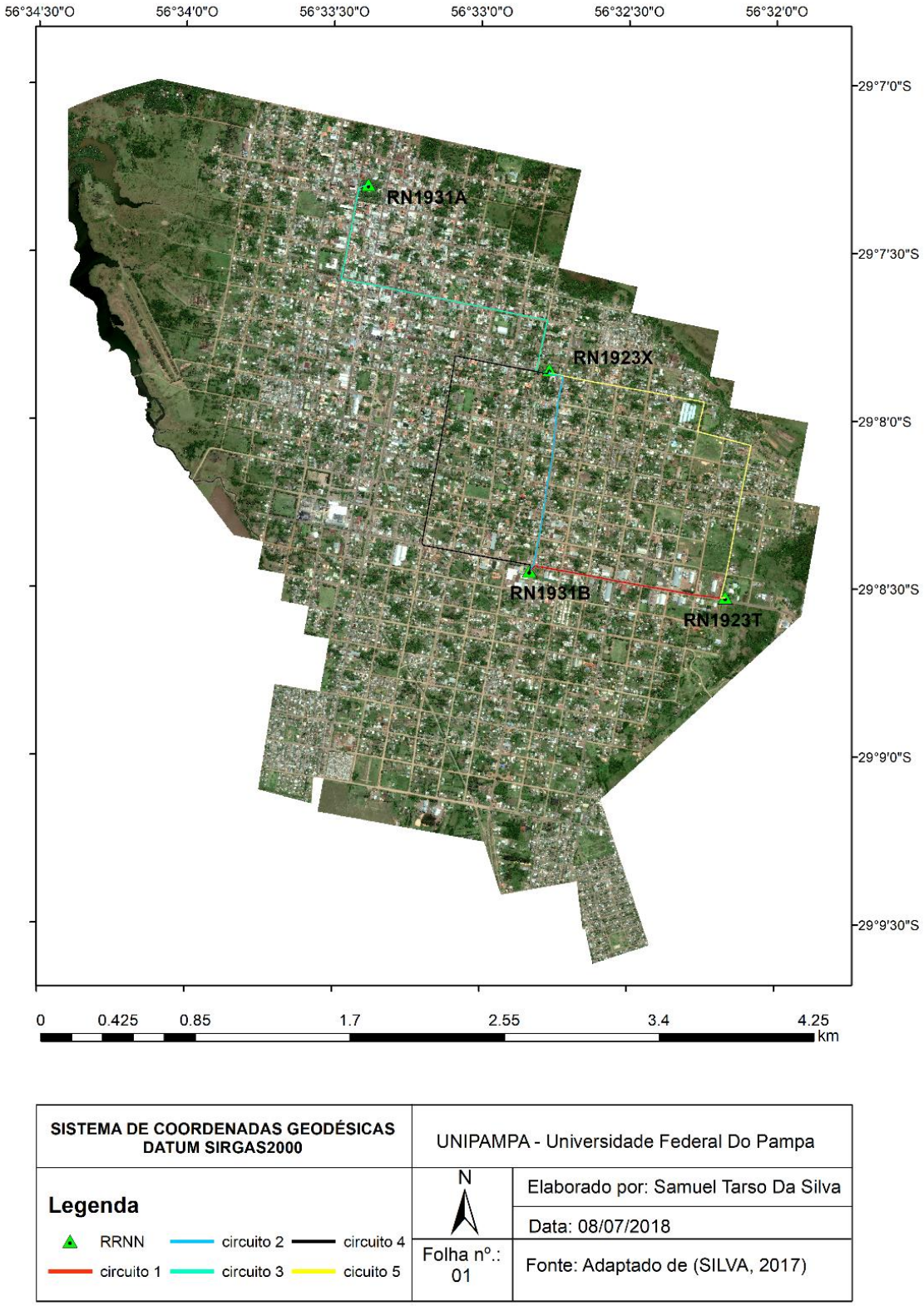
As visitas técnicas realizadas a priori serviram para verificar as condições físicas das referências de nível RN1923T, RN1923X, RN1931B, RN1931A e, consequentemente, para verificar quais RNs sofreram algum dano físico ou estrutural e não estavam aptas a serem utilizadas como pontos de controle.

Foi efetuado o nivelamento de 2ª ordem de comprovação da consistência dos valores altimétricos das RNs, para se ter certeza que as mesmas não sofreram alterações físicas em seu posicionamento e estão em condições de serem utilizadas na implementação do nivelamento geométrico e posteriormente servirão de base para o adensamento das RNs do município.

Foram executadas cinco linhas de duplo nivelamento geométrico (nivelamento e contranivelamento) entre as RNs presentes no perímetro urbano de Itaqui, sendo que entre as estações RN1923X e RN1931B foram percorridos dois caminhos distintos, identificados como circuito 2 e circuito 4, como representado na Figura 7.

Todos os nivelamentos geométricos ficaram com a precisão de fechamento melhor que o especificado pela resolução PR nº 22 (IBGE, 1983), se aproximando das precisões exigidas para nivelamentos geométricos com a finalidade de determinação das altitudes ortométricas para aplicações geodésicas.

Figura 7 – Circuitos de nivelamentos de 2ª ordem das RNs no perímetro urbano da cidade de Itaqui-RS



Fonte: Elaborado pelos autores

Para que não ocorressem erros grosseiros, fez-se o uso da sapata topográfica e também da materialização de chapas metálicas fixadas em cada esquina, geralmente em estruturas de concretos como meios-fios, acostamento de vias públicas, ou em outras superfícies estáveis, presentes ao longo dos circuitos de nivelamentos, como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Chapa de alumínio cravada e numerada pertencente ao circuito de nivelamento.

Fonte: Elaborado pelos autores.

As chapas de alumínio foram numeradas e fixadas com o auxílio de massa plástica automotiva, associada ao uso do um catalisador para acelerar o processo de colagem das mesmas. Em alguns pontos, a implantação das chapas foi possível com o uso da cola tipo veda calha. Os pontos foram marcados com gabarito de metal alfanumérico na realização do nivelamento geométrico, pois em alguns circuitos de nivelamento o trabalho em campo fora efetuado em dois períodos, manhã e/ou tarde ou em dias alternados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A identificação dos circuitos de nivelamentos, comprimento entre as RNs e o erro de fechamento entre as linhas de circuitos, são descritos na tabela 1.

Tabela 1 – Circuitos de nivelamentos, RNs, comprimentos do circuito e erro.

Circuitos de nivelamentos	Referências de Nível	Comprimento (m)	Erro (mm)
Circuito 1	RN1931B – RN1923T	2.316,370	1,00
Circuito 2	RN1923X – RN1931B	2.589,750	4,00
Circuito 3	RN1923X – RN1931A	4.089,750	5,00
Circuito 4	RN1923X – RN1931B	4.503,980	-11,00
Circuito 5	RN1923X – RN1923T	4.721,780	-8,00

A tabela 1 acima descreve os circuitos de nivelamentos geométricos de 2ª ordem, compreendidas entre as RNs de 1ª ordem estabelecidas pelo IBGE. Ao total foram realizados 5 circuitos, sendo que entre as RN1931B e RN23X os nivelamentos geométricos foram executados por 2 caminhos distintos. Para que os nivelamentos de 2ª ordem apresentassem padrões de precisão adequados, dentro do exigido pela NBR 13.1333 por se tratar de valores de altitude para adensamento da rede de referência cadastral local, sem a exigência de precisões geodésicas. Foram seguidas as recomendações da mesma. A visadas de ré e vante não ultrapassaram os 100 m de comprimento, sempre procurando efetuar visadas equidistantes, sendo que a maioria das leituras não excederam à 60 m. Como o município de Itaqui, em época de verão, alcança altas temperaturas, as leituras não ocorreram nos extremos da mira graduada, assim minimizando os efeitos de reverberação. As miras graduadas eram colocadas sobre as chapas metálicas e no caminhamento sobre a sapata topográfica. O uso de nível digital com precisão de ± 2 mm por km de nivelamento duplo (nivelamento e contranivelamento) foram fatores para que não ocorressem erros sistemáticos ou grosseiros, contribuindo na precisão dos nivelamentos geométricos, descrito na tabela 2.

Tabela 2 – Precisões de nivelamento geométrico.

Classe	IN Geométrico	II Geométrico
Equipamento Nível	Alta precisão ≤ ± 3 mm/km	Média precisão ≤ 3mm/km
Tolerância fechamento	12 mm x $\sqrt{k}$	20 mm x $\sqrt{k}$
Aplicação	RN de apoio altimétrico	Altitudes em obras de engenharia

Fonte: NBR 13.133 (ABNT, 1994).

A aplicabilidade destes nivelamentos geométricos poderá servir a verificação das RNs para a elaboração e adensamento da Rede de Referência Cadastral Municipal, como também empregada em obras de engenharia e comitantemente vinculadas ao SGB, e foram classificados como topográfico local, conforme a tabela 3.

Tabela 3 – Precisões de nivelamento geométrico.

Classe	IN Geométrico	II Geométrico
Equipamento Nível	Alta precisão ≤ ± 3 mm/km	Média precisão ≤ 3mm/km
Tolerância fechamento	12 mm x $\sqrt{k}$	20 mm x $\sqrt{k}$
Aplicação	RN de apoio altimétrico	Altitudes em obras de engenharia

Fonte: NBR 13.133 (ABNT, 1994).

5 CONCLUSÕES

As RNs presentes ao longo do território brasileiro servem de apoio para levantamentos geodésicos e topográficos, e são necessários para as obras de engenharias que utilizam como referências as altitudes precisas e acuradas na superfície terrestre como locações de obras, oleodutos, ferrovias, túneis, rodovias e modelo geoidal refinado. Neste contexto, foram analisadas as 4 referências de nível presentes no perímetro urbano da cidade de Itaqui, pertencentes ao SGB da RAAP, denominadas de RN1923T, RN1923X, RN1931A e RN1931B. As referências altimétricas do IBGE foram avaliadas por meio de nivelamentos geométricos realizados de RN a RN, denominados de circuitos (tabela 1). Dentre os circuitos de duplo nivelamento geométrico, o circuito 1 obteve o erro de 1mm, classificada como de alta precisão, e possui tolerância de fechamento inferior a 3 mm $\sqrt{k}$ de duplo nivelamento. Este circuito está classificado como de alta precisão geodésica e com aplicação de implantação de RN. A falta de suporte técnico por parte dos IBGE na verificação e consistências das RRNN presentes nas cidades brasileiras é um problema real de infraestrutura que afeta o planejamento e gestão da organização do espaço territorial.

Na verificação das condições das RNs verificou-se que todos os vértices se encontram preservados e com os valores de altitudes coerentes, ou seja, não houve nenhum tipo de movimentação do marco que trouxesse prejuízo a sua precisão posicional. Isto pode ser verificado por meio dos nivelamentos geométricos executados que ratificaram esta condição.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133: Execução de Levantamentos Topográfico**. Rio de Janeiro, 1994

CASTRO, A. L. P. d. **Nivelamento através do GPS**: avaliação e proposição de estratégias. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2002.

DATA, A. O. G. F. **National geodetic survey**. 1976. Disponível em: <https://www.ngs.noaa.gov/GEOID/PRESENTATIONS/2007_02_24_CCPS/Roman_A_PLSC2007notes.pdf>. Acesso: 20 outubro 2017.

DEAKIN, R. E.; HUNTER, M. N. Geometric Geodesy, Part A. **School of Mathematical & Geospatial Science, RNIT University, Melbourne, Australia, January**, 2010.

FREITAS, Silvio RC de; BLITZKOW, Denizar. **Altitudes e geopotencial**. IGeS Bulletin N, p. 47-62, 1999.

GEMAEL, C. **Introdução à geodésia física**. Curitiba: Editora da UFPR, 1999. 304p.

IBGE. **Resolução PR n° 22 de 21-07-1983 para Especificações e Normas Gerais para a Execução de Levantamentos Geodésicos**. 1983, 36 p. Disponível em: <http://www.inde.gov.br/images/inde/ bservico1602.pdf>. Acesso: 30 setembro 2018.

JEKELI, C. **Geometric reference systems in geodesy**. 2006.

LUZ, Roberto Teixeira; GUIMARÃES, Valéria Mendonça. **Realidade e Perspectivas da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro Status and Perspectives of the Brazilian First Order Leveling Network**. Série em Ciências Geodésicas, v. 1, 2001.

RODRIGUES, Antonio Carlos et al. **Manutenção Física dos Marcos do Sistema Geodésico Brasileiro**. In: XIX Congresso Brasileiro de Cartografia, SBC, Recife. 1999.

SAATKAMP, E. D.; MORAES, C.; FARRET, J. C. Avaliação do modelo geoidal EGM2008 para o Brasil. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 14, p. 4303–4310, 2009.
SEEBER, Günter. **Satellite geodesy: foundations, methods, and applications**. Walter de gruyter, 2003.

SILVEIRA, Leonard Niero da Silveira; **Refinamento do modelo Geoidal Brasileiro para o Sul de Santa Catarina**, Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria (RS), Programa de Pós-Graduação em Geomática, 2009.

VEIGA, Luis Augusto Koenig; ZANETTI, Maria Aparecida Z.; FAGGION, Pedro Luis. **Fundamentos de topografia**. Universidade Federal do Paraná, 2012.

ANÁLISE DA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA DE FORTALEZA PARA DETERMINAR AS VARIAÇÕES DO NÍVEL DO MAR

LUCAS GONZALES LIMA PEREIRA CALADO
SILVIO JACKS DOS ANJOS GARNÉS
KAROLINE PAES JAMUR

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias das Geoinformação - PGCGTG
calado.lucaslima@gmail.com, sjgarnes@gmail.com, karoljamur@gmail.com

RESUMO – Neste trabalho apresentamos uma metodologia para determinar as variações do nível do mar utilizando dados de estações maregráficas da RMPG e da UHSLC. Também utilizamos as coordenadas semanais da Rede SIRGAS-CON para poder obter a variação da altitude elipsoidal e identificar possíveis movimentos da crosta. As análises conduzidas tiveram como base observações de cinco séries distintas da estação maregráfica de Fortaleza e uma série de dados GNSS da estação CEFT. O resultado da série mais atual, utilizando só dados maregráficos, indica uma elevação no NMM da estação estudada de 0,6 mm/ano. Já na análise do movimento da crosta verificou um soerguimento de 0,8 mm/ano.

ABSTRACT – In this work was present a methodology to determine sea level variations using data from tide gauge stations of RMPG and UHSLC. Was also used the weekly coordinates of the SIRGAS-CON Network to be able to obtain the ellipsoidal height variation and to identify possible crust movements. The analysis conducted were based on observations from five distinct series of the Fortaleza tide station and a series of GNSS data from the CEFT station. The result of the most current series, using only tide data, indicates an increase in MSL of the studied station of 0.6 mm/year. Already in the analysis of the movement of the crust verified a uplift of 0.8 mm/year.

1 INTRODUÇÃO

O aumento do NM (Nível dos Mares), segundo estudos atuais como em Cazenave e Le Cozannet (2013) e NASA (2018), está associado às mudanças relacionadas ao clima, as temperaturas oceânicas e ao derretimento das geleiras. Nos últimos 25 anos, o derretimento das geleiras, por exemplo, ocasionou um aumento de 7,6 milímetros no NMM (Nível Médio dos Mares) (IMBIE, 2018). Para encontrar os padrões dessas mudanças, foram desenvolvidas técnicas de monitoramento pontuais e globais utilizando marégrafos, sensores flutuantes, altimetria e gravimetria por satélite (NASA, 2018 e GGOS, 2018).

Segundo UHSLC (2018a), as consequências da elevação do NM no século XXI afetará a infraestrutura, os ecossistemas e as vidas de milhões de pessoas no mundo, de maneira que o NMM serve como um indicador do impacto social. Organizações internacionais, tal como o GGOS (*Global Geodetic Observin System* - Sistema Global de Observação Geodésica), definiu como um dos temas de estudo a "Alteração, Variabilidade e Previsão do Nível do Mar – *Sea Level Change, Variability, and Forecasting*", que tem como foco principal demonstrar as técnicas geodésicas disponíveis para verificar o aumento do NM, incluindo estudos dos impactos de sua mudança sobre as regiões e ilhas costeiras do mundo para apoiar aplicações práticas (GGOS, 2018).

Como o geodesista sempre esteve interessado na determinação da forma e da dimensão da Terra, a determinação do NMM é de suma importância, visto que, o geóide, superfície a qual estão vinculadas as altitudes ortométricas, é uma superfície equipotencial do campo de gravidade que mais se aproxima do NMM (GEMAEL, 2012).

A altitude ortométrica é associada as atividades de engenharia em suas diversas modalidades e para a obtenção da mesma, é necessário o conhecimento da gravidade no ponto médio no interior da crosta, entre a superfície terrestre e o geoide. No Brasil, em função da ausência de suficientes observações gravimétricas, apenas a correção do efeito sistemático do não paralelismo das superfícies equipotenciais era aplicada aos desníveis observados, resultando em altitudes ortométricas-normais (ou normais-ortométricas). Cumpre ressaltar que a utilização da gravidade normal (calculada), em substituição à gravidade real (medida), era procedimento padrão para os casos de cobertura gravimétrica insuficiente, por esse motivo foi mantido a denominação ortométricas para as altitudes assim obtidas (IBGE, 2018a).

Seguindo as recomendações internacionais sobre a definição da componente física do sistema de referência vertical para o SIRGAS, o IBGE disponibilizou, em julho de 2018, as altitudes normais das Referências de Nível que compõem

a RAAP (Rede Altimétrica de Alta Precisão), sendo essas, referidas aos referenciais altimétricos vigentes no Brasil, Imbituba e Santana (IBGE, 2018a).

Com a grande dimensão do Brasil, uma melhora significativa de um geoide local deveria considerar o nível médio do oceano Atlântico ao longo de toda costa brasileira. Assim, em 1996, deu-se início a RMPG (Rede Maregráfica Permanente para Geodésia) (IBGE, 2013), composta, atualmente, por seis estações, onde cada uma utiliza marégrafos digitais com medidas de altura de maré de cinco em cinco minutos.

Em caráter global, a UHSLC (*University of Hawaii Sea Level Center* - Centro de Estudos do Nível do Mar da Universidade do Hawai), colabora com agências de diversos países para instalar e manter uma rede global de estações maregráficas que servem, tanto para avaliar a elevação global do NM, como também, para alertar sobre possíveis Tsunamis (UHSLC, 2018a). Atualmente, o banco de dados da UHSLC, *Research Quality*, disponibiliza 22 estações para a costa brasileira, sendo uma delas a estação maregráfica de Fortaleza, com dados diários por hora ou dados mensais.

Porém, o NM observado ao longo de qualquer costa pode mudar, pois a terra pode "descer" ou "subir", devido a movimentos tectônicos, extração de água subterrânea ou até mesmo pela contínua recuperação da crosta terrestre do peso do gelo da última era glacial (UHSLC, 2018a). Assim, o soerguimento de terra mitiga o efeito do aumento do NM em alguns lugares, enquanto em outros, a subsidência exacerba a elevação do NM.

Alguns estudos sobre os movimentos e as velocidades das placas tectônicas vêm sendo desenvolvidos nos últimos anos (PEREZ, 2002; COSTA et. al., 2003; SOUZA, 2013; SOUZA e GARNÉS, 2014). Uma forma de verificar os movimentos da crosta é com a utilização de dados das estações GNNS de monitoramento contínuo da rede SIRGAS-CON. Portanto, neste trabalho, buscou-se determinar as taxas de variação do NM no marégrafo de Fortaleza, com dados da RMPG e UHSLC, e os movimentos da crosta na proximidade do mesmo com os dados da rede SIRGAS-CON.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Estação Maregráfica

As análises realizadas neste trabalho foram efetuadas com os dados disponibilizados pela UHSLC e pela RMPG, para a estação maregráfica de Fortaleza. A UHSLC e a RMPG disponibilizam estes dados através dos seus sites, ver referências (UHSLC, 2018b) e (IBGE, 2018b).

A UHSLC dispõe de três séries de dados para a estação de Fortaleza, com os arquivos separados por ano, e a RMPG disponibiliza uma única série de dados para esta estação, com os dados separados por dia. Na Tabela 01, estão sumarizadas as informações dos órgãos que originaram os dados, o tipo de dado originalmente coletado e a taxa de coleta dos dados. Já as informações de localização das estações, que são fornecidas nos seus respectivos relatórios, podem ser encontradas na Tabela 02, em grau, minuto e segundo, como também o ano de início, o ano de fim e de onde foram obtidas as séries de dados.

Tabela 1 – Estações maregráficas da UHSLC e da RMPG, em Fortaleza, com os órgãos que originaram os dados, tipo de dado originalmente gerado e taxa de coleta de dados.

Marégrafo	Originador dos dados	Dados original	Taxa de coleta de dados
Fortaleza-A (283a)	USCGS	Analógico	Hora em hora
Fortaleza-B (283b)	LPAO/INPE	Digital	Hora em hora
Fortaleza-C (283c)	UHSLC/DHN/IBGE	Digital	2 min
Fortaleza (EMFOR)	RMPG/IBGE	Analógico e Digital	5 min

Tabela 2 – Estações maregráficas da UHSLC e da RMPG, em Fortaleza, com anos de origem e fim da série de dados.

Marégrafo	Latitude	Longitude	Ano inicial	Ano final
Fortaleza (283a)	03°43'00.00" S	38°29'00.00" W	1955	1968
Fortaleza (283b)	03°43'00.00" S	38°28'00.00" W	1995	1998
Fortaleza (283c)	03°42'54.00" S	38°28'36.00" W	2008	2015
Fortaleza (EMFOR)	03°42'52.55" S	38°28'36.54" W	2008	2018

As séries temporais são suficientes para fazer uma previsão de elevação ou redução do NM e também conhecer as amplitudes de maré. Entretanto, a interrupção da série de dados, da UHSLC, prejudica um estudo mais elaborado dessa localidade.

Dentre as estações em estudo, a estação Fortaleza-A (283a), é a mais antiga e que possui a mais longa série temporal, com 13 anos de dados observados. Esta estação operou com marégrafo que utilizava boia e contrapeso por todos esses anos e era coordenada pela USCGS (*US Coastal Geodetic Survey*).

O Quadro 1 apresenta o padrão dos arquivos da série temporal fornecida pela UHSLC, onde possui um cabeçalho com as seguintes informações:

- **Número da estação:** sempre com 3 dígitos;
- **Versão da estação:** iniciando em A até Z;

- **Nome da estação;**
- **Região ou País da estação;**
- **Ano da série;**
- **Latitude:** em graus, minutos e segundos implícitos;
- **Longitude:** em graus, minutos e segundos implícitos;
- **Deslocamento do GMT**;
- **Método de decimação:** 1-filtrado, 2-média simples de todas as amostras, 3-leituras pontuais, 4-outro;
- **Deslocamento de referência:** deslocamento constante a ser adicionado a cada dado para os dados serem relativos ao zero de referencial da maré;
- **Código de referência:** R-dados referenciados e X-dados não referenciados;
- **Unidade:** MM-milímetros.

Quadro 1 – Formato dos arquivos disponibilizados pela UHSLC

283A Fortaleza-A,USCGS Brazil 1961 03430S 038290W 0000 1 00000R MM
283A Fort 196101011 1429 1033 972 1307 1612 1916 2313 2526 2526 2435 2160 1856
283A Fort 196101012 1520 1307 1185 1368 1703 2069 2465 2709 2739 2618 2374 2038
283A Fort 196101021 1642 1276 972 1154 1459 1795 2130 2465 2557 2557 2374 2069
283A Fort 196101022 1734 1459 1185 1246 1520 1856 2282 2587 2770 2770 2618 2252
283A Fort 196101031 1886 1551 1154 1002 1307 1551 1947 2313 2557 2587 2496 2282
283A Fort 196101032 1856 1307 819 1185 1642 2191 2191 2618 2892 2953 2739 2282
283A Fort 196101041 1703 1154 758 667 789 1246 1734 2252 2618 2800 2678 2343
283A Fort 196101042 1825 1337 972 819 1002 1368 1825 2374 2770 2922 2892 2557
283A Fort 196101051 2099 1520 1033 758 728 1033 1490 2008 2435 2709 2739 2526
283A Fort 196101052 2130 1612 1185 941 941 1185 1581 2130 2557 2831 2861 2678

Já o Quadro 2, apresenta o padrão dos arquivos da série temporal fornecida pela RMPG, onde os dados estão separados por colunas na seguinte ordem:

- **Data:** dd/mm/aaaa;
- **Hora da coleta:** hh:mm:ss;
- **Valor do nível:** em metros

Quadro 2 – Formato dos arquivos disponibilizados pela RMPG.

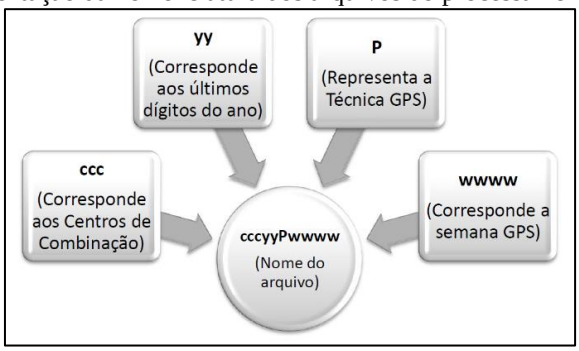
18/04/2008 00:00:00 6,213
18/04/2008 00:05:00 6,265
18/04/2008 00:10:00 6,298
18/04/2008 00:15:00 6,335
18/04/2008 00:20:00 6,381
18/04/2008 00:25:00 6,417
18/04/2008 00:30:00 6,468
18/04/2008 00:35:00 6,519
18/04/2008 00:40:00 6,569
18/04/2008 00:45:00 6,614
18/04/2008 00:50:00 6,659

2.2 Estações GNSS (Rede SIRGAS-CON)

Os produtos GNSS do processamento da rede SIRGAS-CON, encontram-se disponíveis no site do SIRGAS: <http://www.sirgas.org/pt/sirgas-con-network/coordinates/>. É possível obter as Soluções semanais semilivres, as **Coordenadas semanais das estações**, sendo esta a utilizada neste trabalho, e as Soluções multianuais.

As coordenadas semanais finais são geradas para toda rede SIRGAS-CON a partir da combinação das soluções individuais proporcionadas pelos centros de processamento SIRGAS. Os arquivos com a extensão CRD contém as posições semanais finais das estações e os arquivos com a extensão SUM são os relatórios da semana correspondente. Tais arquivos são disponibilizados no site <ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS/> e são nomeados conforme o esquema apresentado na Figura 1:

Figura 1 – Representação da nomenclatura dos arquivos do processamento SIRGAS-CON.



Fonte: SOUZA (2013)

Foram selecionados todos os arquivos CRD, com as coordenadas finais, disponíveis no site do SIRGAS. Desses arquivos foi selecionada a estação que se encontra mais próxima ao marégrafo de Fortaleza, denominada CEFT. A Tabela 3 informa a identificação da estação, a latitude e longitude em graus, minutos e segundos, o status da estação, a rede pertencente e a agência que é responsável pela estação.

Tabela 3 – Descrição da estação pertencente a rede SIRGAS-CON utilizada neste trabalho.

Id	Latitude	Longitude	Status	Rede	Agência
CEFT	3° 42’ 38,91600” S	38° 28’ 22,50588” W	Ativa	RBMC	IBGE

As coordenadas são disponibilizadas por dois centros de combinação: IBGE e IGS-RNAAC-SIR. A partir do dia 1 de janeiro de 2012, as soluções combinadas pelo IBGE fornecem as posições semanais oficiais das estações, enquanto que as soluções combinadas calculadas pelo IGS-RNAAC-SIRGAS possibilitam controle e cópia de segurança (SIRGAS, 2018). Para este trabalho foram utilizadas as coordenadas disponibilizadas pelo IBGE, e sua descrição esta apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 – Descrição das estações com combinação IBGE.

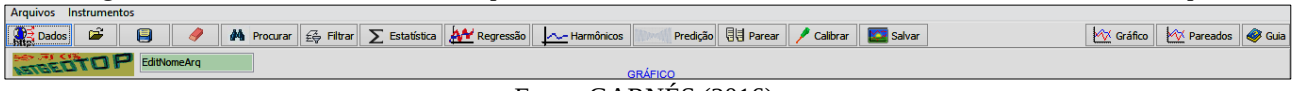
Id	Intervalo (Semana GPS)	Semana Início	Semana Fim	Referência
CEFT	1637 | 1718	25/05/2011	12/12/2012	IGS08
CEFT	1719 | 1933	19/12/2012	25/01/2017	IGb08
CEFT	1934 | 2004	01/02/2017	06/06/2018	IGS14

Para atualizar as coordenadas para o SIRGAS2000 utilizou-se a transformação de Helmert generalizada, por meio de um módulo do *software* AstGeoTop, denominado Transformação ITRF’s @ Versão 2012.11.28 (GARNÉS, 2012), com os parâmetros de translação, rotação e escala fornecidos pelo *Manual do Usuário Aplicativo Online IBGE-PPP* (IBGE, 2017).

2.3 *Software* AstGeoTop

Para processar e analisar os dados maregráficos foi desenvolvido um módulo no *software* AstGeoTop, denominado Análise de Maré @ versão 2016.09.01 (GARNÉS, 2016). Nesta versão do *software*, é possível ler e analisar as cotas de maré. O *software* ainda conta com uma parte gráfica, a qual permite uma iteração de zoom (ampliações maior que o nível milimétrico das cotas) relacionando a data e hora da medição da maré com a observação visual na tela do computador. Nesse desenvolvimento foi utilizada a ferramenta *teeChart* do *Delphi 10 Seattle Professional* (EMBARCADEIRO, 2015). A Figura 2 mostra a barra de ferramentas implementadas nesse módulo.

Figura 2 – Barra de ferramentas com aplicativos de Análise de Maré @versão 2016.09.01 do AstGeoTop.



Fonte: GARNÉS (2016)

A parte de **filtragem** é responsável por eliminar os erros grosseiros e/ou detectar e eliminar automaticamente *outliers*, permitindo desde a simples eliminação de valores acima, abaixo, entre ou fora dos limites, seja por cota ou por data. Também permite eliminar valores discrepantes em relação a um modelo de maré, sendo o padrão desse tipo de filtragem eliminar discrepâncias maiores do que cinco vezes o desvio padrão determinado pelo modelo de maré, podendo ser personalizado para cada problema específico. Uma outra opção é fazer a filtragem de forma iterativa, com uma filtragem e geração de modelo sucesso até que não haja mais valores discrepantes do último modelo gerado acima do limite máximo estabelecido.

Para gerar o modelo de maré, utiliza-se um ajuste pelo MMQ (Método dos Mínimos Quadrados), considerando as componentes astronômicas da força de maré. O *software* utiliza o modelo de maré dado pela Equação (1), e também pela sua forma equivalente, apresentada na Equação (2):

$$h(t) = H_0 + \sum_{i=1}^{n} A_i \cos(w_i t) + B_i \operatorname{sen}(w_i t). \quad (1)$$

$$h(t) = H_0 + \sum_{i=1}^{n} R_i \cos(w_i t + \phi_i). \quad (2)$$

Sendo:

- n: número de componentes harmônicos de maré;
- w_i: i-ésima velocidade da onda;
- t: o instante em que se deseja ter a cota de maré;
- A_i e B_i: coeficientes da i-ésima componente de maré;
- H_0: cota inicial do modelo;
- R_i: amplitude da i-ésima constituinte de maré;
- Φ_i: fase da i-ésima constituinte de maré; e
- h(t): valor da cota calculada pelo modelo.

Na ferramenta **estatística** é possível obter os valores da média, de máximo, de mínimo e a amplitude entre o máximo e o mínimo, podendo ser feito para todo espaço amostral ou para um intervalo amostral específico do espaço amostral. Também pode ser obtido a média acumulada época a época, a média diária, a média mensal e a média anual das cotas de maré.

A ferramenta **regressão** se refere ao ajuste de curvas aos dados seguindo o modelo de ajuste paramétrico do método dos mínimos quadrados, conforme GEMAEL et al. (2015), sem ponderação da variável dependente y. Os modelos disponíveis são o polinomial, quadrático e cúbico, com as opções de ajustamento época por época, ajustamento por dia, por mês e por ano.

A ferramenta **harmônicos** realiza o ajustamento das Equações (1) e (2) as cotas medidas com as opções de utilizar 9 constituintes de maré (HARARI E CAMARGO, 1994), 37 constituintes de maré (BOON E KILEY, 1978) ou com uma quantidade de constituinte que pode ir até 69 constituintes de maré. Existe a opção de injuncionar a cota inicial igual a média ou não, e também pode-se usar o modelo linear e não-linear de ajuste.

A ferramenta **predição** é a aplicação do modelo de maré criado na ferramenta harmônicos e calculada para época desejado, seja esta, anterior, no período, ou posterior aos dados utilizado para gerar o modelo.

A ferramenta **parear** compara dois arquivos de dados fornecendo elementos estatísticos. A ferramenta **calibrar** permite adicionar ou multiplicar as cotas por um número real.

Além dessas ferramentas, na aba **instrumentos**, é permitido fazer um agrupamento de arquivos no formato da RMPG, na ordem cronológica, deixando tudo em um arquivo único.

Os dados maregráficos são lidos nos formatos da RMPG e dos dados da marinha. Para colocar os dados maregráficos disponibilizados pela UHSLC no formato da RMPG, e poder proceder o processamento no AstGeoTop, foi desenvolvido um aplicativo específico em linguagem MATLAB.

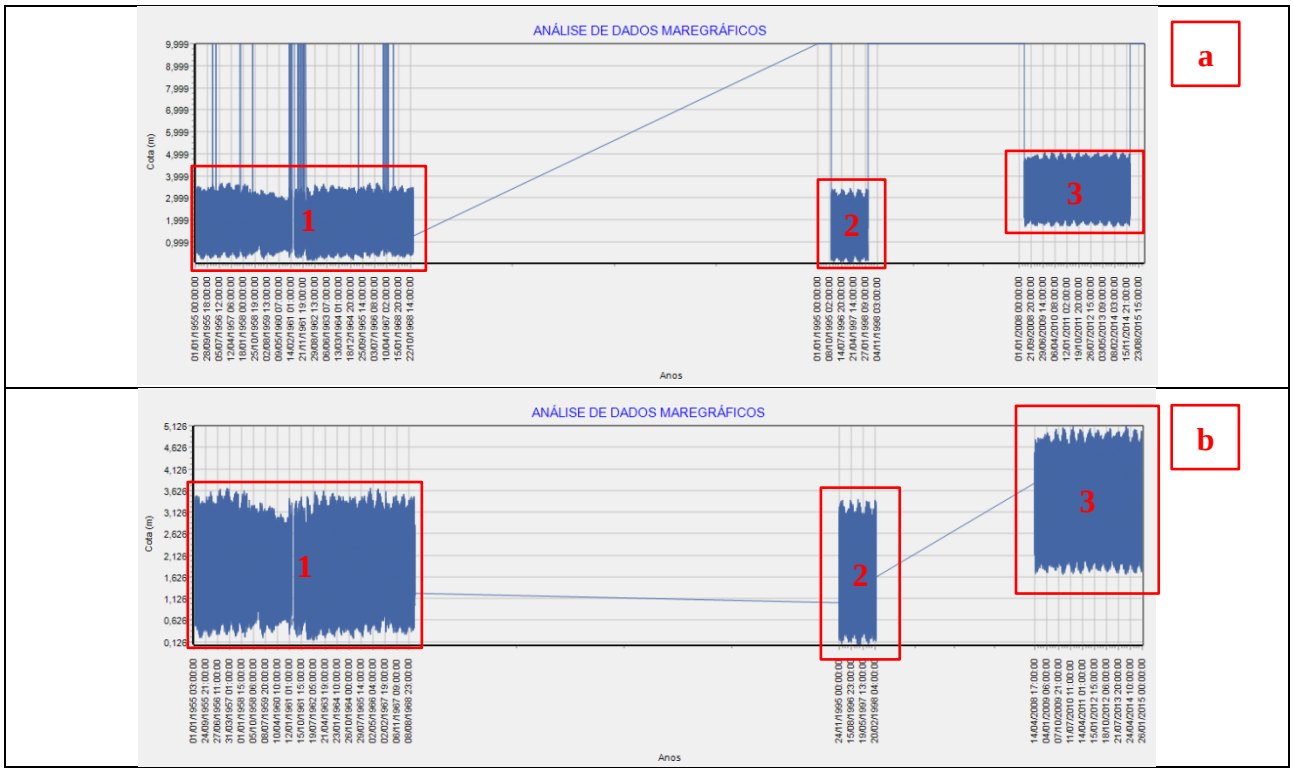
Os dados das estações SIRGAS-CON também foram analisados a partir do módulo de Análise de Maré do AstGeoTop. Para tal, os dados foram colocados no formato de leitura do software com a data correspondente a semana GPS, hora e a altitude elipsoidal.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 UHSLC

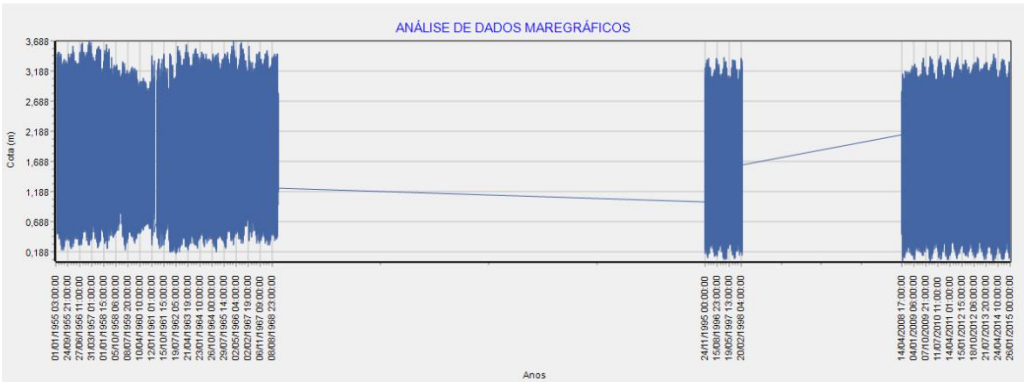
A junção das três séries temporais com os dados fornecidos pela UHSLC, conforme a Tabela 01, compreende o período que vai do ano de 1955 até 2015. A série veio com *outliers*, os dados que não tiveram medições para a data são preenchidos com uma cota padrão de 9,999m, e o gráfico da Figura 3a ilustra o comportamento das cotas medidas antes da filtragem. Os três blocos destacados pelos retângulos vermelhos, foram submetidos individualmente a uma filtragem para eliminar os *outliers* de valor 9,999m e posteriormente a uma filtragem iterativa, com um critério de segurança de cinco sigma (5σ), a partir do modelo harmônico gerado com 37 constituintes de maré. O resultado dessa filtragem pode ser observado no gráfico da Figura 3b.

Figura 3 – Dados maregráficos da estação Fortaleza - UHSLC, série temporal de 1955 a 1968 (1), 1995 a 1998 (2) e 2008 a 2015 (3). (a) série temporal com os dados brutos; (b) série temporal filtrada;



Ainda na Figura 3b é possível observar que o bloco 3 está com referencial deslocado, no período dos anos de 2008 a 2015. Analisando os dados do bloco 2 observou-se uma cota média de 1,691m e no bloco 3 é observada uma cota média de 3,361m. Existe, portanto, uma diferença de 1,670m entre as médias dos arquivos, onde não pode ser atribuída a aumento do NM em 10 anos nessa região. Para calibrar, foi gerado o modelo harmônico de maré com 37 constituintes para os dados do bloco 2 e depois fazendo a predição para o ano de 2008, correspondente ao início do bloco 3. Gerando-se o modelo para os dados do bloco 2, fazendo-se a predição para os dados de 2008 e depois pareando o modelo predito com o real, chegou-se a média das discrepâncias entre os modelos com valor de -1,658m e um coeficiente de correlação de 99,9%. Esse valor de correção foi aplicado às cotas do bloco 3, levando os dados ao mesmo referencial dos demais arquivos, como mostra o gráfico da Figura 4.

Figura 4 - Dados maregráficos da estação Fortaleza - UHSLC, série temporal de 1955 a 1968 (1), 1995 a 1998 (2) e 2008 a 2015 (3), com os dados filtrados e calibrados.



Com os dados corrigidos, conforme elucidado anteriormente, gerou-se uma análise de regressão usando a equação da reta (1º grau) e a equação da parábola (2º grau) para o período completo e também para cada um dos blocos. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores analisados para a estação Maregráfica de Fortaleza – UHSLC.

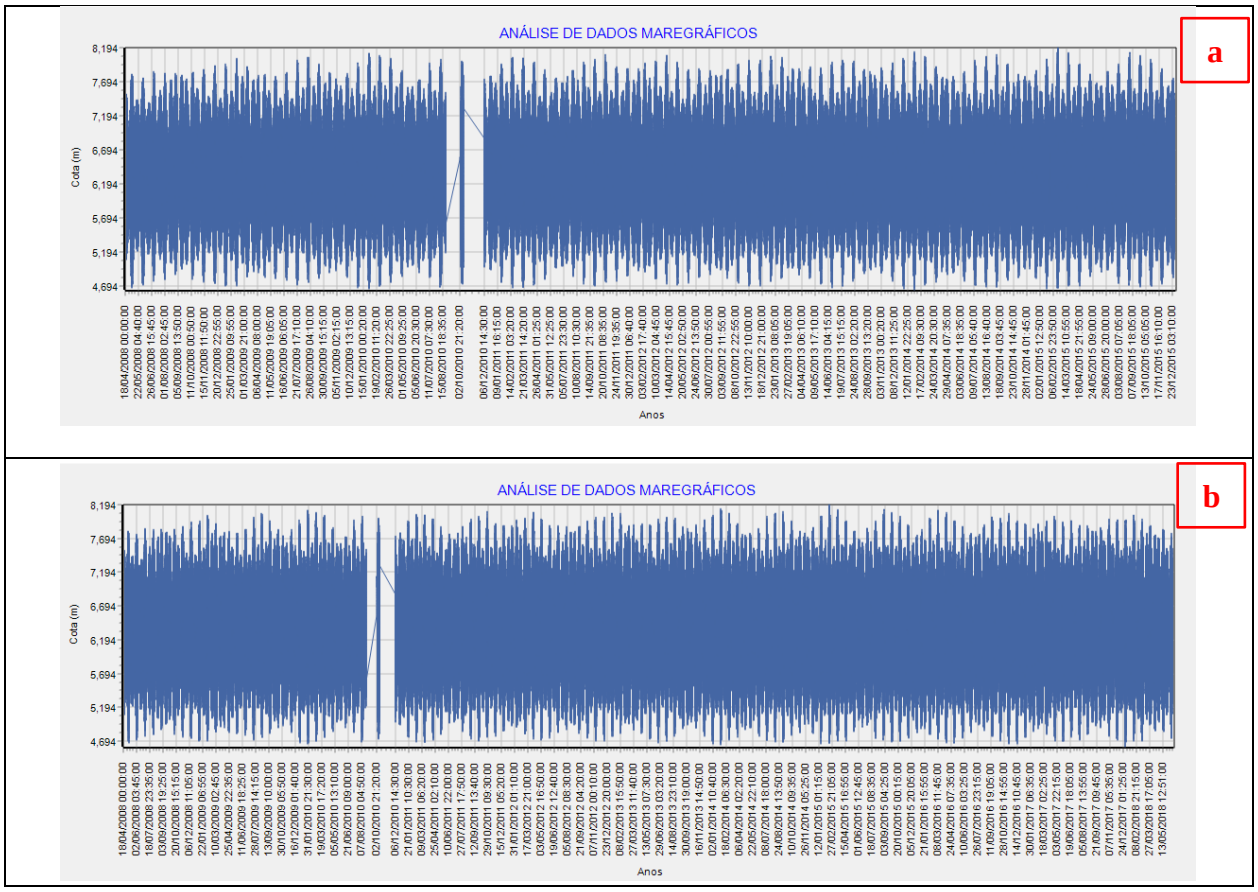
UHSLC – Estação 283a (Fortaleza)	**01/01/1955 - 31/12/1968** **~14 anos** Amostra = 116457 Cota Média = 1,875m **Regressão Linear** Cota origem c0: 1,866m Cota final cf: 1,883m Desnível cf-c0: 0,0176m Aumento: 1,3 mm/ano **Regressão Quadrática** a = 0,000000016 Cota origem c0: 1,934m Cota final cf: 1,953m Desnível cf-c0: 0,018m	**UHSLC – Estação 283b (Fortaleza)**	**24/11/1995 - 28/03/1998** **~2 anos e 4 meses** Amostra = 20544 Cota Média = 1,691m **Regressão Linear** Cota origem c0: 1,697m Cota final cf: 1,686m Desnível cf-c0: -0,0106m Rebaixamento: -4,5 mm/ano **Regressão Quadrática** a = 0,000000148 Cota origem c0: 1,715m Cota final cf: 1,704m Desnível cf-c0: -0,011m
UHSLC – Estação 283c (Fortaleza)	**14/04/2008 - 04/02/2015** **~7 anos e 10 meses** Amostra = 59693 Cota Média = 3,361m **Regressão Linear** Cota origem c0: 3,352m Cota final cf: 3,371m Desnível cf-c0: 0,0181m Aumento: 2,7 mm/ano **Regressão Quadrática** a = -0,000000023 Cota origem c0: 3,328m Cota final cf: 3,347m Desnível cf-c0: 0,0181m	**UHSLC – Estação 283 (Fortaleza)**	**01/01/1955 - 04/02/2015** **~60 anos** Amostra = 196694 Cota Média = 1,803m **Regressão Linear** Cota origem c0: 1,895m Cota final cf: 1,682m Desnível cf-c0: -0,213m Rebaixamento: -3,5 mm/ano **Regressão Quadrática** a = 0,000000000 Cota origem c0: 1,904m Cota final cf: 1,689m Desnível cf-c0: -0,215m

Para o bloco 1, a regressão linear indicou um aumento no NM de 1,3 mm/ano e a regressão quadrática confirmou essa elevação com a concavidade da parábola voltada para cima. Para o bloco 2, a regressão linear indicou um rebaixamento de -4,5 mm/ano, mas a concavidade da parábola voltada para cima indica um que esse rebaixamento passará a diminuir a partir de algum momento. Toda via, esse é o bloco mais curto para algum prognóstico realístico local. Para o bloco 3, a regressão linear indicou um aumento de 2,7 mm/ano, porém, a concavidade da parábola está voltada para baixo, indicando que esse aumento passará a diminuir em um determinado momento. A série completa, compreendendo os três blocos, indicou um rebaixamento de -3,5 mm/ano na regressão linear, e a regressão quadrática forneceu uma reta. Um prognostico mais realístico do local, com os três blocos juntos, seria possível se a série não tivesse uma defasagem de aproximadamente 37 anos de dados, dos 60 anos da série.

3.2 RMPG

Para os dados fornecido pela RMPG, foram separados dois períodos: 2008 a 2015, Figura 5a, para fazer uma comparação com o relatório fornecido pelo IBGE (IBGE, 2016) e também com os dados da UHSLC, e 2008 a 2018, Figura 5b, para poder utilizar a série temporal completa disponibilizada.

Figura 5 - Dados maregráficos da estação Fortaleza – RMPG. (a) série temporal de 2008 a 2015; (b) série temporal de 2008 a 2018;



O relatório da RMPG indicou um aumento de 2,1 mm/ano na variação do NM e uma cota média de 6,342m (IBGE, 2016), ficando de acordo com o processamento dos AstGeoTop, como apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores analisados para a estação Maregráfica de Fortaleza – RMPG

	18/04/2008 - 31/12/2015		18/04/2008 - 20/06/2018
RMPG – Estação EMFOR (Fortaleza)	**~8 anos** Amostra = 782423 Cota Média = 6,342m **Regressão Linear** Cota origem c0: 6,333m Cota final cf: 6,350m Desnível cf-c0: 0,017m Aumento: 2,2 mm/ano **Regressão Quadrática** a = -0,000000014 Cota origem c0: 6,315m Cota final cf: 6,332m Desnível cf-c0: 0,017m	**RMPG – Estação EMFOR (Fortaleza)**	**~10 anos** Amostra = 1116030 Cota Média = 6,341m **Regressão Linear** Cota origem c0: 6,338m Cota final cf: 6,344m Desnível cf-c0: 0,006m Aumento: 0,6 mm/ano **Regressão Quadrática** a = -0,000000006 Cota origem c0: 6,323m Cota final cf: 6,333m Desnível cf-c0: 0,010m

Fazendo a análise de regressão linear para a série de 2008 a 2015, obteve-se um aumento no NM de 2,2 mm/ano, porém, a regressão quadrática indicou a concavidade da parábola para baixo, portanto esse aumento deverá baixar em um determinado momento. Para a série de 2008 a 2018, observa-se um aumento do NM de 0,6 mm/ano e a concavidade da parábola para baixo. A regressão quadrática para a segunda série confirma que o aumento do NM começa a ter um rebaixamento, pois a série passou de um aumento de 2,2 mm/ano para um aumento de 0,6 mm/ano. Assim, a série de maior duração, aproximadamente 10anos, comprova a importância de ter uma série temporal longa para ter um prognóstico mais realístico do local.

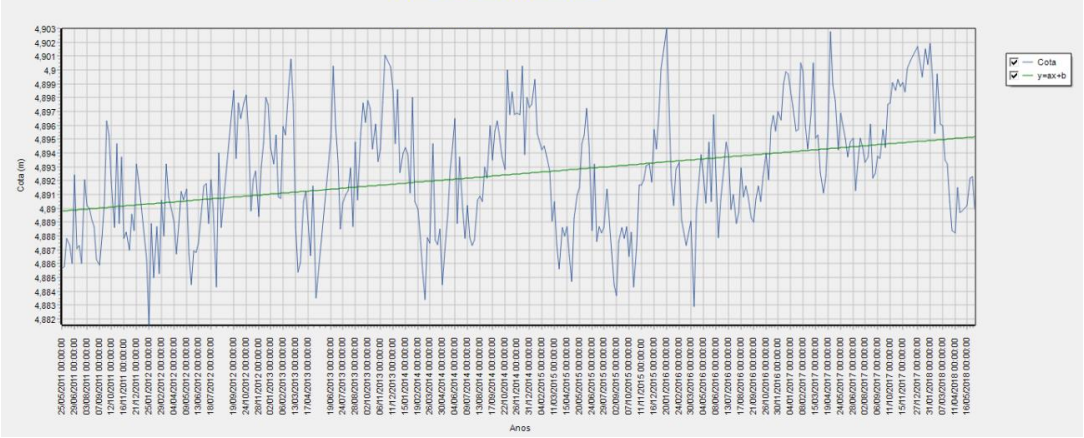
3.3 SIRGAS-CON

Os resultados apresentados neste trabalho não estão corrigidos dos movimentos verticais devido a série temporal GNSS ser curta. Contudo, os valores disponibilizados pelas coordenadas semanais do SIRGAS-CON permitem uma discussão da movimentação vertical observada pelas estações GNSS da rede. Vale salientar que a utilização desses dados para corrigir movimentos verticais de origem não oceânica não é prudente. A Tabela 7 resume a distância entre a estação GNSS e o marégrafo, a variação altimétrica observada na estação GNSS por meio da regressão linear e o período dos dados disponibilizado.

Estação SIRGAS-CON	Distância Estação/Marégrafo	Variação altimétrica por regressão linear	Período
CEFT	~600m	0,8 mm/ano	25/05/2011 – 06/06/2018

A estação CEFT indicou uma variação de 0,8 mm/ano através da regressão linear. Ou seja, em um período de 7 anos, a placa tectônica sofreu um soerguimento que ocasionou uma elevação da altitude elipsoidal nesta estação. A nível de comparação, o relatório da RMPG indicou um rebaixamento da placa de -0,8 mm/ano (IBGE, 2016).

Figura 6 – Dados altimétricos da estação CEFT, série temporal 25/05/2011 a 06/06/2018.



4 CONCLUSÕES

Uma análise minuciosa foi realizada nos dados maregráficos que compõem o acervo da UHSLC e da RMPG para a estação de Fortaleza. Foram detectados erros e inconsistências em algumas cotas de maré, onde tais problemas foram apontados com exatidão ao longo do trabalho para proceder a filtragem.

De acordo com os dados analisados foi possível observar momentos de aumento e rebaixamento do nível do mar. O resultado da série mais atual, utilizando só dados maregráficos, indica uma elevação no NMM da estação estudada de 0,6 mm/ano. Já na análise do movimento da crosta verificou um soerguimento de 0,8 mm/ano.

A metodologia de manipulação de dados, filtragem, análise de qualidade e de resultados está pronta para ser aplicada a qualquer conjunto de dados maregráficos e deve somar esforços de metodologias desenvolvidas por outros pesquisadores, a fim de estabelecer análise mais consistentes e um referencial altimétrico confiável, com as características da costa brasileira e da placa Tectônica Sul-Americana.

Como recomendação, os autores sugerem uma investigação mais aprofundada sobre o movimento da crosta, pois os dados fornecidos pelo SIRGAS-CON indicaram um aumento das altitudes elipsoidais, e consequentemente um soerguimento da placa, enquanto o relatório da RMPG (IBGE, 2016) indicou um rebaixamento da placa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PGCGTG-UFPE – Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, pela estrutura, equipamentos e recursos humanos integrados que tornaram possível a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

BOON, J. D.III; KILEY, K. P. **Harmonic analysis and tidal prediction by the method of least squares: a user's manual.** Applied Marine Science and Ocean Engineering. Special Report n. 186. Virginia Institute of Marine Science Gloucester Point, 49 p., 1978.

CAZENAVE, A; LE COZANNET, G. **Sea level rise and its coastal impacts.** Earth's Future, 2, 15-34. Doi: 10.1002/2013EF000188, 2013.

COSTA, S.M.A.; SANTOS, M. C.; GEMAEL, C. **A velocity field estimation of the Brazilian portion of the SOAM plate.** GPS solutions, 7, 186 – 193, 2003.

EMBARCADERO. **Delphi 10 Seattle Professional Version 23.0.20618.2753**. *Software*. Copyright © 2015 Embarcadero Technologies, Inc. All Rights Reserved. Licensed for Silvio Jacks dos Anjos Garnés.

GARNÉS, S. J A. **AstGeoTop (2012). Módulo: Transformação ITRF's @ versão 2012.11.28.** Software. Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE.

GARNÉS, S. J A. **AstGeoTop (2016). Módulo: Analise de maré @ versão 2016.09.01.** Software. Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE.

GEMAEL, C. **Introdução a geodésia física.** Curitiba, Ed. UFPR, 2012.

GEMAEL, C.; MACHADO, A. M. L.; WANDRESEN, R. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. 2Ed. Curitiba: Editora UFPR, 2015.

GGOS, 2018. **The Global Geodetic Observing System: Introducing GGOS – Additional Information: GGOS Components.** Disponível em: <http://www.ggos.org/>. Acesso: 20 de agosto de 2018.

HARARI, J.; CAMARGO, R. de. **Simulação da propagação das nove principais componentes de maré na plataforma sudeste brasileira através de modelo numérico hidrodinâmico.** Boletim do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo**.** São Paulo: 42(1). p. 35-54, 1994.

IBGE. **Relatório de Monitoramento da Variação do Nível de Médio do Mar nas Estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia – 2001-2012.** Relatório. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br//informacoes_sobre_posicionamento_geodesico//rmpg/relatorio/relatorio_RMPG_2001_2013_GRRV.pdf >. Acesso: 24 de agosto de 2018.

IBGE. **Análise do Nível Médio do Mar nas Estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia - RMPG 2001/2015.** Relatório. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br//informacoes_sobre_posicionamento_geodesico//rmpg/relatorio/relatorio_RMPG_2001_2015_GRRV.pdf>. Acesso: 24 de agosto de 2018.

IBGE. **Manual do Usuário Aplicativo Online IBGE-PPP Versão: abril 2017.** Manual. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual_ppp.pdf>. Acesso: 24 de agosto de 2018.

IBGE. **Relatório Reajustamento da rede altimétrica com Número Geopotenciais REALT-2018.** Relatório. Rio de Janeiro, 2018a. Disponível em: < ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_altimetrica/relatorio/relatorio_REALT_2018.pdf>. Acesso: 24 de agosto de 2018.

IBGE. **Estações maregráficas da RMPG-IBGE - Download.** Site. 2018b. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br//informacoes_sobre_posicionamento_geodesico//rmpg/dados/>. Acesso: 24 de agosto de 2018.

IMBIE. **Mass balance of the Antarctic Ice Sheet from 1992 to 2017.** Nature International Journal of Science. Vol. 558, 219-222, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0179-y>. Acesso: 17 de agosto de 2018.

NASA. **Understanding Sea Level.** 2018. Disponível em: <https://sealevel.nasa.gov/understanding-sea-level/>. Acesso: 24 de agosto de 2018.

PEREZ, J. A. S. **Campo de Velocidade para as Estações da RBMC e do IGS Localizadas na Placa Sul-Americana: Estimativa a partir do Processamento de Dados GPS.** Presidente Prudente, 2002. 166p. Dissertação, Pós-Graduação em Ciências Cartográficas – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

SIRGAS. **Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas.** 2018. Disponível em: <http://www.sirgas.org>. Acesso em: 24 de agosto de 2018.

SOUZA, W. O. **Modelagem do movimento da placa tectônica sul-americana por meio de dados VLBI e GNSS.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2013.

SOUZA, W. O.; GARNÉS, S. J. A. **Modelagem do movimento da placa tectônica sul-americana usando as velocidades das estações SIRGAS-CON.** V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife – PE, 12 – 14 de novembro de 2014.

UHSLC. **University of Hawaii Sea Level Center.** 2018a. Disponível em: <http://uhslc.soest.hawaii.edu/>. Acessado: 24 de agosto de 2018.

UHSLC. **University of Hawaii Sea Level Center – Download.** 2018b. Disponível em: <https://uhslc.soest.hawaii.edu/data/?rq>. Acessado: 24 de agosto de 2018.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES E PARÂMETROS IONOSFÉRICOS PROVENIENTES DE DIFERENTES FONTES

ANA LUCIA CHRISTOVAM DE SOUZA[1]
GABRIEL OLIVEIRA JEREZ[1]
PAULO DE OLIVEIRA CAMARGO [2]
DANIELE BARROCA MARRA ALVES[2]

Universidade Estadual Paulista – UNESP, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, SP
[1]Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas - PPGCC
[2]Departamento de Cartografia
a.lucia4@hotmail.com; gabrielojerez@gmail.com; paulo.camargo@unesp.br; daniele.barroca@unesp.br

RESUMO – O estudo das irregularidades do plasma ionosférico é de grande importância, já que tem contribuído para o entendimento de diversos fenômenos que acontecem na camada ionosférica, além de ter influência direta em atividades que envolvem o GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Dentre os diversos instrumentos que realizam medidas nesta camada, podem ser citadas as ionossondas e as estações de monitoramento. Neste contexto, neste trabalho foram selecionadas duas estações localizadas em Fortaleza, uma estação de monitoramento da ionosfera e uma ionossonda. A partir dos dados provenientes dessas estações, e de um índice geomagnético, foram realizadas análises do comportamento de diversos índices e parâmetros ionosféricos, bem como um estudo da relação entre os mesmos. Foram utilizados dados de uma semana, baseados no comportamento do índice Dst, que apresentou um pico nesta semana, sendo considerados os parâmetros foF2, h'F, hmF2, MUF, NmF2, tec_ion provenientes da ionossonda, os índices de cintilação ionosférica (s4 e $\boldsymbol{\sigma_{60}}$) e valores de VTEC e STEC, a partir da estação de monitoramento, e o índice geomagnético Dst. Os índices permitiram a caracterização da ionosfera para o período considerado, além de destacar aqueles que estão mais correlacionados (STEC *versus* VTEC; s4 *versus* $\boldsymbol{\sigma_{60}}$; FoF2 versus hmF2 *versus* NmF2).

ABSTRACT - Ionospheric plasma irregularities investigation is very important, once it has contributed to understanding several phenomena that occur in the ionospheric layer, besides having a direct influence in activities that involve GNSS (Global Navigation Satellite System). Among various instruments that perform measurements in this layer, ionosondes and monitoring stations can be cited. In this context, two stations located in Fortaleza were selected, an ionosphere monitoring station and an ionosonde station. Using these stations data and a geomagnetic index, analyzes about the behavior of several ionospheric indexes and parameters were carried out, as well as a study about the relationship between them. One week data was used based on the behavior of the Dst index, which peaked this week, considering foF2, h'F, hmF2, MUF, NmF2, tec_ion parameters from the ionosonde, ionospheric scintillation index (s4 e $\boldsymbol{\sigma_{60}}$) and values of VTEC and STEC, from the monitoring station, and a geomagnetic index (Dst). Indexes allowed a characterization of ionosphere for the period considered, besides highlighting those that were more correlated (STEC *versus* VTEC; s4 *versus* $\boldsymbol{\sigma_{60}}$; FoF2 versus hmF2 *versus* NmF2).

1 INTRODUÇÃO

A atmosfera tem grande influência na propagação dos sinais GNSS, sendo a ionosfera é considerada uma das principais fontes de degradação e erros. O erro causado é diretamente proporcional ao Conteúdo Total de Elétrons (TEC – *Total Electron Content*) e inversamente proporcional ao quadrado da frequência. Desta forma, o TEC é o principal parâmetro que descreve o efeito causado pela ionosfera (CAMARGO,1999). A variação de elétrons presente na ionosfera causa um efeito denominado de cintilação ionosférica, a qual provoca variações na amplitude e na fase, no ângulo e na polarização do sinal, quando este atravessa uma região com densidade irregular. Esse efeito pode causar o enfraquecimento do sinal recebido pelos receptores levando, em muitos casos, à perda do sinal (MENDONÇA, 2013; CONKER et al., 2003).

A ionosfera pode ser classificada de diversas formas de acordo com as propriedades a serem investigadas. Uma forma de classificação é a partir do perfil de densidade do plasma ou densidade eletrônica, parâmetro muito utilizado para descrever diferentes regiões da ionosfera com os máximos e mínimos relativos para identificar as camadas ionosféricas. Neste caso, a ionosfera pode ser dividida em três camadas ou regiões principais, denominadas de D, E e F, caracterizadas

pelas variações da densidade de elétrons à medida que a altura se eleva (ZOLESI; CANDER, 2014). As camadas E e F podem ser definidas de acordo com as frequências críticas (foE, foF1, foF2, das camadas E, F1 e F2, respectivamente), com as alturas do pico (hmE, hmF1, hmF2, das camadas E, F1 e F2, respectivamente) e meia espessura (ymE, ymF1, ymF2 das camadas E, F1 e F2, respectivamente). Frequência crítica é a frequência máxima refletida pela camada, onde as maiores frequências atravessam a camada e se propagam para altitudes superiores, sendo que à cada frequência crítica associa-se um pico de densidade do plasma (NmE, NmF1, NmF2, das camadas E, F1 e F2, respectivamente). Esses parâmetros são provenientes de ionossondas, que consistem em antenas transmissoras que emitem uma série de pulsos de ondas de rádio que viajam até a região ionizada e são refletidas na direção do solo, sendo registradas por um receptor. Embora as observações provenientes das ionossondas estejam sujeitas a limitações, o instrumento fornece inúmeras informações capazes de descrever o estado da ionosfera (PROL, 2015).

Além das ionossondas existem diversas outras formas e instrumentos de investigação da ionosfera. Um exemplo disso são as redes de monitoramento, como é o caso da Rede CIGALA/CALIBRA (*Concept for Ionospheric Scintillation Mitigation for professional GNSS in Latin America / Countering GNSS high Accuracy applications Limitations due to Ionopheric disturbances in BRAzil*) que possui receptores específicos que fornecem diversos índices ionosféricos.

Considerando as diversas fontes de dados disponíveis atualmente para realizar estudos do comportamento da ionosfera, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise exploratória do comportamento de parâmetros e índices ionosféricos provenientes de diferentes fontes.

2 IONOSFERA

O comportamento da ionosfera varia no tempo e no espaço tendo relação com diversos fatores, entre esses o fluxo de ionização solar, atividade geomagnética, estação do ano, ciclos de manchas solares e localização no globo (SEEBER, 2003; CAMARGO, 1999).

As variações temporais da ionosfera podem ser diurnas, sazonais e em ciclos de longo período. As diurnas ocorrem devido a mudanças em regiões da ionosfera, decorrentes das recombinações de elétrons e íons distribuídos em suas camadas, sendo relacionadas à incidência solar. As mudanças sazonais se relacionam às variações na densidade de elétrons causadas pela mudança do ângulo zenital do Sol e pelo fluxo de ionização, que mudam devido às estações do ano. Já os ciclos de longo período correspondem aos ciclos solares, que ocorrem em intervalos de aproximadamente 11 anos, sendo associados às manchas solares (CAMARGO, 1999).

Considerando a localização geográfica, os níveis de densidade de elétrons são mais intensos nas regiões equatoriais, menos intensos nas latitudes médias e seguem comportamento menos previsível nas altas latitudes. Nas regiões equatoriais os efeitos da ionosfera são relacionados, entre outros, à Anomalia de Ionização Equatorial (AIE) com intensidade maior no pico local da anomalia (latitudes geomagnéticas aproximadas de ±15º) (SEEBER, 2003; MONICO, 2008).

O campo geomagnético pode sofrer influência das atividades solares, como explosões e manchas solares. Esses eventos podem causar os chamados ventos solares que podem afetar as linhas de força do campo, fazendo com que as mesmas sejam comprimidas. Em decorrência disso podem ocorrer tempestades geomagnéticas que originam tempestades ionosféricas (CAMARGO, 1999). Além disso, a ionosfera possui irregularidades, como as bolhas ionosféricas, que também podem afetar o sinal GNSS. As irregularidades na densidade de elétrons podem causar mudanças na fase e na amplitude do sinal de rádio recebido, ocasionando muitas vezes a degradação ou até mesmo a perda do sinal. Esse efeito recebe o nome de cintilação ionosférica e tem comportamento específico e regional (CONKER et al., 2003). Seus efeitos têm relação com a atividade geomagnética, estação do ano, localização no globo e ciclos solares, assim como ocorre com o TEC. As regiões com maior ocorrência de cintilação são as dos picos da AIE (SEEBER, 2003; MONICO, 2008).

Segundo Matsuoka e Camargo (2004), o principal parâmetro que descreve o efeito da ionosfera nos sinais GNSS é o TEC, o qual representa o número de elétrons contidos no caminho percorrido pelo sinal, do satélite ao receptor. Assim, associando a propriedade dispersiva da ionosfera a duas ou mais frequências distintas, é possível determinar a integral da densidade eletrônica, ou seja, o TEC ou STEC (*Slant TEC*), dado por:

$$STEC = \int_S^R N_e \, ds, \tag{1}$$

onde N_e é a densidade de elétrons (elétrons/metros³) e ds é distância entre o satélite e o receptor em metros.

Com o propósito de padronização e modelagem, muitos modelos utilizam o TEC na direção (zenital) (VTEC – Vertical TEC), o qual é obtido por meio do TEC ou STEC e a função de mapeamento geométrico padrão $\left(cos(z')\right)$, o qual representa o ângulo zenital do caminho do sinal sobre o ponto ionosférico localizado em um plano de altitude média de 300 km (MATSUOKA et al., 2009). O STEC é dado em elétrons/m², entretanto, devido à ordem de grandeza dos valores ser muito elevada, adota-se como unidade o TECU (TEC Unit), sendo 1 TECU equivalente a $1x10^{16}$ elétrons/m.

2.1 IONOSSONDA

A ionossonda é um instrumento que mede o perfil de densidade de elétrons da ionosfera por meio da emissão de pulsos (ecos) de energia eletromagnética vertical em relação ao solo, com varredura em frequências variáveis entre 0 a 30 MHz que refletem na camada ionosférica e são recebidos pelo equipamento. A ionossonda digital apresenta uma capacidade diagnóstica da ionosfera maior devido à tecnologia utilizada. O modo digital fornece, além do perfil de densidade eletrônica, as velocidades de deriva do plasma ionosférico (YAMASHITA, 1999; INPE, 2018).

Os ecos registrados pelas ionossondas são organizados de acordo com a frequência de transmissão e com a altura de reflexão dos pulsos eletromagnéticos para formar os chamados ionogramas, que são fornecidos em intervalos regulares de tempo de 10 em 10 minutos (YAMASHITA, 1999; INPE, 2018). A altura medida é dita virtual devido ao fato do equipamento medir o tempo decorrido entre a transmissão e a recepção de um pulso considerando que o mesmo se propagou à velocidade da luz no vácuo. Enquanto na realidade a velocidade de grupo é menor que a velocidade da luz devido à presença de elétrons livres. Desta forma, as alturas obtidas nos ionogramas, maiores do que as alturas reais de reflexão (LIU, 2004).

Quando a frequência do pulso aumenta, a altura virtual de um ionograma também aumenta, sendo que quando a reflexão alcança a altura onde o TEC é máximo o pulso incidente ultrapassa a camada, não havendo, assim, o retorno do pulso e, consequentemente, a ionossonda mede a altura virtual como infinita. A frequência relacionada a essa altura é denominada de frequência crítica (foF) (YAMASHITA, 1999).

Diversas informações podem ser extraídas a partir da análise de um ionograma, informações essas conhecidas como parâmetros ionosféricos, que fornecem uma análise geral do ionograma. A Tabela 1 apresenta os parâmetros fornecidos por uma ionossonda. Normalmente os parâmetros ionosféricos são divididos em grupos específicos para cada região da ionosfera. O parâmetro contendo a letra E no nome são específicos para a camada E, um grupo de parâmetros específicos para a camada F, apresenta F1 ou F2 em seu nome e, um último grupo, que não contém as letras E ou F, fornecem informações do ionograma independente da camada ionosférica.

Tabela 1- Parâmetros ionosféricos extraídos do ionograma e suas respectivas nomenclaturas

fmin	Menor frequência na qual o traço do eco foi observado
fbEs	Menor frequência da onda ordinária, na qual o traço contínuo da camada esporádica foi observado
fxEs	Máxima frequência da onda ordinária, na qual o traço contínuo da camada esporádica foi observado
h'Es	Altura virtual mínima da camada esporádica observada
TIPO	Corresponde ao(s) tipo(s) de esporádica observado
foE	Frequência crítica da onda ordinária correspondente a camada densa mais baixa da região E que causa descontinuidade na altura do traço E
MUF	Máxima frequência utilizável
h'E	Altura virtual mínima da camada E
foE2	Frequência crítica da onda ordinária da camada E2, que algumas vezes aparece entre a camada E normal e a camada F1
h'E2	Altura virtual mínima da camada E2
foF1	Frequência crítica da onda ordinária da camada F1
foF2	Frequência crítica da onda ordinária da camada mais alta da região F
h'F	Altura virtual mínima da camada F
h'F2	Altura virtual mínima do traço ordinário
NmF2	Densidade de Elétrons presente na Camada F2

Fonte: Yamashita (1999)

Vale ressaltar que as ondas emitidas em diferentes frequências são refletidas em diferentes alturas, sendo diretamente proporcionais. A frequência da onda está diretamente relacionada com a densidade do plasma, onde a mesma é refletida. A relação pode ser observada por meio da expressão:

$$\mathrm{NmF2} = 1{,}24 \times 10^{10}\ foF2^2 \tag{2}$$

onde foF2 é a frequência da onda em MHz e o parâmetro NmF2 é dado em elétrons/cm^{-3}.

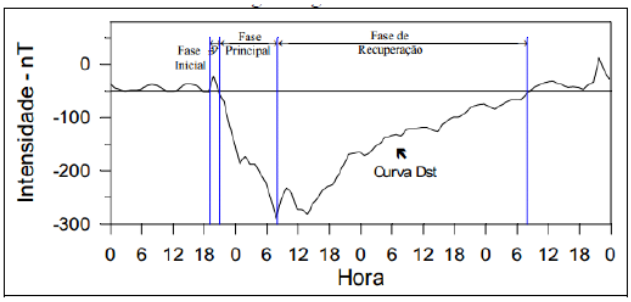
2.2 ÍNDICES

Para classificação e investigação do comportamento da ionosfera podem ser utilizados diversos índices. Como, por exemplo, índices de irregularidade, como o fp e o Fp (MENDILLO et al., 2000), o IROT (WANNIGER, 1993) e o ROTI (PI et al., 1997) e índices de cintilação, como o S4 (CONKER et al., 2003), o σ_ϕ (WALTER et al., 2010), o Sϕ (FORTE, 2007) e o σCHAIN (MUSHINI et al., 2012). Sendo que os mais utilizados para cintilação ionosférica são o S4, para cintilação de amplitude e σ_ϕ, para cintilação de fase. Conker et al. (2003) dividem a classificação do índice S4 em:

ausência de cintilação (S4≈0,0) e cintilação forte (S4≈1,0). Já Tiwari et al. (2011) têm a classificação: fraca (S4 ≤ 0,5), moderada (0,5 < S4 < 1) e forte (S4 ≥ 1). Quanto ao σ_ϕ, Skone et al. (2005) divide as cintilações de fase para a portadora L1 em fraca ($\sigma\phi \approx 0{,}05$ rad) e forte ($\sigma\phi \approx 1{,}0$ rad). Tiwari et al. (2011) apresenta a classificação como: fraca ($\sigma_\phi \leq 0{,}4$), moderada ($0{,}4 < \sigma_\phi < 0{,}8$) e forte ($\sigma_\phi \geq 0{,}8$).

Para descrever a intensidade e a duração das tempestades geomagnéticas pode ser utilizado o índice geomagnético Dst (*Disturbance Storm-Time*) (FEDRIZZI, 2003). O índice Dst, dado em nanoTesla (nT), representa o invólucro das curvas de medidas magnetométricas obtidas por uma cadeia de magnetômetros localizados na região equatorial (YAMASHITA, 1999). É a partir desse índice que melhor se representa uma tempestade geomagnética, antes do início de uma tempestade o índice aponta um pico de intensidade, que pode ser chamado de fase inicial ou início súbito. Após esse pico se desenvolve a fase principal, que é definida pela queda no valor da intensidade do índice, depois de alcançar o mínimo o índice começa a se elevar, período esse chamado de fase de recuperação, até atingir aproximadamente o valor calmo, que ocorre quando não há tempestade (YAMASHITA, 1999). Um exemplo da assinatura descrita é apresentado na Figura 2. A classificação da tempestade geomagnética de acordo com índice o Dst apresentado por Gonzales et al. (1994) é dividido entre: fraca (Dst > –50), moderada (–50 > Dst > –100) e intensa (Dst < –100).

Figura 1- Curva Dst entre os dias 5 e 8 de setembro de 1982 com uma intensa tempestade geomagnética.



Fonte: Yamashita (1999)

3 METODOLOGIA

Para o presente trabalho foram utilizados dados de equipamentos instalados em fortaleza – CE, uma vez que nesta localidade estão disponíveis uma ionossonda e a estação FRTZ da rede CIGALA/CALIBRA, permitindo o acesso a diversos índices e parâmetros ionosféricos. As informações consultadas correspondem ao período de 15 a 21 de fevereiro de 2014. A escolha deste período foi baseada no comportamento do índice Dst, que apresentou um pico nesta semana. Além disso, considerando os ciclos de longo período da atividade solar, o último ciclo (24) teve pico entre o fim de 2013 e início de 2014, abrangendo assim o período selecionado.

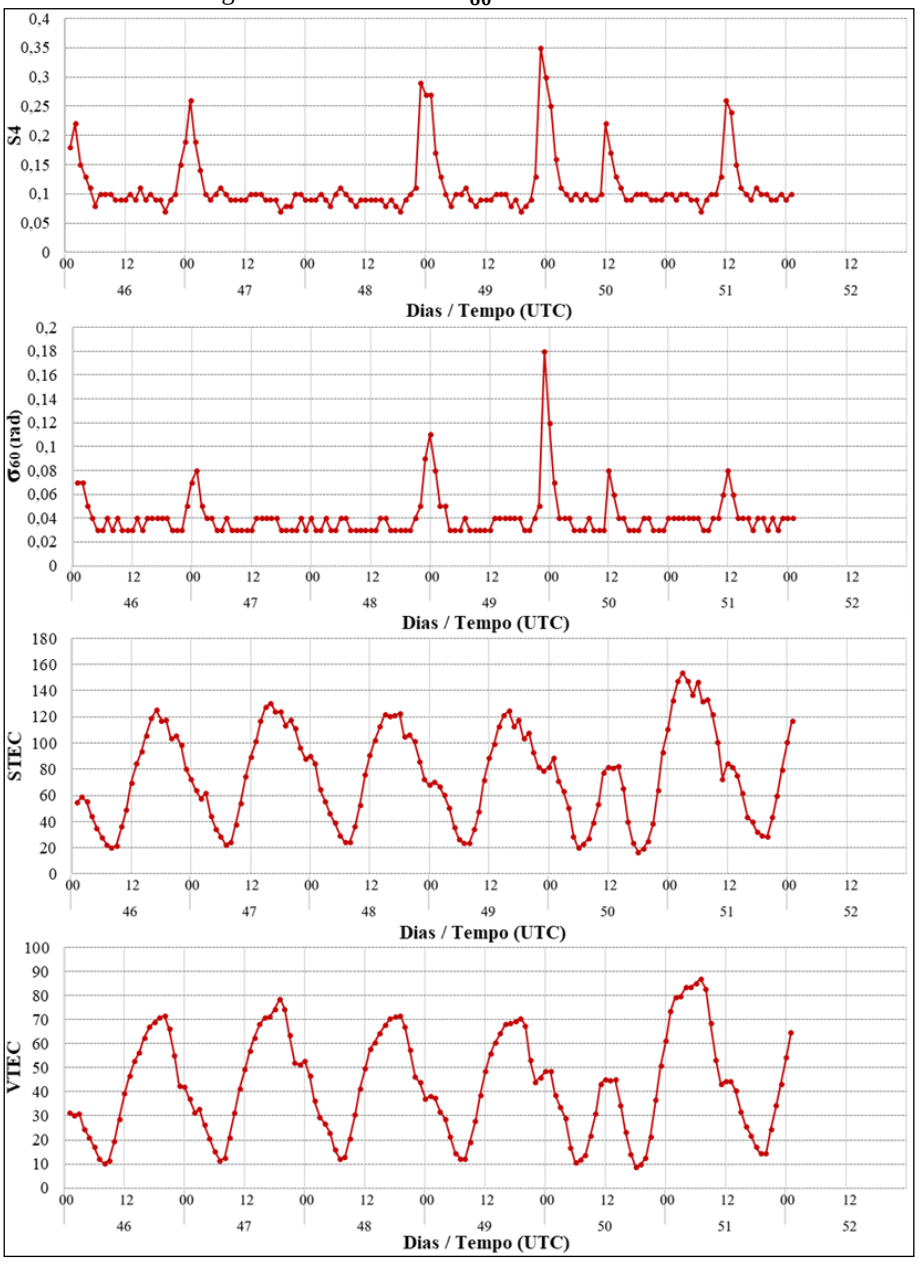
Para as análises foram utilizados índices e parâmetros ionosféricos. Os dados da estação FRTZ foram consultados por meio da ferramenta *online* disponível na página do projeto cigala/calibra <http://is-cigala-calibra.fct.unesp.br/is/index.php>. Para este trabalho foram selecionados os índices de cintilação (s4 e $\boldsymbol{\sigma_{60}}$) e valores de STEC e VTEC. Já os parâmetros utilizados são provenientes da ionossonda, dados esses disponibilizados na página do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), que podem ser acessados em <http://www2.inpe.br/climaespacial/portal/ionossondas-indices/>. Foram selecionados os valores de foF2, h'F, hmF2, MUF, NmF2 e tec_ion. Além desses, foram ainda considerados os valores do índice geomagnético Dst, disponíveis na página *World Data Center for Geomagnetism* em <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_final/201402/index.html>.

É importante ressaltar que os índices e parâmetros ionosféricos utilizados são obtidos de maneira e em intervalo de tempo diferentes. Os valores provenientes da estação FRTZ (índices de cintilação, s4 e $\boldsymbol{\sigma_{60}}$, bem como os valores de STEC e VTEC) são disponibilizados em intervalos de tempo de um minuto. Os parâmetros provenientes da ionossonda (foF2, h'F, hmF2, MUF, NmF2 e tec_ion) são fornecidos em intervalos de tempo de dez minutos. Já o índice Dst é fornecido em intervalo de tempo de uma hora. Deste modo, para não descartar as informações disponíveis de cada uma das fontes, optou-se por realizar três análises distintas. A primeira, considerando todos os índices e parâmetros obtidos, utilizando o intervalo de uma hora entre os dados. Neste caso, como todos os dados, com exceção do Dst, são fornecidos em intervalos menores, foram consideradas as medianas dos valores a cada intervalo de uma hora. A segunda análise, utilizando os índices e parâmetros da estação FRTZ e da ionossonda, foi realizada com intervalo de tempo de dez minutos entre os dados. Para esta abordagem, como os índices da ionossonda são coletados a cada dez minutos, foram utilizados os dados dos instantes a cada dez minutos dos demais valores. E, por fim, a terceira análise, com dados apenas da estação FRTZ, foi realizada utilizando intervalo de um minuto entre os dados, sendo considerados apenas os índices de cintilação e valores de STEC e VTEC. Para todas as análises realizadas foi utilizado o software estatístico *Minitab*, versão 17.1.0, sendo utilizada a correlação de Pearson**.**

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção primeiramente é apresentada uma caracterização do comportamento dos índices e parâmetros considerados e, em seguida, os resultados obtidos nas três abordagens propostas. A Figura 2 apresenta as médias dos índices S4 e $\boldsymbol{\sigma_{60}}$ e dos valores de STEC e VTEC obtidos a partir da estação FRTZ.

Figura 2 – Índices S4 e $\boldsymbol{\sigma_{60}}$ e valores de STEC e VTEC

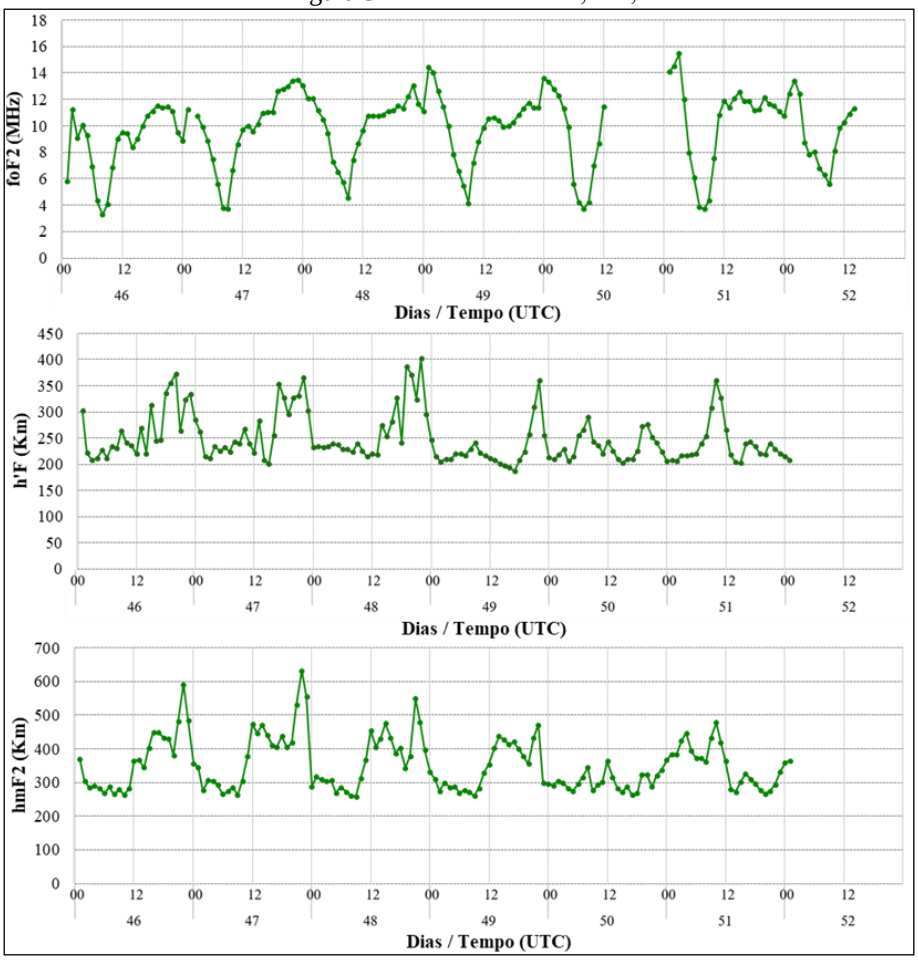


Como pode ser observado, os índices S4 e $\boldsymbol{\sigma_{60}}$ apresentam comportamento semelhante. Isso porque ambos os índices são relacionados à ocorrência de cintilação ionosférica, de amplitude e de fase, respectivamente. Os valores de VTEC e STEC apresentam comportamento semelhante, porém, nota-se variação na amplitude dos valores. Essa diferença se dá pela diferença entre os valores estimados, verticalmente e em relação ao ângulo de elevação dos satélites. Além disso, vale ressaltar que diferente do TEC, que apresenta comportamento cíclico diário, a ocorrência de cintilação não apresenta exatamente o mesmo comportamento, como esperado.

A Figura 3 apresenta os parâmetros ionosféricos foF2 (Frequência crítica da onda ordinária da camada mais alta da região F), h'F (Altura virtual mínima do traço ordinário), hmF2 (Altura do pico de ionização da camada F2). Tem-se que os parâmetros foF2 e hmF2 obtiveram um comportamento bem semelhantes entre si, apresentando comportamento cíclico sempre com um pico próximo às 00h UTC ou às 21h (Hora Local). A ocorrência desse pico todos os dias pode ser

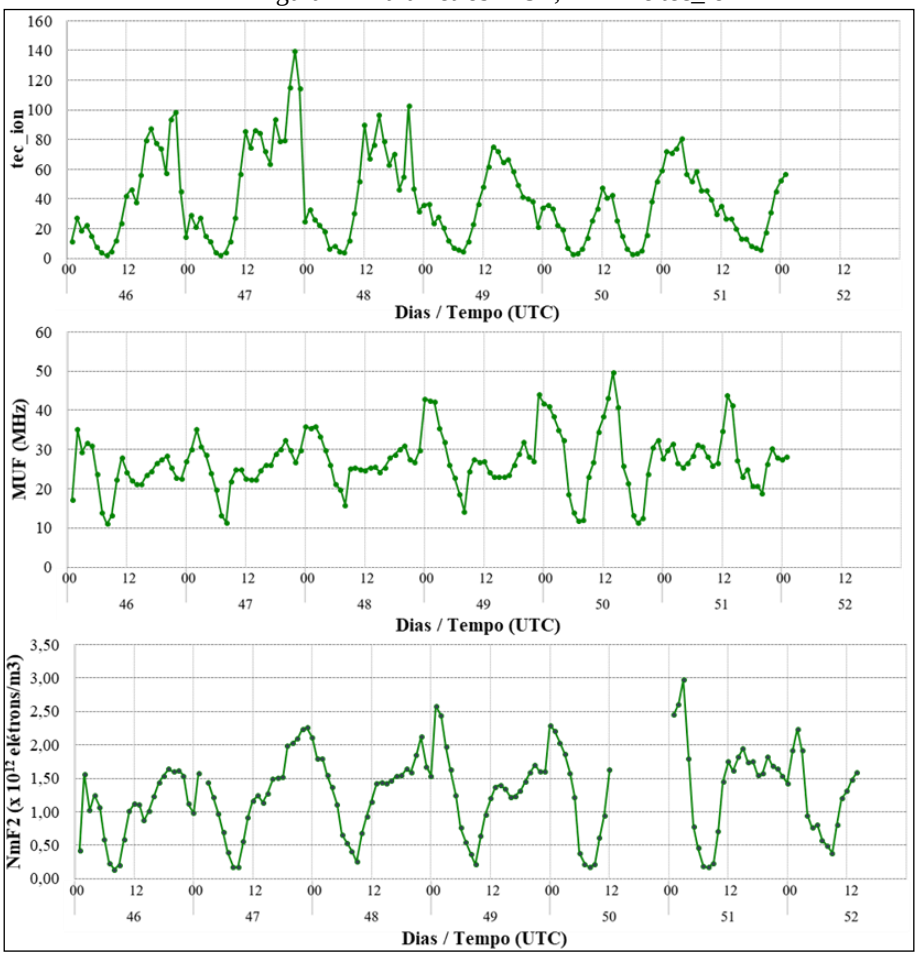
consequência da AIE, região que apresenta um primeiro máximo na densidade de elétrons próximos às 14h (Hora Local), e um segundo máximo próximo as 21h (Hora Local) (PEREIRA, 2015). O parâmetro h'F (altura virtual mínima da camada F) também apresenta comportamento cíclico, com aumento abrupto dos valores próximo ao pôr do sol (15h UTC). Assim, nota-se que essa característica da rápida subida da altura mínima próximo ao pôr do sol é uma característica que revela a possibilidade de geração e presença de irregularidades. Além disso, é importante ressaltar que esse padrão aconteceu para todos os dias em questão. Este aumento pode estar ligado à intensificação da deriva vertical nessa região da ionosfera, entretanto, é necessário ser cuidadoso na interpretação do aumento da altura virtual mínima da camada F (h'F), uma vez que esse aumento da base da camada está associado à recombinação dos elementos presentes na camada, como consequência do fim da incidência solar, ou seja, em horários próximos ao pôr do sol.

Figura 3 – Parâmetros foF2, h'F, hmF2



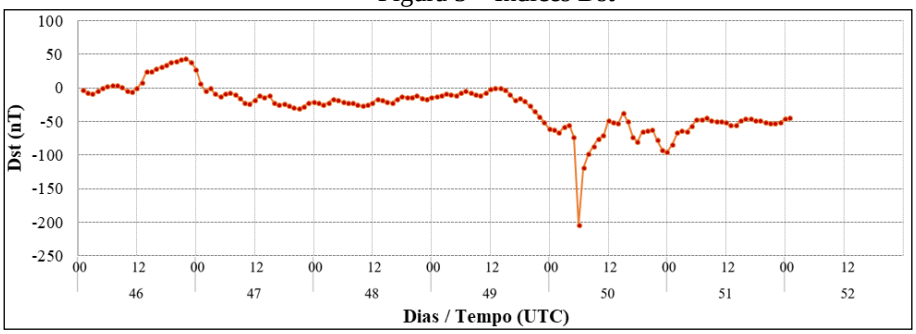
A Figura 4 apresenta os parâmetros ionosféricos tec_ion (Conteúdo total de elétrons obtidos com a ionossonda), MUF (Máxima frequência utilizável), NmF2 (Densidade de Elétrons presente na Camada F2). O tec_ion apresentou o comportamento muito similar ao STEC e ao VTEC, entretanto novamente nota-se variação na amplitude dos valores. Além disso, é possível notar a presença de dois picos de máxima, um próximo às 12 h UTC e um próximo às 00h UTC, exceto para o dia 48 que não apresentou o segundo pico próximo às 00h UTC. O parâmetro MUF na sua definição clássica é a máxima frequência utilizada para comunicação entre dois pontos na Terra usando somente refração na ionosfera, para um modo particular de propagação. Esse parâmetro apresentou o comportamento mais discrepante quando comparado com os demais parâmetros, apresentando um mínimo sempre às 10h UTC e um máximo às 00h UTC. Já o parâmetroNmF2, apresentou o comportamento já esperado, similar ao parâmetro foF2, uma vez que um parâmetro depende diretamente do outro.

Figura 4 – Parâmetros MUF, NmF2 e tec_ion



Na Figura 5 são apresentados os índices Dst para o período considerado, por meio da análise do comportamento do índice nota-se que ocorreu alguma atividade geomagnética, uma vez que apresentou o comportamento característico descrito na seção 2.2.

Figura 5 – Índices Dst



A Equação 3 apresenta a matriz de correlação amostral ($R_{1\ hora}$) considerando todos os índices e parâmetros obtidos, utilizando o intervalo de uma hora entre os dados. Lembrando que como todos os dados são fornecidos em intervalos menores, foram utilizadas as medianas dos valores, exceto para o índice Dst.

$$\mathbf{R_{1\,hora}} = \begin{bmatrix} \mathbf{S4} & & & & & & & & & & \\ \mathbf{0,907} & \boldsymbol{\sigma_{60}} & & & & & & & & & \\ \mathbf{-0,068} & \mathbf{0,053} & \mathbf{STEC} & & & & & & & & \\ \mathbf{-0,092} & \mathbf{0,034} & \mathbf{0,988} & \mathbf{VTEC} & & & & & & & \\ \mathbf{0,307} & \mathbf{0,329} & \mathbf{0,739} & \mathbf{0,736} & \mathbf{f_0F2} & & & & & & \\ \mathbf{-0,069} & \mathbf{0,025} & \mathbf{0,221} & \mathbf{0,263} & \mathbf{0,159} & \mathbf{h'F} & & & & & \\ \mathbf{-0,136} & \mathbf{-0,021} & \mathbf{0,731} & \mathbf{0,690} & \mathbf{0,473} & \mathbf{0,533} & \mathbf{hmF2} & & & & \\ \mathbf{0,158} & \mathbf{0,066} & \mathbf{0,842} & \mathbf{0,823} & \mathbf{0,654} & \mathbf{0,312} & \mathbf{0,888} & \mathbf{tec_ion} & & & \\ \mathbf{0,490} & \mathbf{0,431} & \mathbf{0,347} & \mathbf{0,351} & \mathbf{0,847} & \mathbf{0,093} & \mathbf{-0,031} & \mathbf{0,197} & \mathbf{MUF} & & \\ \mathbf{0361} & \mathbf{0,375} & \mathbf{0,702} & \mathbf{0,700} & \mathbf{0,985} & \mathbf{0,171} & \mathbf{0,450} & \mathbf{0,630} & \mathbf{0,847} & \mathbf{NmF2} & \\ \mathbf{-0,028} & \mathbf{0,021} & \mathbf{0,132} & \mathbf{0,144} & \mathbf{0,071} & \mathbf{0,190} & \mathbf{0,242} & \mathbf{0,223} & \mathbf{-0,041} & \mathbf{0,020} & \mathbf{Dst} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Por meio das correlações obtidas para cada uma das variáveis apresentados na Equação 3, nota-se que o índice geomagnético Dst apresentou baixa correlação com as demais variáveis. Apesar dos resultados apresentarem um pico característico no período considerado, houve um evento geomagnético capaz de alterar a camada ionosférica de maneira muito drástica, ou seja, com capacidade para alterar significativamente a densidade de elétrons presente na mesma. Além disso, deve ser considerado que as tempestades geomagnéticas não têm relação direta com as variações diárias das características ionosféricas.

Os índices de cintilação ionosférica S4 e $\boldsymbol{\sigma_{60}}$ apresentaram correlação fraca com os demais parâmetros, inclusive com o STEC e o TEC. Isso porque a ocorrência de cintilação ionosférica está diretamente relacionada às irregularidades na densidade de elétrons, e não necessariamente à alta ou baixa concentração. Além disso, nota-se que entre os dois índices de cintilação houve correlação muito forte (0,907), isso já era esperado pelo fato de ambos estarem relacionados à cintilação ionosférica. Além disso, os índices são obtidos a partir de uma mesma estação de monitoramento.

Os valores de STEC e VTEC apresentaram correlação fraca com os parâmetros h'F e MUF. Já com os demais parâmetros obtidos por meio da ionossonda (foF2, hmF2, tec_ion e NmF2) apresentaram uma correlação forte devido à dependência entre os parâmetros. Quando a frequência crítica da onda (foF2) aumenta, a altura (hmF2) também aumenta e, consequentemente, a densidade máxima de elétrons (NmF2) presente na camada também aumenta. A forte correlação entre os valores STEC e VTEC com tec_ion já era esperada, uma vez que, apesar de serem obtidos de fontes distintas, representam o mesmo fenômeno.

O parâmetro foF2 apresentou uma correlação forte com o parâmetro NmF2, devido à máxima densidade elétrons presentes na camada F2 depender totalmente da frequência crítica da mesma camada, essa relação é dada pela Equação (2) apresentada na seção 2.1. O foF2 apresentou forte relação com o parâmetro MUF, provavelmente devido ao fato de ambos os parâmetros se tratarem de frequência refletida na camada ionosférica, já com o parâmetro tec_ion apresentou uma correlação moderada e com os demais parâmetros apresentou uma correlação baixa.

O parâmetro h'F apresentou correlação fraca com todos os parâmetros, exceto com o parâmetro hmF2 (altura do pico de ionização), provavelmente devido a ambos os índices se tratarem em altura em que foram refletidos na camada F. O parâmetro hmF2 apresentou forte correlação com o tec_ion, e novamente essa correlação pode ser explicada pela relação quanto maior a frequência da onda, maior altura, maior TEC, já com os demais parâmetros apresentou uma correlação baixa a desprezível.

O tec_ion apresentou uma correlação moderada com o parâmetro NmF2 (densidade máxima de elétrons), entretanto esperava-se uma forte correlação devido à forte dependência entre a densidade de elétrons presente na camada e o TEC. Já com os demais parâmetros (MUF e Dst) foram apresentadas correlações desprezíveis. E por fim, o parâmetro MUF (Máxima frequência utilizável**)** apresentou uma correlação forte com o parâmetro NmF2, novamente explicada pela relação maior frequência maior altura, maior densidade.

Dando continuidade à análise exploratória dos dados, foram considerados os dados em intervalo de 10 minutos, sendo considerados apenas os dados de cintilação e valores STEC e VTEC estimados a cada 10 minutos, compatibilizando os dados com os disponibilizados a partir da ionossonda. Além disso, vale ressaltar que o parâmetro geomagnético Dst não foi considerado, uma vez que o mesmo é dado somente em intervalos de uma hora. A Equação 4 apresenta a matriz de correlação amostral dos dados para o intervalo de 10 minutos ($R_{10\,MIN}$).

$$\mathrm{R}_{10\,\mathrm{min}} = \begin{bmatrix} \mathrm{s4} & & & & & & & & & \\ 0{,}838 & \sigma_{60} & & & & & & & & \\ -0{,}087 & 0{,}051 & \mathrm{STEC} & & & & & & & \\ -0{,}130 & 0{,}025 & 0{,}986 & \mathrm{VTEC} & & & & & & \\ 0{,}218 & 0{,}284 & 0{,}753 & 0{,}746 & \boldsymbol{f_0F2} & & & & & \\ -0{,}076 & 0{,}027 & 0{,}249 & 0{,}270 & 0{,}178 & \mathrm{h'F} & & & & \\ -0{,}107 & 0{,}021 & 0{,}696 & 0{,}676 & 0{,}513 & 0{,}489 & \mathrm{hmF2} & & & \\ -0{,}143 & 0{,}034 & 0{,}816 & 0{,}803 & 0{,}691 & 0{,}319 & 0{,}871 & \mathrm{tec_ion} & & \\ 0{,}388 & 0{,}360 & 0{,}373 & 0{,}372 & 0{,}843 & -0{,}069 & 0{,}006 & 0{,}242 & \mathrm{MUF} & \\ 0{,}267 & 0{,}327 & 0{,}720 & 0{,}713 & 0{,}984 & 0{,}189 & 0{,}502 & 0{,}678 & 0{,}678 & \mathrm{NmF2} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Novamente, analisando as correlações entre os índices e parâmetros por meio da Equação 4, nota-se o mesmo padrão apresentando na análise feita para o intervalo de uma hora. Observa-se que os índices de cintilação apresentaram forte correlações somente entre si, e correlações desprezíveis com os demais parâmetros. Nota-se, de maneira análoga, forte correlação entre VTEC, STEC e tec_ion. Além da forte correlação entre os parâmetros de altura, frequência e TEC, uma vez que quanto maior a frequência da onda, maior altura, maior TEC. Indicando que a utilização da mediana para a representação dos índices e parâmetros ionosféricos dados em intervalos de tempo menores foi representativa para os dados utilizados.

Por fim, foi realizada a análise exploratória dos parâmetros ionosféricos obtidos a cada minuto, somente com dados de cintilação e valores de STEC e VTEC, uma vez que as demais informações não são fornecidas nesse intervalo de tempo. A Equação 5 apresenta a matriz de correlação amostral para os dados obtidos a cada minuto. Por meio das correlações dos dados com intervalo de um minuto verificou-se novamente o mesmo comportamento que nas análises anteriores. Os índices de cintilação se mostraram altamente correlacionados entre si. E, em contrapartida, apresentam correlações desprezíveis com o STEC e VTEC, que por sua vez também apresentaram forte correlação entre si.

$$\mathbf{R}_{\mathbf{1\ min}} = \begin{bmatrix} \mathbf{s4} & & & \\ \mathbf{0,823} & \boldsymbol{\sigma_{60}} & & \\ \mathbf{-0,137} & \mathbf{0,014} & \mathbf{STEC} & \\ \mathbf{-0,177} & \mathbf{0,008} & \mathbf{0,984} & \mathbf{VTEC} \end{bmatrix} \tag{5}$$

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho realizou uma análise exploratória com o objetivo de descrever o comportamento da ionosfera. Para isso foram utilizados parâmetros ionosféricos obtidos por meio de uma ionossonda, bem como dados de STEC, VTEC, índices de cintilação ionosférica de uma estação de monitoramento e o índice geomagnético Dst.

Analisando o comportamento da camada F como um todo pôde-se notar um aumento abrupto na altura virtual mínima (h'F) sempre após o por sol, entretanto não foi possível chegar a uma conclusão definitiva da causa desse rápido aumento. As possíveis causas da ocorrência podem ser devido à presença de irregularidades ionosféricas ou estar associado à recombinação dos elementos presentes na camada, que ocorrem próximo ao pôr do sol. Além disso, pôde-se notar o comportamento semelhante dos parâmetros foF2 e hmF2, que apresentaram um comportamento cíclico sempre com um pico próximo às 00h (UTC) correspondente às 21h (Hora Local). A ocorrência desse pico todos os dias pode estar ligado com a AIE, que apresenta um primeiro máximo na densidade de elétrons próximos às 14h (Hora Local) e um segundo máximo próximo às 21h (Hora Local).

A análise exploratória dos dados mostrou que as avaliações feitas com os dados no intervalo de uma hora, dez minutos e um minuto se mostraram compatíveis. Nesse sentido, a mediana dos dados utilizado na análise para as análises com intervalo de uma hora foi representativa na interpretação do comportamento da ionosfera nas diferentes camadas. O índice geomagnético Dst apresentou uma correlação desprezível com as demais variáveis utilizadas no presente trabalho, o que leva a crer que nesse período não houve nenhum evento geomagnético capaz de alterar a camada ionosférica, ou está relacionado à natureza do índice. Uma vez que o mesmo caracteriza picos relacionados à ocorrência de tempestade, e não o monitoramento das variações cíclicas da ionosfera.

Os índices de cintilação foram altamente correlacionados entre si, isso se deve ao fato de ambos estarem relacionados ao mesmo efeito. Em contrapartida apresentaram baixa correlação com o STEC e VTEC, que por sua vez também apresentaram forte correlação entre si. Este comportamento era esperado uma vez que, apesar de apresentarem fatores de variabilidade semelhantes, a cintilação não apresenta comportamento cíclico bem definido como a variação do TEC.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo fomento à pesquisa e aos projetos CIGALA/CALIBRA, financiados pela *European Commission* (EC) no contexto do FP7-GALILEO-2009-GSA, e FP7–GALILEO–2011–GSA–1a, respectivamente, e pela FAPESP (processo 06/04008-2), a o INPE pelos dados disponibilizado.

REFERÊNCIAS

ABREU, A. J. **Estudo do papel das ondas planetárias e dos distúrbios ionosféricos na geração de irregularidades ionosféricas equatoriais**. 2012. 193 f. Tese (Doutorado em Física e Astronomia) – Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos.

CAMARGO, P. O., 1999. **Modelo regional da ionosfera para uso em posicionamento com receptores GPS de uma frequência**, Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 191 p.

CONKER; R. S., EL-ARINI, M. B. HEGARTY, C. J., HSIAO, T., "Modeling the Effects of Ionospheric Scintillation on GPS/Satellite-Based Augmentation System Availability", **Radio Science**, Vol. 38, 2003.

FEDRIZZI, M. **Estudo do efeito das tempestades magnéticas sobre a ionosfera utilizando dados do GPS**. 2003. 223 f. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

GONZALES, W. D.; JOSELYN, J. A.; KAMIDE, H.; KROEHL, H. W.; ROSTOKER, G.; TSURUTANI, B. T.; VASYLIUNAS, V. M. What is a geomagnetic storm? **Journal of Geophysical Research**: Space Physics, v. 99, n. A4, p. 5771-5792, Apr. 1994.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://www2.inpe.br/climaespacial/portal/ionossondas-sobre/>. Acesso em 12 julho 2017

LIU, Z. **Ionosphere tomographic modelling and applications using global positioning system GPS measurements**. 2004. 304 p. Dissertation (PhD in Science) – Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary, Calgary.

MATSUOKA, M. T.; CAMARGO, P. O. Cálculo do TEC usando dados de receptores GPS de dupla frequência para produção de mapa da ionosfera para região brasileira. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 56, n. 1, p. 14-27, jul. 2004.

MATSUOKA, M. T.; CAMARGO, P. O.; BATISTA, I. S. **Análise da ionosfera usando dados de receptores GPS durante um período de alta atividade solar e comparação com dados de digissondas**. Revista Brasileira de Geofísica, 568p, set. 2009

MENDILLO, M.; LIN, B.; AARONS, J. The application of GPS observations to equatorial aeronomy. **Radio Science**. V. 35 (3), p. 885-904, 2000.

MENDONÇA, M. A. M. **Investigação da cintilação Ionosférica no Brasil e seus efeitos no posicionamento por GNSS**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

MONICO, J. F. G., 2008. **Posicionamento pelo GNSS: Fundamentos, Definição e Aplicação**, Editora UNESP, São Paulo, 476 p.

MUSHINI, S. C.; JAYACHANDRAN, P. T.; LANGLEY, R. B.; MACDOUGALL, J. W.; POKHOTELOV, D. Improved amplitude and phase scintillation indices derived from wavelet detrended high latitude GPS data. **GPS Solutions**. V. 16 (3), 2012; p. 363-373.

PEREIRA, V. A. S. **Monitoramento das irregularidades ionosféricas e cintilação dos sinais GNSS: em tempo real e pós-processado**. 2015. 159 f. Dissertação (Mestrado Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estatual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Presidente Prudente.

PI, X.; MANNUCCI, A. J.; LINDQWISTER, U. J.; HO, C. M. Monitoring of global ionospheric irregularities using the worldwide GPS network. **Geophysical Research Letters**, v. 24, n. 18, p. 2283-2286, Sep. 1997.

PROL, F. S. **Tomografia da ionosfera a partir do GNSS e técnicas algébricas: estudo de caso para a região brasileira**. 2015. 94-f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

SKONE, S.; LACHAPELLE, G.; YAO, D.; YU, W.; WATSON, R. Investigation the impact of ionospheric scintillation using a GPS software receiver. In: ION GNSS 2005 CONFERENCE, 2005, Long Beach. Electronic Proceedings… Long Beach, 2005. p. 1-12.

SEEBER, G., 2003. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications**, Walter de Gruyter, Berlin, 589 p.

ZOLESI, B.; CANDER, L. R**. Ionospheric Prediction and Forecasting**. Berlin: SpringerVerlag, 2014, 240 p.

WANNINGER, L. Ionospheric monitoring using IGS data. In: 1993 IGS WORKSHOP, 1993, Berne. **Proceedings…** Berne: Beuther, G.; Brockmann, E., 1993. p. 351-360.

YAMASHITA, C. S. **Efeito das tempestades magnéticas intensas na ionosfera de baixa latitude**. 1999. 75 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

ANÁLISE DA SÉRIE TEMPORAL DO NÍVEL DO MAR DE FORTALEZA POR MEIO DE ONDALETAS: RESULTADOS PRELIMINARES

RAFAEL MARTINS DE CARVALHO ARAÚJO

Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica - CEAC
Monte Carmelo - MG
rafaelmartinsdca@ufu.br

WAGNER CARRUPT MACHADO

Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Faculdade de Engenharia Civil - FECIV
Monte Carmelo - MG
wagnercarrupt@ufu.br

RESUMO - A análise por ondaletas vem sendo utilizada com bastante êxito nas aplicações que envolvem fenômenos lineares ou não-lineares, sendo empregada em pesquisas das mais variadas áreas, incluindo medicina, física, robótica e engenharia. Em geodésia, há registros de sua utilização na análise de dados de altimetria por satélites, coordenadas GNSS (*Global navigation Systems*), redes verticais e variação do nível médio do mar, envolvendo séries temporais de sinais não-estacionários. Este artigo tem como objetivo apresentar a análise preliminar da série temporal da estação da RMPG (Rede Maregráfica Permanente para Geodésia) de Fortaleza, pertencente ao IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), durante o período de 2008 a 2018, por meio da transformada ondaletas, afim de identificar os fenômenos que interferem no nível do mar da referida estação. Os resultados mostram a presença de quatro picos de energia que aumentam gradativamente, sendo suas ocorrências em torno de 16 dias, 34 dias, 270 dias e 500 dias, onde este último não possui confiança estatística.

ABSTRACT - Wavelet analysis has been used successfully in applications involving linear or nonlinear phenomena being used in research in a wide range of areas, including medicine, physics, robotics and engineering. In geodesy, there are records of its use in satellite altimetry data analysis, GNSS coordinates, vertical networks and mean sea level variation, involving time series of non-stationary signals. This paper aims to present the preliminary analysis of the permanent tidal network for geodesy Fortaleza station time series, belonging to IBGE, for the period from 2008 to 2018, by means of the waveform transform, in order to identify the phenomena that interfere in such station sea level. The results show the presence of four peaks of energy that increase gradually, being their occurrences around 16 days, 34 days, 270 days and 500 days, where the latter has no statistical confidence.

1 INTRODUÇÃO

O nível do mar é um parâmetro geofísico fundamental em várias disciplinas das geociências, incluindo oceanografia, climatologia marinha e geodésia. Este parâmetro vem sendo medido por marégrafos localizados na costa dos continentes desde o século 19 e mais recentemente por meio de sensores embarcados em satélites altimétricos como o Topex-Poseidon e as missões JASON (NASA, 2017).

A geodésia é a ciência que se ocupa com o estudo da forma, da dimensão e do campo de gravidade da Terra, bem como dos parâmetros de orientação da Terra no espaço, e suas variações temporais, atualmente se ocupa, também, com a detecção dos efeitos de mudanças globais e da geodinâmica. Os geodesistas assumem que o geoide seja a figura que mais se aproxima da forma da Terra real (VANICECK e KRAKIWSKY, 1986; TORGE, 1991; DREWES, 2006).

Durante muito tempo o geoide foi definido como sendo a superfície equipotencial do campo de gravidade da Terra que mais se aproxima do nível médio dos mares não perturbado (NMM) . Salienta-se que uma abordagem mais moderna define o geoide como sendo a diferença entre o (NMM) e a topografia do nível médio dos mares (TNMM). Portanto, a determinação do NMM é de extrema importância, visto servir como parâmetro essencial para a materialização da origem sistemas de altitude (de FREITAS e BLITZKOW, 1999, SÁNCHEZ, 2009).

O cálculo do NMM é realizado por meio de séries longas de medida do nível do mar ao longo da costa dos continentes. No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio do projeto Rede Maregráfica Permanente para a Geodésia (RMPG), vem realizando observações do nível do mar desde 2001 (IBGE, 2016).

Além da questão geodésica envolvida, a elevação do nível do mar está entre os piores impactos da mudança climática do planeta Terra. Estudos indicam que o nível do mar aumentou em aproximadamente 0,19 m de 1901 a 2010, onde a taxa de aumento é mais intensa entre 1993 a 2010, passando de 1,7 mm/ano para o período todo do estudo para 3,2 mm/ano para o período mais recente (IPCC, 2015). Tais informações sugerem que está havendo uma aceleração no processo de elevação do nível do mar.

Duas causas principais para a elevação do nível mar são o aquecimento do oceano e o degelo das calotas polares. As consequências negativas da elevação do mar são de grande magnitude, uma vez que cerca de 10% da população mundial vive em áreas costeiras (NICHOLLS e CAZENAVE, 2010).

Segundo Barbosa e Blitzkow (2008), a transformada em ondaletas é caracterizada como "uma operação linear utilizada na análise de sinais não-estacionários, com o propósito de extrair informações relevantes acerca das variações em frequência, como também detectar estruturas localizadas no espaço-tempo". Por fornecer o mapa de tempo-escala de um sinal e assim permitir a extração de características que podem variar no tempo, a transformada ondaleta se caracteriza como uma ferramenta ideal para a análise de sinais de natureza transiente ou não estacionária (HOLDEFER e SEVERO, 2015). Por consequência, o estudo desta técnica vem crescendo vertiginosamente por estar aliada a poderosos algoritmos computacionais e ao interesse de uma ampla comunidade, constituindo um núcleo de ideias partilhadas, principalmente, por Físicos, Matemáticos e Engenheiros, entre outros pesquisadores (BARBOSA e BLITZKOW, 2008).

Buscando compreender os efeitos relacionados à variação do nível do mar, alguns estudos recentes foram realizados, destacando-se os trabalhos de Erol (2011) e Frota et al. (2016), que analisaram séries temporais do nível do mar utilizando a transformada ondaleta (*wavelet*), mostrando resultados promissores para esta análise. Neste artigo uma análise inicial da série temporal da estação da RMPG de Fortaleza por meio da transformada ondaleta é apresentada.

2 TRANSFORMADA ONDALETA

Para realização da análise de uma série temporal por meio da transformada ondaleta, um conjunto de funções com forma de pequenas ondas produzidas por translações e mudanças de escala (eq. (2) e (3), respectivamente) são aplicadas a uma função ondaleta base ou ondaleta mãe, resultando nas funções ondaletas filhas pela mudança dos termos k e j. A equação (1) mostra a função ondaleta geradora em conformidade com a função ondaleta mãe (BARBOSA e BLITZKOW, 2008).

$$\psi_{j,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{j}}\psi_0\left(\frac{t-k}{j}\right); j \neq 0 \quad (1)$$

onde: ψ_O representa a função ondaleta mãe, *j* é fator de escala e *k*, o fator de translação. As ondaletas filhas produzidas pela translação e pela mudança de escala são dadas por:

$$\psi_k(t) = \psi_0(t-k) \rightarrow Translação \quad (2)$$

e

$$\psi_j(t) = \frac{1}{\sqrt{j}}\psi_0\left(\frac{t}{j}\right) \rightarrow Escala \ ; j \neq 0 \quad (3)$$

O fator $\frac{1}{\sqrt{j}}$ visa normalizar a energia de cada ondaleta filha de forma que a soma das energias de todas as ondaletas filhas resulte na energia total da transformada.

A análise em ondaletas é feita pela aplicação sucessiva da transformada em ondaletas considerando diversos valores de translação e fator de escala. Esta prática decompõe o sinal original da série temporal em diversas componentes localizadas no tempo e em frequência.

Existem dois tipos de função ondaleta mãe: contínuas e discretas. Além disso, diversas funções foram desenvolvidas dentro destas duas classificações, sendo que cada função proporciona uma melhor ou pior localização nos domínios da frequência e/ou do tempo na análise de uma determinada série temporal. Portanto, a escolha de uma função ondaleta mãe conveniente com o sinal a ser estudado e os objetivos almejados é essencial para se obter sucesso (TORRENCE e COMPO, 1998; BOLZAN, 2004).

Por proporcionar uma ótima representação de sinais não estacionários obtidos na natureza, tais como o nível do mar, a função ondaleta mãe de Morlet foi empregada neste estudo, a qual está classificada como uma função ondaleta mãe do tipo contínua, sendo dada por (TORRENCE e COMPO, 1998):

$$\psi_o(t) = \pi^{\frac{-1}{4}} e^{i\omega_0 t} e^{\frac{-1}{2}t^2} \tag{4}$$

onde ω_o é uma frequência adimensional, normalmente definida como sendo igual a 6, e *t* representa cada valor da série temporal. A transformada em ondaleta de uma série temporal com N elementos (f(t), t=1,...,N) com intervalos de tempo constantes (dt) é definida por (BARBOSA e BLITZKOW, 2008):

$$W_{j,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{j}} \int_{t=1}^{N} f(t)\psi_0^*\left(\frac{t-k}{j}\right)dt \tag{5}$$

Destaca-se que quanto maior o valor de $W_{j,k}(t)$, maior será a similaridade entre a função analisada com a função ondaleta mãe. A transformada em ondaletas decompõe o sinal analisado em diferentes níveis de frequências (resolução), nos quais são mostradas diferentes estruturas físicas do sinal analisado (BARBOSA e BLITZKOW, 2008). A transformada em ondaleta da função f(t) utilizando a função ondaleta mãe de Morlet é dada por:

$$W_{j,k}\left(\frac{t-k}{j}\right) = \frac{\pi^{-1/4}}{\sqrt{j}} \int_{t=-\infty}^{+\infty} f(t) e^{i\omega_0\left(\frac{k-t}{j}\right)} e^{-1/2\left(\frac{t-k}{j}\right)^2} dt \tag{6}$$

Neste artigo, a análise por ondaletas foi executada com a utilização da versão MATLAB do software desenvolvido por Torrence e Compo (1998). Trata-se de um software de código aberto disponibilizado gratuitamente.

3 DADOS

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos da estação de Fortaleza, pertencente à RMPG. Esta rede é operada e mantida pelo IBGE, sendo composta por um conjunto de estações maregráficas distribuídas ao longo da costa brasileira, como mostra a figura 1.

Figura 1: Localização e situação das estações da RMPG

Fonte: IBGE (2018)

Cada estação da RMPG possui marégrafos que coletam observações do nível do mar continuamente, sendo que algumas delas também coletam dados meteorológicos. A tabela 1 mostra a relação dos equipamentos instalados nas estações da RMPG.

Tabela 1- Equipamentos instalados nas estações da RMPG

Estação	**Marégrafo analógico**	**Marégrafo digital**	**Régua Padrão**	**Estação meteorológica**
Santana	Semanal	Pressão	Sim	Sim
Fortaleza	Semanal	Pressão	Sim	Não
Salvador	Semanal	Encoder, radar	Sim	Não
Macaé	Semanal	Pressão	Sim	Não
Imbituba	Semanal	Pressão	Sim	Sim

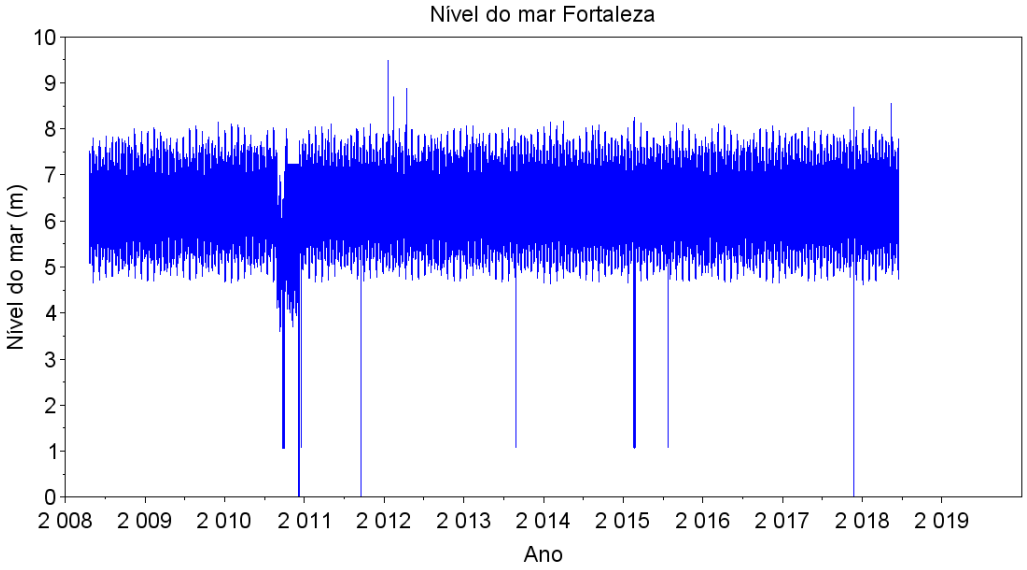
Fonte: O autor

Os dados dos marégrafos digitais da RMPG são armazenados em arquivos diários com frequência de 5 minutos no formato ASCII e posteriormente compactados, os quais estão disponíveis de forma padronizada na área de ftp público do sítio do IBGE na internet.

Devido ao grande volume de arquivos de dados da estação Fortaleza, um script foi desenvolvido para a aquisição e descompactação dos dados de 2008 a 2018. Por fim, os dados foram unidos em um único arquivo, por meio do comando Type do DOS.

Após a união dos arquivos foi realizada uma análise acerca dos erros de sobreposição e quebra de linha, os quais foram removidos para a plotagem da série do nível do mar completa no programa SCILAB, como mostra a figura 2.

Figura 2 - Série temporal para a estação de Fortaleza



Fonte: O autor

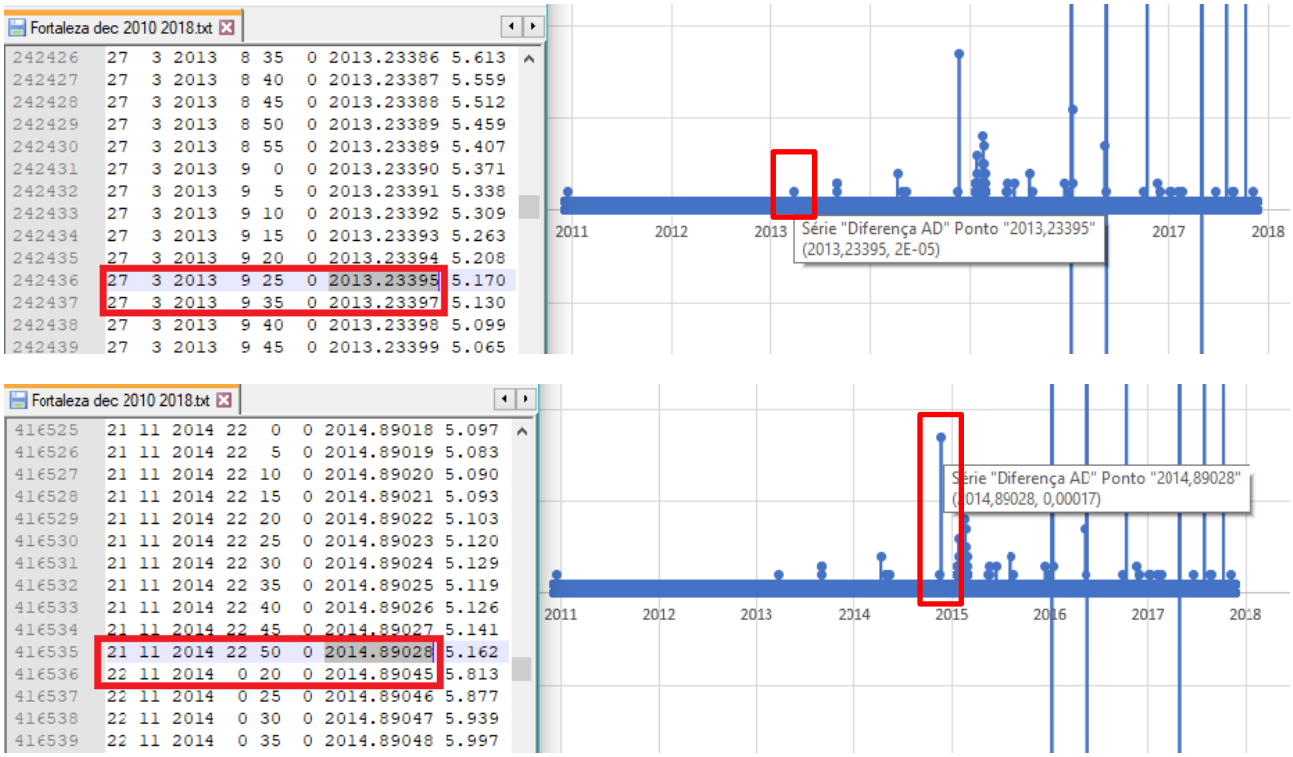
A figura 2 mostra que a série completa do nível do mar da estação Fortaleza apresenta algumas falhas, como o trecho compreendido entre 2010 e 2011, sendo impossível a utilização dos dados anteriores ao ano de 2010 sem alguma intervenção. Além deste trecho, observa-se que há várias ocorrências de falhas pontuais, sendo que em alguns casos o valor do nível do mar registrado é igual a 0.

3.1 ANÁLISE DA CONTINUIDADE DOS DADOS

A execução da transformada ondaleta requer que a série de dados seja contínua. Além das falhas observadas na figura 2, é necessário realizar uma análise mais detalhada sobre a continuidade da série temporal, pois pode haver ausência de observações no decorrer dela, o que não é possível ser visualizado na figura 2.

Considerando o período compreendido entre o final de 2010 até 2018, a série foi analisada por meio da determinação de diferenças entre o tempo registrado em épocas adjacentes, resultando em uma série contendo as diferenças de tempo, onde as descontinuidades temporais são realçadas e mais facilmente identificadas (figuras 3 e 4).

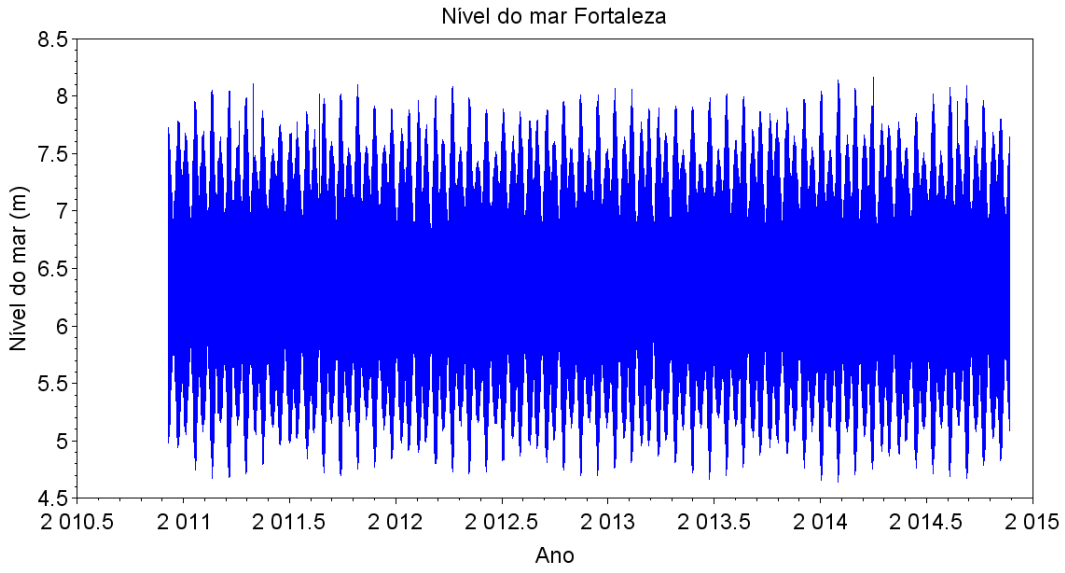
Figura 3 – Série da diferença de tempo entre épocas adjacentes



Fonte: O autor

Após a análise da série de diferença de tempo, o nível do mar foi linearmente interpolado nos casos onde se observou ausências de medida do nível do mar de 5 minutos, 10 minutos e 15 minutos, obtendo-se um valor aproximado para tal grandeza. No caso de ausências maiores, como o de 1 hora e 20 minutos, os valores do nível do mar não foram interpolados utilizando esta aproximação devido a se tratar de uma grandeza com comportamento não linear. Nestes casos, há uma perspectiva de se realizar esta interpolação ajustando um polinômio em trabalhos futuros. A série do nível do mar contínua, resultante desta análise, compreende o intervalo de tempo entre o final do ano de 2010 e final de 2014, como mostra a figura 4.

Figura 4 – Período contínuo da série temporal de Fortaleza



Fonte: O autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta pesquisa, o objeto de estudo é a análise das variáveis que influenciam o nível do mar da estação da RMPG de Fortaleza por meio da transformada de ondaleta. Estas variáveis estão relacionadas com efeitos gravitacionais, principalmente os relacionados à Lua e ao Sol que concernem à rotação e translação da Terra e da Lua, bem como efeitos climáticos, tais como vento e temperatura. Estes eventos causam aumento ou a diminuição da variabilidade de energia do nível do mar, podendo provocar marés altas e baixas, como é o caso da atração gravitacional combinada exercida pela Lua e o Sol sobre a Terra.

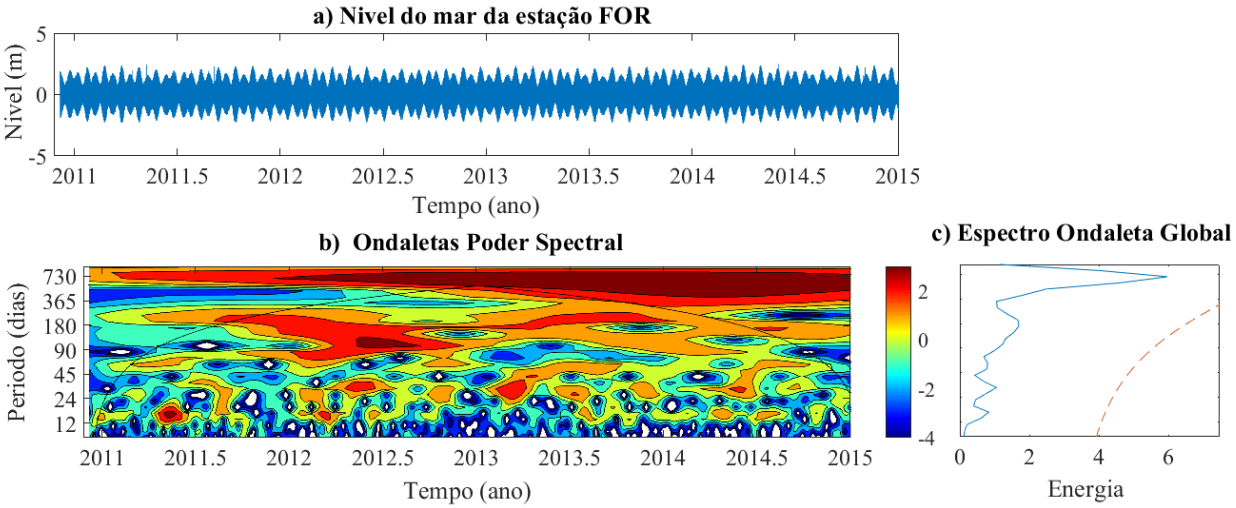
Definido o período continuo da série de medidas do nível do mar da estação Fortaleza (de 2010 a 2014), a análise por meio da transformada ondaleta foi executada com o auxílio da versão em MATLAB do programa desenvolvido por Torrence e Compo (1998).

Três gráficos foram gerados como resultado do processamento dos dados, os quais foram agrupados na figura 5, sendo estes relacionados com informações referentes à série temporal (a), a transformada ondaleta (b) e a quantidade de energia (c). Para tanto, o código original do programa foi alterado para melhor visualização e entendimento dos resultados.

Na figura 5 (b), a linha preta contínua no periodograma se chama cone de influência e os períodos fora desse cone devem ser negligenciados por não possuírem confiança estatística (BARBOSA e BLITZKOW, 2008). Os períodos do Espectro de energia das ondaletas, correspondente ao eixo y, mostram um período de 2 anos, 1 ano, 6 meses, 3 meses, 45 dias, 24 dias e 12 dias, indicados pelos valores plotados, e o eixo x, os anos. Nos anos de 2011.3 a 2011.4, 2012.4 a 2012.7 e 2011.9 a 2015 a variável nível do mar retornou uma grande variabilidade na energia, de abril a maio para um período de 12 a 24 dias, de maio a setembro para um período de 90 a 180 dias e de novembro a dezembro para um período de 365 a 730 dias, respectivamente.

O contorno em azul no Espectro ondaleta global da figura 5 (c) indica os 5 % de significância estatística contra o ruído vermelho, que é definido pela variância e o número de pontos da série original. O espectro ondaleta global determina o período de maior variabilidade de energia de uma série temporal. Observa-se, neste gráfico, que há quatro picos de energia que aumentam gradativamente, sendo suas ocorrências em torno de 16 dias, 34 dias, 270 dias e 500 dias, com valores por volta de 0,8, 1,0, 1,7 e 6,0, respectivamente. Estes valores de energia estão relacionados com a influência das variáveis globais que influenciam o nível do mar, onde o primeiro pico está relacionado ao ciclo lunar. A mudança de fase entre a Lua nova e Lua cheia provoca um aumento de energia, por conta das forças gravitacionais do Sol e da Lua se somarem devido a esses dois corpos celestes estarem praticamente alinhados, aumentando a atração gravitacional neste período. Já os demais picos podem estar relacionados à temperatura e ao vento, como mostrados nos exemplos dos estudos de (BARBOSA e BLITZKOW, 2008) para a temperatura da superfície do mar, bem como os movimentos da Terra e da Lua em torno do seu eixo, como exemplo a nutação e oscilação de Chandler (SANTIAGO, 2005). Embora o pico de 500 dias não possua confiança estatística, por ocorrer fora do cone de influência, alguns estudos sugerem que a oscilação de Chandler tenha duração de 433 dias, dando indícios de que esta esteja relacionada ao maior pico de energia.

Figura 5 – Serie temporal de Fortaleza para o período contínuo (a). Espectro de energia das ondaletas (b) e espectro global das ondaletas (c) para os anos de 2010 a 2014.



Fonte: O autor

5 CONCLUSÕES

A análise por meio da transformada ondaleta se mostra como uma importante ferramenta para a análise da variabilidade de energia de fenômenos não lineares, como o nível do mar. Um estudo foi feito para a série temporal compreendida entre o final de 2010 e final 2014 da estação da RMPG de Fortaleza, utilizando-se o programa disponibilizado por Torrence e Compo (1998).

Os resultados obtidos até o momento mostraram que é possível identificar os períodos de maior e menor energia do nível do mar da estação da RMPG de Fortaleza, sendo possível afirmar as possíveis causas para esta variação, bem como os períodos em que elas ocorrem na escala de tempo.

Estudos mais detalhados devem ser realizados para se chegar a resultados mais sólidos. Para tanto, pretende-se aumentar o período contínuo da série por meio de interpolação polinomial. Além disso, afim de identificar novas causas para a variação do nível do mar, a transformada ondaleta cruzada se mostra uma ferramenta promissora, pois ela relaciona dados de duas ou mais séries temporais, afim de identificar espectros de energia em comum, podendo-se inferir o quanto um evento influencia o outro.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, A. C. B; BLITZKOW, D. **Ondaletas: Histórico e Aplicação**. Apostila, 2008.

BOLZAN, M. J. A. Análise da transformada em ondeletas aplicada em sinal geofísico. **Rev. Bras.Ens. Fis**. v. 26, n. 1, pp 37-41, 2004.

DREWES, H. **The changing objectives in geodetic research.** Zeitschrift für Geodäsie, Geo-Information und Landmanagement, v. 131, n. 5, pp. 1–7, 2006.

EROL, S. Time-frequency analysis of tide gauge sensor data. **Sensors**. v. 11. pp. 3939-3961, 2011.

de FREITAS, S. R. C.; BLITZKOW, D. Altitudes e geopotencial. **IGeS Bulletin – Special Issue for South America**, n. 9, pp. 47-62, 1999.

FROTA, F. F.; TRUCCOLO, E. C.; SCHETTINI, C. A. F. Tidel and sub-tidal sea level variability at the northern shelf of the Brazilian Northeast Region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. v. 88, n. 3, pp. 1371-1386, 2016.

HOLDEFER, A. E.; SEVERO, D. L. Análise por ondaletas sobre níveis de rios submetidos à influência de maré. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 20, n. 1. p. 192-201, 2015

IBGE. **Análise da Variação do Nível Médio do Mar nas estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia – RMPG 2001/2015**. 2016. 61 p. IBGE, Rio de Janeiro.

_____. **Rede Maregráfica Permanente para a Geodésia – RMPG.** 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/informacoes-sobre-posicionamentogeodesico/rede-geodesica/10842-rmpg-rede-maregrafica-permanente-para-geodesia.html>. Acesso em: 15 agosto de 2018.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Suiça, 2015: 151 p.

NASA. **Mission Basics**. 2017. Disponível em <https://sealevel.jpl.nasa.gov/missions/>. Acesso: 15 agosto de 2018.

NICHOLLS, R. J; CAZENAVE, A. Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. **Science**. v.328, pp 1517 – 1520, 2010. DOI: 10.1126/science.1185782

SÁNCHES, L. Strategy to establish a global vertical reference system. **In: Drewes H (ed) Geodetic reference frames, IAG symposia, vol 134**. Springer. pp. 273-278, 2009.

SANTIAGO, B. **Variação de coordendas equatorias: precessão, nutação, movimento do pólo**. 2005. Disponível em < https://www.if.ufrgs.br/oei/santiago/fis2005/textos/precess.htm >. Acesso: 15 agosto de 2018.

TORGE, W. **Geodesy**. New York: W.de Gruyter, 1991.

TORRENCE, C.; COMPO, G. P. A Practical Guide to Wavelet Analysis. **Bull. Amer. Meteor.Soc**., v.79, n.1, pp. 61-78, 1998.

VANICECK, P.; KRAKIWSKY, E. J. **Geodesy: the concepts**. Amsterdam: North Holland, 2 Ed.1986.

ANÁLISE DOS EFEITOS DOS DIFERENTES TIPOS DE EFEMÉRIDES E INFLUÊNCIA DAS MARÉS TERRESTRES NO GAPS PPP

RAIANE RINTIELLE VAZ MENEZES [2]
WILLIAM RODRIGO DAL POZ [1, 2]

Universidade Federal de Viçosa - UFV
Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, MG [1]
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil [2]
raiane.menezes@ufv.br, william.dalpoz@ufv.br

RESUMO - O Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) tem se destacado dentre os métodos de posicionamento principalmente por utilizar informações orbitais e dos relógios dos satélites de alta acurácia. Diante do exposto, resta saber, quais informações proporcionam os melhores resultados, os fornecidos pelo IGS ou pelo NRCan. Além disso, todas as fontes de erro nos sinais GNSS têm que ser consideradas no PPP, como por exemplo, as marés terrestres. Neste contexto, objetiva-se investigar, através do uso do PPP on-line GAPS, as discrepâncias planimétricas e altimétricas da estação GOGY, da RBMC, considerando os processamentos com os produtos: IGS Final, IGS Rápido, NRCan Final, NRCan Rápido (todos considerando os efeitos das marés terrestres) e IGS Final desconsiderando os efeitos das marés terrestres. Os resultados mostram que as discrepâncias obtidas nas análises do IGS Rápido, NRCan Rápido e NRCan Final foram análogas, tanto para a planimetria quanto na altimetria. De modo geral, considerando as efemérides, não houve uma metodologia de processamento que se destacou perante os demais. Em contrapartida, verificou-se que o efeito das marés terrestres afeta consideravelmente as coordenadas da estação caso não seja corrigido no PPP.

ABSTRACT - Precision Point Positioning (PPP) has stood out among the positioning methods mainly because it uses orbital information and high accuracy satellites' clocks. Based on that, analyzing what information provides the best results between IGS and NRCan is very relevant. In addition, all error sources in GNSS signals have to be considered in the PPP, such as, terrestrial tides. In this context, this work aims at investigating the planimetric and altimetric discrepancies of the GOGY station, which is part of the Brazilian Network for Continuous Monitoring of GNSS Systems (RBMC), using online PPP of GAPP service. Data were processed considering IGS Final, IGS Rapid, NRCan Final, and NRCan Rapid, taking terrestrial tide effects into account, and Final IGS, ignoring terrestrial tide effects. The results show that the discrepancies obtained from the IGS Rapid, NRCan Final, and NRCan Rapid data were similar for both planimetry and altimetry components. Overall, considering the ephemeris, none of the processing methodology has stood out compared to the others. However, the terrestrial tide effects considerably affects the coordinates of the station if it is not corrected in the PPP.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é a tecnologia mais utilizada para fins de posicionamento geodésico. Compõem o GNSS vários sistemas de navegação por satélites artificiais globais, regionais e de aumento. Um dos métodos de posicionamento utilizando GNSS, pode ser realizado na forma absoluta (por ponto simples), onde somente um receptor é utilizado e a posição é determinada através de observações de pseudodistância, das posições dos satélites e do sistema de tempo transmitido. O nível de acurácia alcançado neste posicionamento, ainda não é adequado para determinados tipos de levantamentos. Contudo, o pós-processamento das observáveis incluindo a estimativa das efemérides precisas e as correções para os relógios dos satélites possibilitam que a acurácia no posicionamento absoluto passe de metros ao nível de poucos centímetros. Esse método é conhecido como Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) (MONICO, 2008).

O PPP utiliza as efemérides precisas, o referencial vinculado a estas, atualmente, é denominado IGS14. O IGS - Serviço Internacional GNSS (*International GNSS Service*) disponibiliza efemérides precisas dos satélites de três formas; as efemérides IGS (precisas), IGR (rápidas) e IGU (ultra-rápidas), disponibilizadas em um período de 13 dias, 17 horas e 3 horas, respectivamente. Além deste órgão, o NRCan (*Natural Resources Canada*) também disponibiliza efemérides precisas de órbita e relógio GNSS (IGS, 2017).

Para que a metodologia PPP seja utilizada com alta precisão, é necessário considerar os efeitos geodinâmicos e suas variações, como por exemplo os efeitos ocasionados pelo movimento do polo, carga dos oceanos e pelas marés terrestres (MONICO, 2008). Diante disso, pesquisas vem sendo realizadas pela comunidade geodésica, sobre os fatores que degradam o posicionamento, colaborando assim para investigação de fenômenos que ocorrem na litosfera. Um desses fenômenos que desencadeia deformações no corpo elástico da Terra e variações no geopotencial são as marés terrestres. Segundo Xu (2007) as mesmas são causadas pela interação gravitacional da Terra com a Lua e o Sol, devido ao movimento de rotação do planeta. Além de que em qualquer análise de coordenadas geodésicas, é importante considerar a correção do efeito das marés terrestres, uma vez que pode afetar a posição instantânea das estações (MONICO, 2008).

Com a facilidade que a internet oferece, têm-se disponíveis serviços de PPP online, que vem ganhando destaque na geodesia em razão da praticidade e bons resultados oferecidos. Vale lembrar que atualmente tem-se disponível vários tipos desses serviços, onde se destacam: CSRS-PPP, IBGE-PPP, APPS, magicGNSS e GAPS (UNB, 2017; IBGE, 2017).

O serviço GAPS (*GNSS Analysis and Positioning Software*) fornece aos usuários coordenadas precisas usando um único receptor GNSS, tanto em modo estático quanto cinemático. Através da modelagem e/ou correções de várias fontes de erros, e do uso de produtos de órbita e relógios específicos fornecidos por fontes como o IGS e o NRCan, é possível atingir posicionamento em nível centimétrico no modo estático e decimétrico em modo cinemático. Foi inicialmente desenvolvido em 2007 na UNB (*University of New Brunswick - Canadá*), a fim de fornecer aos usuários uma ferramenta PPP on-line gratuita e capaz de estimar posições e outros parâmetros de interesse. Este serviço processa estritamente arquivos de observação GNSS de dupla frequência e dispõe de duas opções de submissão de arquivos; o modo básico e o modo avançado. Neste último é possível configurar parâmetros como: produtos de órbita e relógio dos satélites, calibração da antena do receptor, tipo de posicionamento, atraso troposférico dentre outros. Como resultado gera um relatório que é enviado para o e-mail do usuário contendo as coordenadas cartesianas e elipsoidais resultantes e alguns gráficos dos resíduos, atraso ionosférico e troposférico.

Considerando que o PPP é um método altamente em evidência, este trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa que visa a avaliação das discrepâncias planimétrica e altimétrica em função dos processamentos com os produtos: IGS Final, IGS Rápido, NRCan Final, NRCan Rápido (todos considerando o efeito das marés terrestres) e IGS Final desconsiderando o efeito das marés terrestres, por meio do serviço de posicionamento gratuito *online* GAPS. Para isso, foram utilizados dados GNSS da estação GOGY, pertencente a RBMC (Rede de Monitoramento Contínuo de Sistemas GNSS), abrangendo os 31 dias do mês de dezembro de 2016, com 24 horas de rastreio.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas observáveis GPS de arquivos em formato RINEX da estação GOGY, com intervalo de rastreio de 24 horas em um período de 31 dias referentes ao mês de dezembro de 2016 (DOY – *Day of Year* 336 - 366).

Os arquivos RINEX foram obtidos através do sitio do IBGE, onde disponibiliza dados de todas as estações pertencentes a RBMC do IBGE, juntamente com o descritivo da estação em estudo, onde contém informações dos equipamentos e coordenadas referenciadas ao SIRGAS2000 (Época 2000,4).

Foram definidas 5 estratégias, nas quais foram processados utilizando as diferentes orbitas disponíveis:

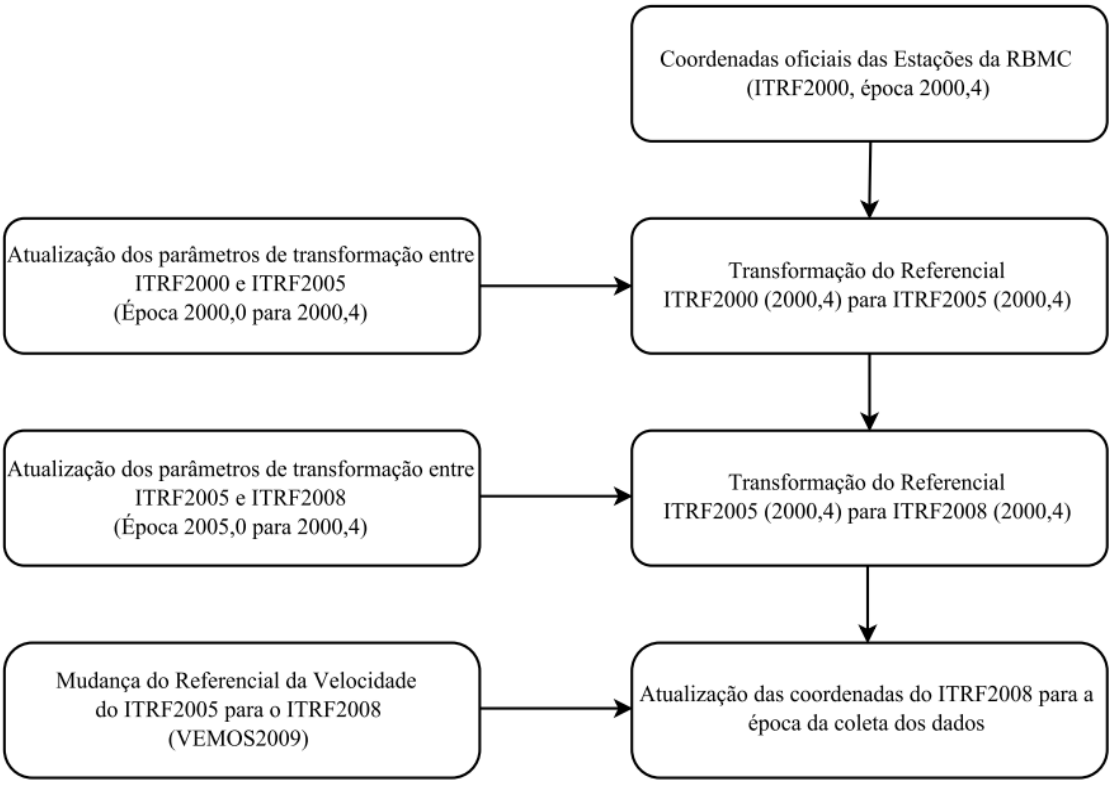
- IGS Final;
- IGS Rápido;
- NRCan Final;
- NRCan Rápido;
- IGS Final desconsiderando o efeito das marés terrestres.

Vale ressaltar que desde o dia 07/10/2012 (semana GPS 1709) até o dia 28/01/2017 (semana GPS 1933), o sistema de referência vinculado as efemérides precisas era o IGb08, o qual é alinhado ao ITRF2008 (REBISHCHUNG, 2012). Desta forma, as coordenadas estimadas pelo GAPS estarão referenciadas ao IGb08(ITRF2008), na época de coleta dos dados (2016,96). A época 2016,96 se refere à época média do mês de dezembro.

As coordenadas contidas no descritivo das estações da RBMC se encontram no sistema de referência oficial do Brasil, que é o SIRGAS2000, época 2000.4, no qual é uma densificação regional do ITRF2000 na época 2000,4 (SIRGAS, 2016). Assim, torna-se necessária a realização da transformação de referencial do SIRGAS2000 (ITRF2000), para IGb08 (ITRF2008) e atualização de coordenadas para compatibilizar a época de referência (2000,4) para época do levantamento dos dados (2016,96).

A Figura 1 apresenta um resumo dos principais passos para transformação e atualização das coordenadas de referência.

Figura 1 – Esquema da atualização e transformação das coordenadas de referência



Na atualização de coordenadas de uma época para outra é necessário considerar o deslocamento da placa tectônica que se encontra a estação GNSS. Para isso são utilizados modelos de velocidade das placas tectônicas da região de interesse, a fim de estimar as componentes da velocidade da estação (MONICO, 2008). O Modelo de Velocidade para a América do Sul e Caribe (VEMOS2009), o qual deverá ser utilizado na área de abrangência do SIRGAS, está vinculado ao ITRF2005 (DREWES e HEIDBACH, 2012), desta forma é necessário modificar o referencial de velocidade do ITRF2005 para o ITRF2008.

Foi realizada a transformação das coordenadas de referência cartesianas para coordenadas geodésicas (φ, λ), considerando o elipsoide GRS80. Ressaltando que foi empregando o *software* Matlab versão R2012b (licença do Departamento de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Viçosa) para a transformação de referenciais e atualização de coordenadas, além dos cálculos das discrepâncias planimétricas e altimétricas. No processo de transformação de referencial foram utilizados os parâmetros de transformação disponibilizados no seguinte endereço eletrônico: http://itrf.ign.fr/trans_para.php.

No cálculo da discrepância da resultante planimétrica, foram utilizadas as coordenadas geodésicas (φ, λ). As Equações 1 a 5 demonstram como foram obtidas as discrepâncias da resultante planimétrica em unidades métricas.

$$\begin{vmatrix} \Delta_{\varphi(graus)} \\ \Delta_{\lambda(graus)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \varphi_{(estimada)} & - & \varphi_{(referência)} \\ \lambda_{(estimada)} & - & \lambda_{(estimada)} \end{vmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{vmatrix} \Delta_{\varphi(metros)} \\ \Delta_{\lambda(metros)} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} M * \Delta_{\varphi(rad)} \\ N * cos\varphi * \Delta_{\lambda(rad)} \end{vmatrix} \quad (2)$$

Sendo M o raio de curvatura da seção meridiana e N o raio de curvatura da seção primeiro vertical.

$$M = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 sen^2\varphi)^{\frac{3}{2}}} \quad (3)$$

$$N = \frac{a}{(1-e^2 sen^2\varphi)^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

$$e^2 = \frac{a^2-b^2}{a^2} \quad (5)$$

Onde:
e^2: Segunda excentricidade;
a: 6.378.137,000 m (semi-eixo maior do GRS80);
b: 6.356.752,314 m (semi-eixo menor do GRS80);
ϕ: latitude média das coordenadas estimadas.

A discrepância planimétrica em metros é dada pela Equação 6:

$$T = \sqrt{\Delta^2_{\varphi(metros)} + \Delta^2_{\lambda(metros)}} \quad (6)$$

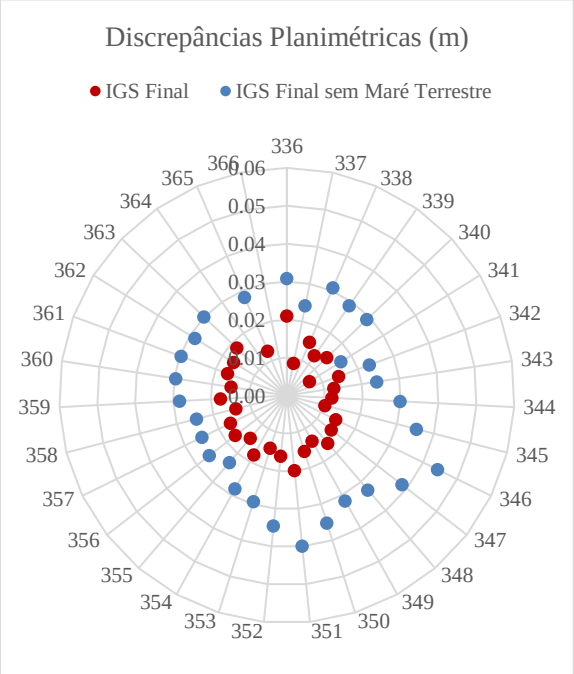
Para a altimetria não é necessário a transformação de coordenadas, pois essa não sofre influência significativa, logo a discrepância altimétrica em metros é calculada pela Equação 7:

$$\Delta_{h(metros)} = h_{(estimado)} - h_{(referência)} \quad (7)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados baseiam-se nas análises das discrepâncias obtidas entre as coordenadas de referência, transformadas e atualizadas, e as coordenadas estimadas, de acordo com a proposta deste trabalho. Desta forma, as discrepâncias foram calculadas no mesmo sistema e época de referência, minimizando os efeitos de deslocamento da placa Sul Americana. Os resultados referentes às discrepâncias da componente planimétrica (φ, λ) para cada estratégia realizada, foram ilustradas através das figuras a seguir, que são constituídas de três gráficos do tipo radar e um de dispersão. Os gráficos foram construídos com escala em unidade métrica, no valor de 0,06 metros. Vale ressaltar que nos DOY 364 e 366 (antepenúltimo e último dia do mês) não foram processados pelo GAPS.

Figura 2 – Discrepâncias planimétricas do IGS Final e IGS Final desconsiderando efeitos das marés terrestres



Na Figura 2, pode-se observar que a estratégia, do IGS Final nos quais foram desconsiderados o efeito de marés terrestres, apresentaram os maiores valores de discrepâncias, tendo como média o valor de 0,029 m e a maior discrepância no DOY 346 com 0,044 m. Já para a estratégia do IGS Final (considerando os efeitos de marés terrestres) encontrou-se um média de 0,015 e a maior discrepância no DOY 336 com 0,020 m. Isto mostra a importância da consideração dos efeitos da maré terrestre no posicionamento de precisão.

Analisando a Figura 3, nota-se que apesar das diferentes estratégias de processamento, IGS Rápido, NRCan Rápido e NRCan Final, os resultados foram semelhantes entre as mesmas. Tendo como média o valor de 0,013 m e a maior discrepância no DOY 361 com 0,021 m. Somente no DOY 358 o processamento do NRCan Final apresentou discrepância diferente das demais.

Figura 3 – Discrepâncias planimétricas do IGS Rápido, NRCan Final e NRCan Rápido

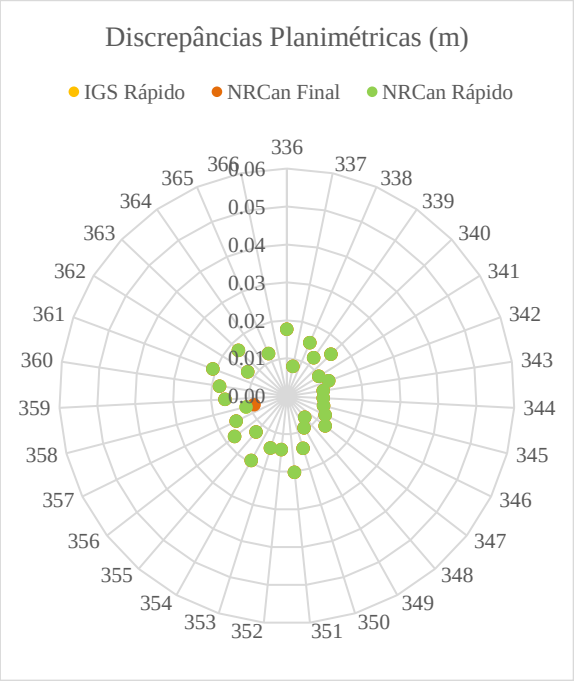
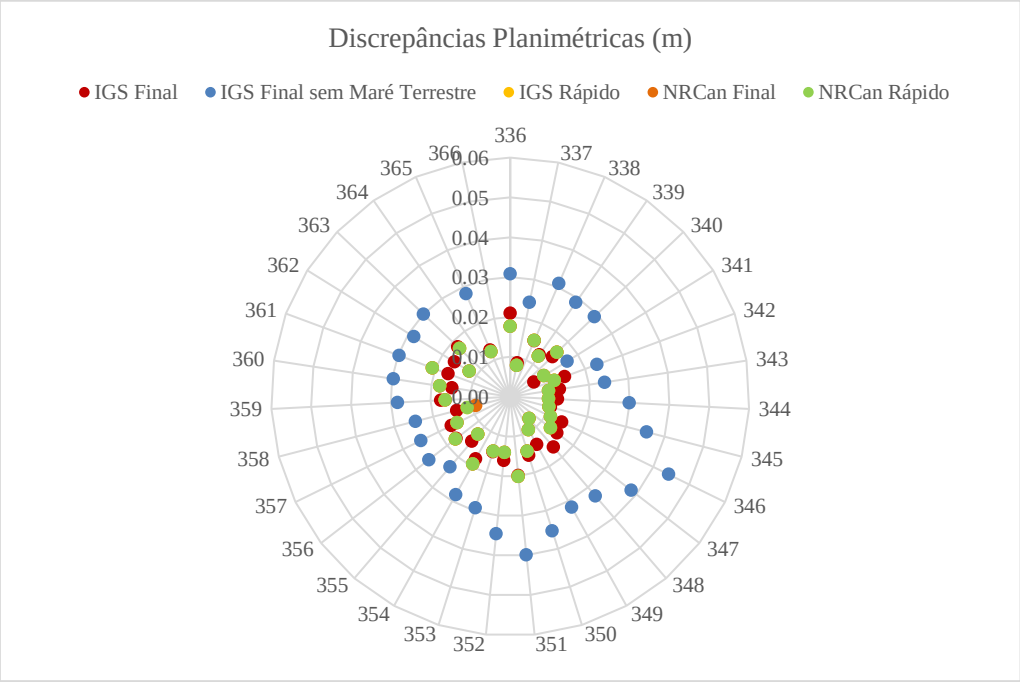


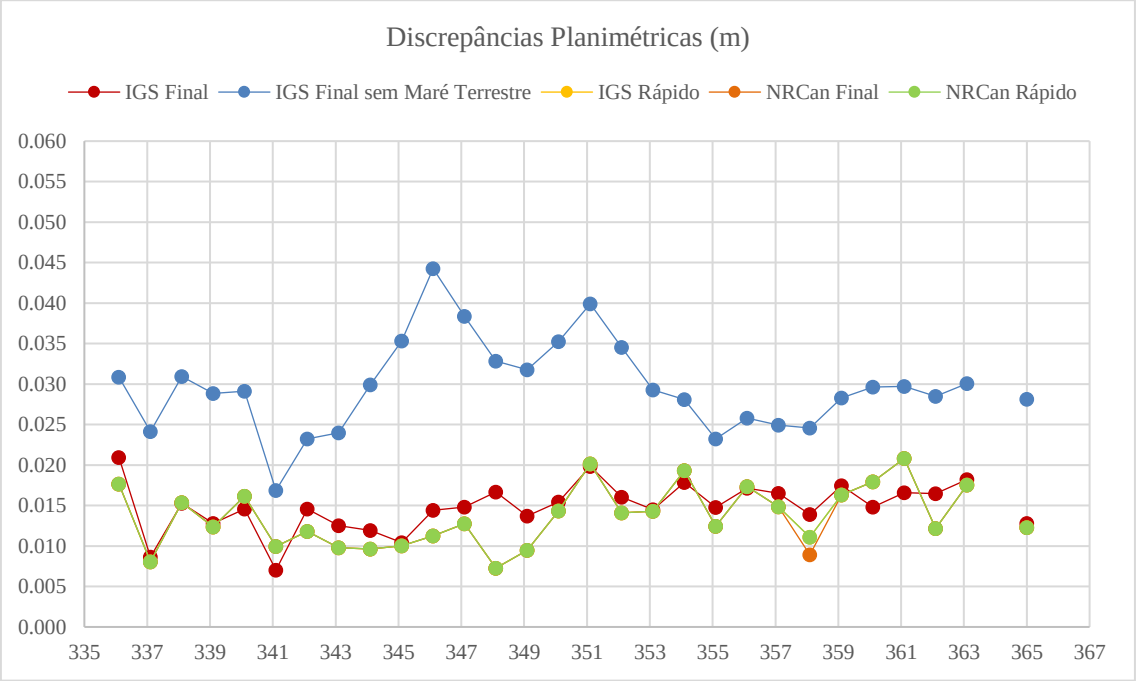
Figura 4 – Discrepâncias planimétricas de todas as estratégias em gráfico de radar



As Figuras 4 e 5, ilustram as discrepâncias de todas as estratégias juntas, verificando que os processamentos IGS Rápido, NRCan Rápido e NRCan Final mantiveram próximos aos valores do processamento do IGS Final. No gráfico de dispersão (Figura 5) pode-se observar melhor os dias quer não houveram processamentos, como mencionado anteriormente; e o quanto a estratégia do IGS Final desconsiderando o efeito de marés terrestres apresentaram as maiores discrepâncias em relação as demais, novamente fica evidente a importância da modelagem dos efeitos das marés terrestres no processamento dos dados.

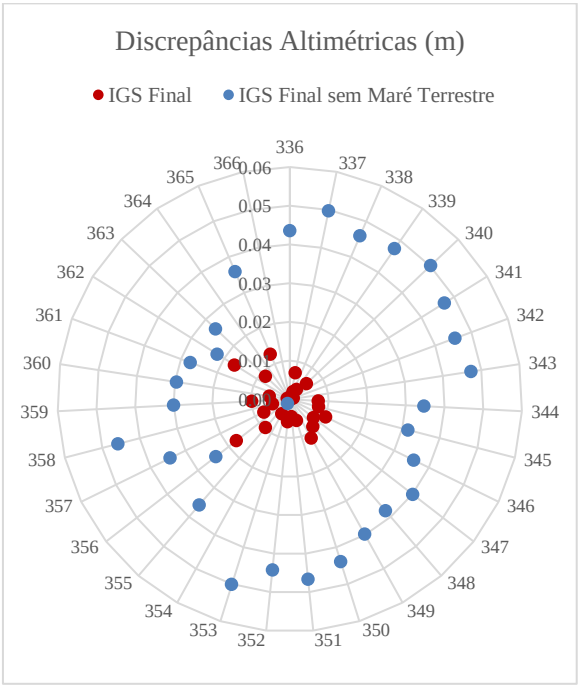
No caso da planimetria, 80% dos resultados apresentaram os menores valores de discrepâncias nos processamentos com IGS Rápido, NRCan Rápido e NRCan Final e 20% para o IGS Final.

Figura 5 – Discrepâncias planimétricas de todas as estratégias em gráfico de dispersão



Os resultados referentes as discrepâncias da componente altimétrica (h), para cada estratégia realizada, foram ilustradas através das Figuras 6, 7, 8 e 9, que são constituídas de três gráficos do tipo radar e um de dispersão. Os gráficos foram construídos com escala em unidade métrica, no valor de 0,06 metros.

Figura 6 – Discrepâncias altimétricas do IGS Final e IGS Final desconsiderando efeitos das marés terrestres



Da mesma forma que na planimetria, os resultados referentes às discrepâncias altimétricas também apresentaram os maiores valores de discrepância na estratégia do IGS Final desconsiderados os efeitos de marés terrestres, tendo como média o valor de 0,038 m e a maior discrepância no DOY 353 com 0,050 m. Apesar desta estratégia apresentar os maiores valores, no DOY 354 a discrepância do IGS Final (desconsiderando os efeitos de marés terrestres) foi menor do que o IGS Final (considerando os efeitos de marés terrestres); com 0,012 m e 0,042 m respectivamente. Analisando a estratégia

do IGS Final (considerando os efeitos de marés terrestres) encontrou-se um média de 0,006 m e a maior discrepância no DOY 356 com 0,017 m.

Figura 7 – Discrepâncias altimétricas do IGS Rápido, NRCan Final e NRCan Rápido

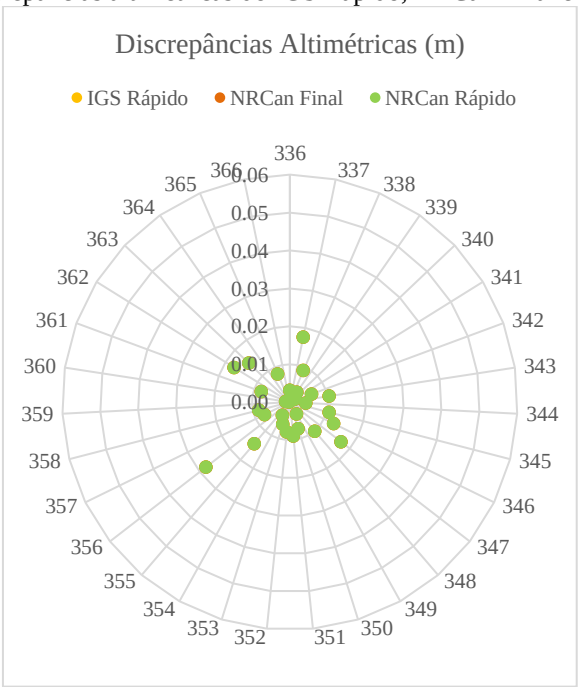
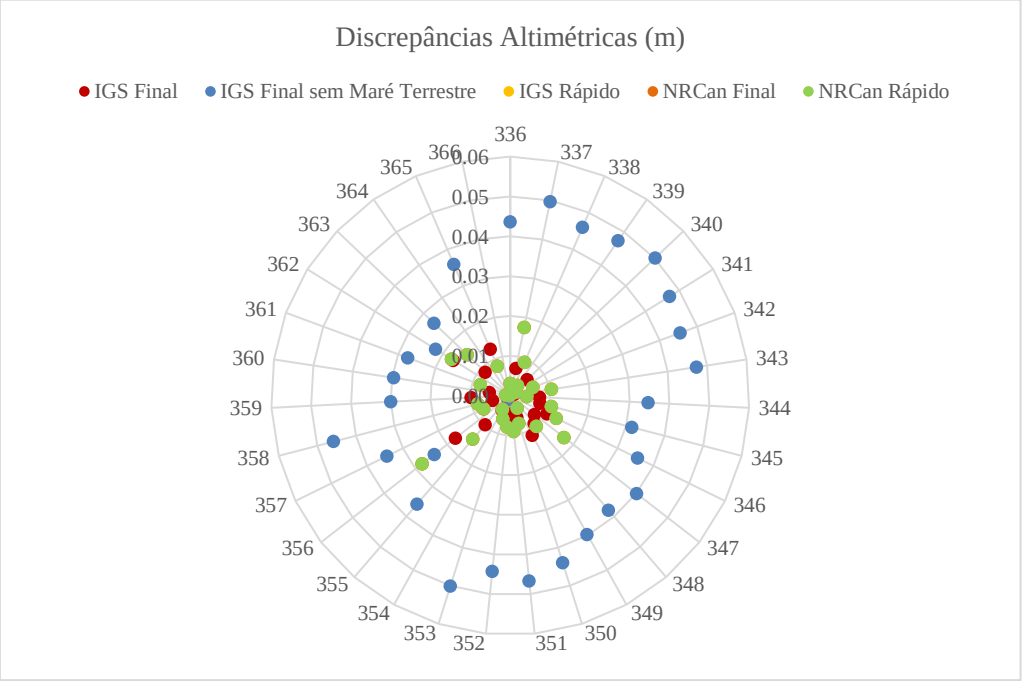


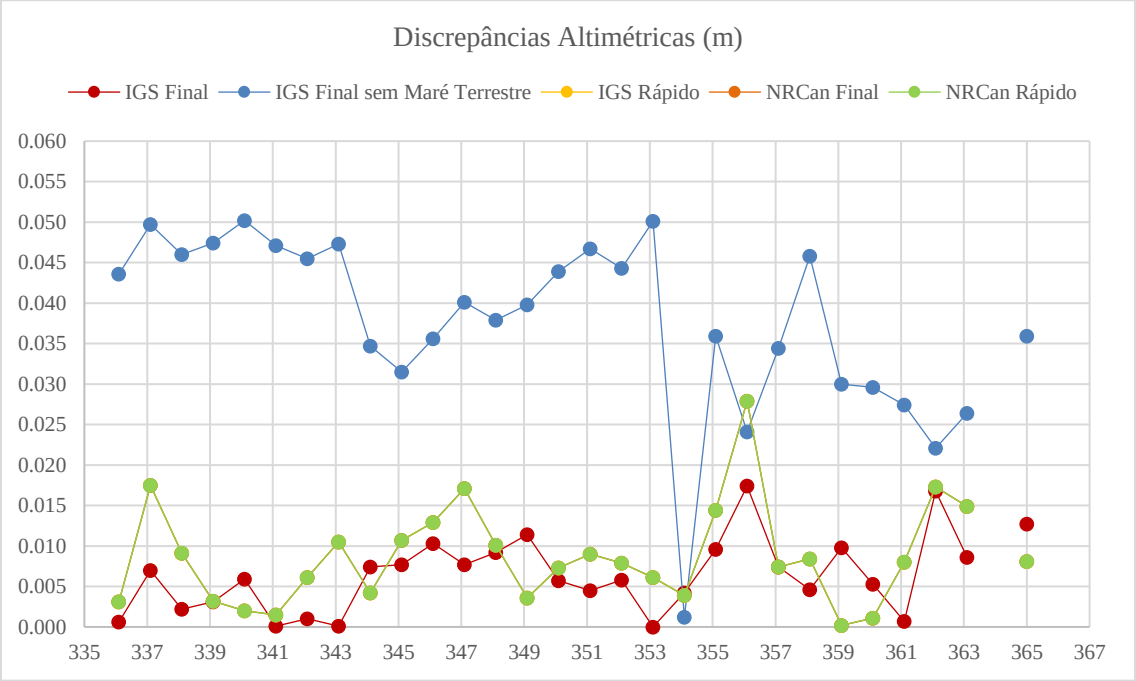
Figura 8 – Discrepâncias altimétricas de todas as estratégias em gráfico de radar



Novamente observa-se na figura 7, que as diferentes estratégias de processamento, IGS Rápido, NRCan Rápido e NRCan Final, apresentaram resultados semelhantes. Apresentando uma média das discrepâncias de 0,009 m.

As Figuras 8 e 9, se referem a comparação entre todas as estratégias realizadas. Observa-se que o processamento do IGS Final desconsiderando os efeitos das marés terrestres foi responsável pelas maiores discrepâncias em relação aos demais, como esperado. Para a altimetria foram observadas as menores discrepâncias em 76% no IGS Final e 24% nos processamentos do IGS Rápido, NRCan Rápido e NRCan Final.

Figura 9 – Discrepâncias altimétricas de todas as estratégias em gráfico de dispersão



4 CONCLUSOES

No total foram obtidos dados para os 31 dias de dezembro de 2016, porém não foi possível processar os dados referentes aos dias 364 e 366, estando estes ausentes dos gráficos referentes aos resultados.

Conforme com os resultados obtidos no GAPS PPP *online*, a estratégia de processamento do IGS Final sem correção das marés terrestres implicou em uma diferença nas discrepâncias planimétricas em média de 3 cm e altimétricas cerca de 4 cm a mais que o IGS Final (considerando o efeito das marés terrestres). Desta forma, verifica-se que o efeito das marés terrestres afeta consideravelmente as coordenadas da estação caso não seja corrigido no processamento dos dados, considerando a metodologia PPP.

De modo geral, nenhum dos produtos analisados se destacou perante os demais. Conforme verificou-se que na planimetria as estratégias IGS Rápido, NRCan Rápido e NRCan Final se sobressaíram com 80%, das menores discrepâncias, em relação as discrepâncias da estratégia IGS Final; e já na altimetria verifica-se o contrário, com 76% das menores discrepâncias na estratégia do IGS Final. Lembrando, que as discrepâncias obtidas nas análises do IGS Rápido, NRCan Rápido e NRCan Final foram análogas, tanto para a planimetria quanto na altimetria.

Ressalta-se que não foram identificados os motivos pelos quais as estratégias; IGS Rápido, NRCan Final, NRCan Rápido apresentaram valores semelhantes como resultado.

AGRADECIMENTOS

Este estudo contou com o incentivo da Universidade Federal de Viçosa através do Departamento de Engenharia Civil (DEC), curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil que disponibilizaram seus equipamentos, instalações e aplicativos computacionais.

Ao apoio financeiro concedido pela CAPES através do consentimento da bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS

DREWES, H., O. HEIDBACH. The 2009 Horizontal Velocity Field for South America and the Caribbean. In: Kenyon S., M.C. Pacino, U. Marti (Eds.), **"Geodesy for Planet Earth", IAG Symposia**, 136: 657-664. 2012.

IBGE. **Manual do Usuário. Aplicativo Online IBGE-PPP**. Disponível em: < https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual_ppp.pdf>. Acesso: maio de 2017.

IGS. **International GNSS Service**. Disponível em: < http://www.igs.org/products> Acesso: maio de 2017.

ITRF. **International Terrestrial Referece Frame**, 2017. Disponível em: <http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2008/ITRF2008.php>. Acesso: maio de 2017.

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora Unesp, 476 p., 2008.

NRCAN - NATURAL RESOURCE CANADA. **CSRS-PPP an online Global GPS Processing Service**. Canadian Spatial Reference System, Geodetic Survey Canada. 2009. Disponível em: < http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/geodetic-reference-systems/9052>. Acesso: abril de 2017.

REBISCHUNG, P. **IGb08: an update on IGS08.** [IGSMAIL-6663] - 2012. Disponível em: < https://igscb.jpl.nasa.gov/pipermail/igsmail/2012/007853.html>. Acesso: abril de 2017.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods, and applications.** 2nd.ed., Berlin, New-York:Walter de Gruyter,2003.

SIRGAS (2016). **SIRGAS 2000**. Disponível em: < http://www.sirgas.org/index.php?id=77 > Acesso: maio de 2017.

UNB. **The Precise Point Positioning Software Centre.** Disponível em: < http://www2.unb.ca/gge/Resources/PPP/OnlinePPPs.html>. Acesso: maio de 2017.

VEMOS 2009. **Modelo de Velocidade do SIRGAS**. Disponível em: < http://www.sirgas.org/index.php?id=54 > . Acesso: maio de 2017.

XU, G. **GPS, Theory, Algorithms and Applications**, 2nd Edition, Springer, 2007.

AS INTERAÇÕES ENTRE CINTILAÇÃO IONOSFÉRICA, MULTICAMINHO E PERDAS DE CICLO: ESTUDO DE CASO

CAIO HENRIQUE CHRISÓSTOMO MENDONÇA[1]
DANIELE BARROCA MARRA ALVES[2]
VILMA MAYUMI TACHIBANA[3]

Universidade Estadual Paulista – UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT
[1] Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Presidente Prudente, SP
[2] Departamento de Cartografia, Presidente Prudente, SP
[3] Departamento de Estatística, Presidente Prudente, SP
caiomendonca94@gmail.com, daniele.barroca@unesp.br, vilma.tachibana@unesp.br

RESUMO – Para o posicionamento de alta acurácia é empregado a observável fase da onda portadora, que pode sofrer perdas de ciclos durante o rastreamento do sinal devido a propagação na atmosfera, ocasionadas por obstrução do sinal. Visando o maior entendimento da relação entre a ocorrência de perdas de ciclo e suas causas, este trabalho empregou dados de cintilação ionosférica, multicaminho, posição do satélite e ocorrência de perdas de ciclo para 02 horas de observação no satélite GPS 19 fazendo uso de diferentes técnicas de análise multivariada: analise de componentes principais, análise fatorial e análise de agrupamentos. No que se refere a análise de agrupamentos, esta apresentou-se interessante para o entendimento da interação entre as variáveis, mostrando que o índice de cintilação tem forte associação com a posição do satélite, que o multicaminho atua de forma isolada, e que as perdas de ciclo ocorrem em função das variáveis anteriormente citadas. Com relação a análise de componentes principais e análise fatorial, verificou-se que as variáveis originais consideradas podem ser representadas em 4 variáveis hipotéticas, garantindo 74,6% das variabilidades amostrais originais, caracterizadas por: posição do satélite, multicaminho, cintilação ionosférica e perdas de ciclo.

ABSTRACT - For high-accuracy positioning is used the carrier phase observable, which can suffer cycle slips during the tracing of the signal due the propagation in the atmosphere, caused by signal obstruction. In order to better understand the relationship between the occurrence of cycle slips and their causes, this research used ionospheric scintillation, multipath, satellite position and occurrence of cycle slips data for 02 hours of observation in the GPS 19 satellite using different techniques of multivariate analysis: principal components analysis, factor analysis and cluster analysis. In relation to cluster analysis, this method showed to be interesting for the understanding of the iteration between the variables, showing that the scintillation index has a strong association with the satellite position, that the multipath operates in isolation, and that the cycle slips depend on the variables mentioned above. With regard to the principal components analysis and factorial analysis, it was verified that the original variables considered can be represented in 4 hypothetical variables, ensuring that 74.6% of the original sample variabilities, characterized by: satellite position, multipath, ionospheric scintillation and cycle slips.

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, a realização do posicionamento, ou seja, determinar as coordenadas de um objeto em relação a um referencial específico, é uma tarefa relativamente simples devido aos sistemas de posicionamento por satélites artificiais, o GNSS (*Global Navigation Sattelite Systems*). Por meio dos sinais GNSS, além da posição, dada em coordenadas cartesianas, é possível a obtenção de informações de Atraso Zenital Troposférico (*Zenith Tropospheric Delay* – ZTD), Conteúdo Total de Elétrons (*Total Electron Contents* – TEC), índices de irregularidades ionosféricas, índices de multicaminhamento do sinal, entres outras informações.

As observáveis básicas empregadas no posicionamento por satélites são a pseudodistância e a fase da onda portadora. Quando se trata de posicionamento de alta acurácia, como no posicionamento cinemático em tempo real (RTK – *Real Time Kinematic*) e posicionamento por ponto preciso, sempre é empregada a observável da fase da onda portadora, uma vez que os dados de fase são muito mais precisos do que da pseudodistância (SEEBER, 2003; MONICO, 2008).

Contudo, a medida da fase pode sofrer perdas de ciclos durante o rastreamento do sinal, dificultando a solução do vetor das ambiguidades. Uma perda de ciclo é uma descontinuidade do número inteiro de ciclos na fase da onda portadora, causando uma interrupção temporária de rastreamento do receptor. Tal interrupção pode ser ocasionada por diversos fatores: obstruções causadas por objetos, cintilação ionosférica, baixo ângulo de elevação do satélite, entre outros. De acordo com Seeber (2003) a amplitude pode variar de um a milhões de ciclos.

Os sinais emitidos pelos satélites se propagam pela atmosfera dinâmica, sofrendo diferentes tipos de influências até a recepção do sinal no receptor, sendo os principais erros envolvidos na propagação do sinal devido a ionosfera, troposfera e o multicaminhamento do sinal (SEEBER, 2003).

Visando um maior entendimento da ocorrência de perdas de ciclo, é de fundamental importância realizar uma análise desta com respeito as suas causas, principalmente no que concerne a cintilação ionosférica, ao multicaminho e a posição do satélite. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo realizar a análise conjunta destas variáveis fazendo uso de dados de observação coletados em uma estação da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS), de responsabilidade do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia a e Estatística) para um satélite da constelação GPS (*Global Positioning System*) no dia 3 de março de 2014. Para isso, foram empregadas as seguintes técnicas de análise multivariada: análise de componentes principais, análise fatorial e análise de agrupamentos

2 CONCEITUAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão apresentados conceitos importantes para o entendimento do presente trabalho.

2.1 Índices de cintilação ionosférica

A camada ionosférica, composta basicamente por elétrons, abrange a região compreendida de 50 a 1000 km de altitude aproximadamente. Conforme Seeber (2003), essa camada é severamente afetada pela atividade solar e influencia a propagação das ondas de rádio, agindo como um meio dispersivo, ou seja, a refração depende da frequência do sinal.

As cintilações ionosféricas são mudanças rápidas que ocorrem na fase e amplitude do sinal recebido, as quais são causadas por irregularidades na densidade de elétrons ao longo do caminho percorrido pelo sinal na ionosfera, podendo enfraquecer o sinal recebido pelos receptores GNSS, fazendo com que ocorra em muitos casos a degradação ou até mesmo perda do sinal (CONKER et al., 2003). Assim, foram desenvolvidos índices de cintilação com o objetivo de quantificar a intensidade da cintilação ionosférica. Os principais indicadores conhecidos e utilizados são os índices $S4$ e σ_{Φ}.

O índice S4 consiste no desvio padrão normalizado das observações da intensidade do sinal, sendo um indicador da magnitude de cintilações em amplitude. Devido ao não fornecimento da intensidade do sinal nos arquivos RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) de observação, Pereira (2005) apresenta uma forma de obter uma estimativa compatível com o índice S4 utilizando medidas padronizadas de SNR (*Signal to Noise Ratio*) disponibilizadas pelo arquivo RINEX, o índice S_{SNR}, considerando um intervalo de tempo de um minuto é dado por:

$$S_{SNR} = \sqrt{\frac{\langle SNR^2 \rangle - \langle SNR \rangle^2}{\langle SNR \rangle^2}}, \quad (1)$$

onde ⟨ ⟩ representa a média.

A cintilação em amplitude pode ser classificada em: fraca: 0,025 < S_{SNR}; moderada: 0,025 < S_{SNR} < 0,05; e forte se S_{SNR} > 0,05. No entanto, quando há disponibilidade do uso de S4, o mesmo deve ter prevalência, haja vista que o S_{SNR} trata-se de um índice adaptado, obtido de medidas de SNR que por sua vez já sofreram uma padronização e perderam um pouco da sua variabilidade.

As cintilações de fase acontecem devido as rápidas variações na fase do sinal quando percorre as irregularidades na densidade do plasma ionosférico (PEREIRA; CAMARGO, 2016). As cintilações de fase são quantificadas pelo índice σ_{Φ}, que consiste no desvio padrão das observações da fase no sinal livres de tendência (Φ_e), as quais são coletadas em um intervalo de 60 segundos. O cálculo do σ_{Φ} é dado por:

$$\sigma_{\Phi} = \sqrt{\langle \Phi_e^2 \rangle - \langle \Phi_e \rangle^2}, \quad (2)$$

onde ⟨ ⟩ representa a média.

Hegarty et al. (2001, apud PEREIRA, 2015) classificam a cintilação em: muito fraca: 0,05 rad < σ_{Φ} ≤ 0,2 rad; fraca: 0,2 rad < σ_{Φ} ≤ 0,3 rad; moderada: 0,3 rad < σ_{Φ} ≤ 0,6 rad; e forte: σ_{Φ} > 0,6 rad.

2.2 Multicaminhamento do sinal GNSS

Os sinais recebidos pela antena do receptor podem ser advindos diretamente dos satélites, ou em alguns casos, advindos de sinais refletidos em superfícies vizinhas a estas (MONICO, 2008). Estes sinais refletidos são chamados de multicaminhamento, ou multicaminho.

Uma indicação do nível de multicaminho em uma estação pode ser obtida por meio dos valores de MP1 e MP2 que se referem, respectivamente, ao multicaminho em L1 e L2. As combinações lineares para obtenção de MP1 e MP2 são dadas por:

$$MP1 = PD_{L1} - \left(1 + \frac{2}{\alpha-1}\right)\varphi_{L1} + \left(\frac{2}{\alpha-1}\right)\varphi_{L2}, \quad (3)$$

$$MP2 = PD_{L2} - \left(\frac{2\alpha}{\alpha-1}\right)\varphi_{L1} + \left(\frac{2\alpha}{\alpha-1}\right)\varphi_{L2}, \quad (4)$$

sendo PD_{L1} e PD_{L2} as medidas de pseudodistância para L1 e L2; $\alpha = (f_{L1}^2/f_{L2}^2)$, em que f_{L1}^2 e f_{L2}^2 são as frequências em L1 e L2; e φ_{L1} e φ_{L2} as medidas de fase em L1 e L2.

2.3 Perdas de ciclo

Uma perda de ciclo é uma descontinuidade de um número inteiro de ciclos na fase da onda portadora causada por alguma interrupção no rastreio. Quando ocorre uma perda de ciclo, ela ocasiona uma mudança (salto) no número inteiro de ciclos (SEBEER, 2003), alterando assim o número de ambiguidades, sendo necessário solucioná-las novamente. Neste sentido, faz-se necessário a detecção e correção de perdas de ciclos, quando possível, na observável de fase para a realização do posicionamento GPS de alta acurácia.

Vários algoritmos foram propostos e implementados para a detecção e correção das perdas de ciclo. A metodologia proposta por Dai (2012) e aqui empregada considera que as perdas de ciclo podem ser detectadas fazendo uso das diferenças das equações de observação entre duas épocas adjacentes, tanto para fase ($\lambda_{Li}\,\Delta\varphi_{Li}$), quanto para pseudodistância (ΔPD_{Li}). Ao diferenciar essas duas observáveis, os termos referentes a geometria e termos independentes da frequência (ou não dispersivos) são removidos, restando erros referentes a ionosfera e multicaminho das observáveis de pseudodistância. Os erros remanescentes são agrupados no termo ε. A ocorrência de uma perda de ciclo é identificada por meio da seguinte condição (DAI, 2012):

$$\left|\frac{\lambda_{Li}\Delta\varphi_{Li} - \Delta PD_{Li}}{\lambda_{Li}}\right| > \varepsilon \text{ se } \Delta N_{Li} \neq 0. \quad (5)$$

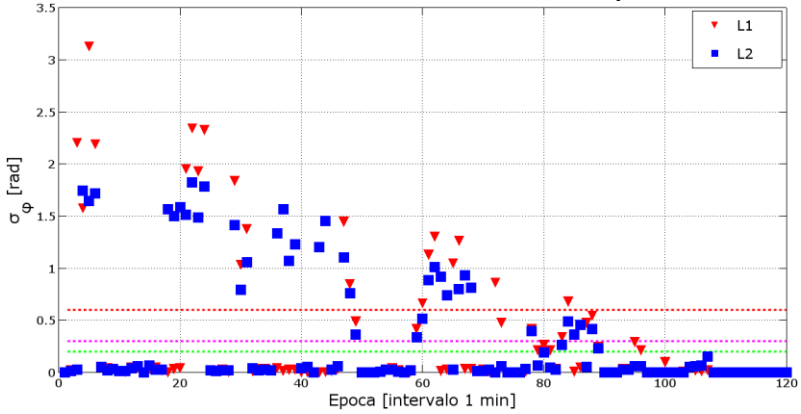
O valor de ε é estimado a priori em função da qualidade dos dados de pseudodistância e do erro de multicaminho. Esta abordagem permite uma detecção aproximada para as perdas de ciclos, sendo o número mínimo de ciclos da perda de ciclos estimado por ε/λ_{Li} (DAI, 2012).

3 METODOLOGIA

O objetivo é realizar uma análise das interações existentes entre perdas de ciclo, cintilação ionosférica e multicaminho. Para isto, foram empregados dados de observação dos sinais GPS (fase da onda portadora e pseudodistância) nas frequências L1 e L2 coletados na estação PPTE, pertencente a RBMC. Na realização do trabalho foram utilizados dados de duas horas de coleta (00:00:00 as 02:00:00 UTC) para o satélite GPS de PRN 19 (G19) no dia 03 de março de 2014, com intervalo entre épocas de 01 (um) minuto, totalizando 120 épocas de observação. Tal data foi escolhida, uma vez que, estudos preliminares indicaram a ocorrência de cintilação ionosférica devido as altas atividades ionosféricas. O arquivo RINEX de observação e navegação foram obtidos por meio do servidor do IBGE (https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm). Tais arquivos foram utilizados para a obtenção dos demais índices necessários as análises.

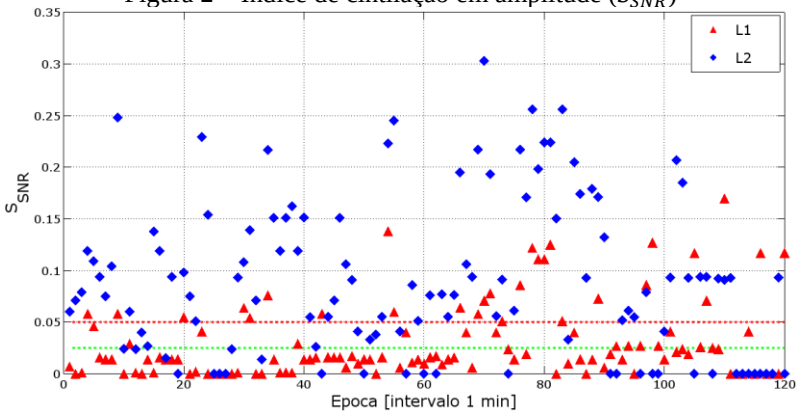
Para a estimativa dos índices de cintilação ionosférica (σ_Φ e S_{SNR}) foi utilizado o *software* Ion_Index (PEREIRA; CAMARGO, 2016), sendo esses índices estimados a cada um minuto em cada frequência, representando as irregularidades na densidade de elétrons ao longo do caminho percorrido pelo sinal na ionosfera. Os valores de σ_Φ e S_{SNR} nas portadoras L1 e L2 para o satélite G19 são apresentados nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

Figura 1 – Índice de cintilação em fase (σ_Φ)



Na Figura 1, as linhas verdes, magenta e vermelho correspondem ao limiar para ocorrência de fraca, moderada e forte cintilação em fase, respectivamente. Dente forma, é possível considerar que o conjunto de dados apresenta forte cintilação em fase até meados da época 90.

Figura 2 – Índice de cintilação em amplitude (S_{SNR})



Na Figura 2, as linhas verde e vermelha correspondem ao limiar para ocorrência de fraca e forte cintilação em amplitude. Deste modo, verifica-se que os dados empregados apresentam a ocorrência de forte cintilação em amplitude.

Os valores referentes ao multicaminho nas observáveis do satélite G19, MP1 e MP2 para as frequências L1 e L2, respectivamente, foram obtidos fazendo uso do *software* TEQC (*Translation, Editing, and Quality Check*) (ESTEY; MEERTENS, 1999) a cada um minuto. Adicionalmente, obteve-se por meio do *software* TEQC informações do ângulo de elevação e de azimute do satélite. As Figuras 3 e 4 mostram os valores referentes ao multicaminho e posição do satélite, respectivamente.

Figura 3 – Índice de multicaminho

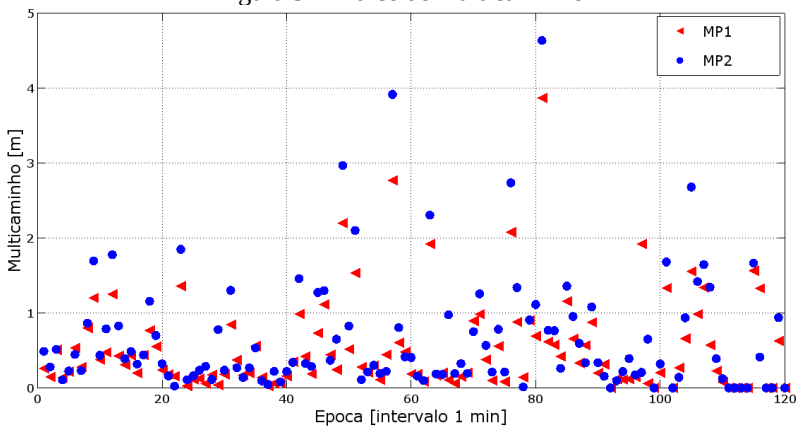
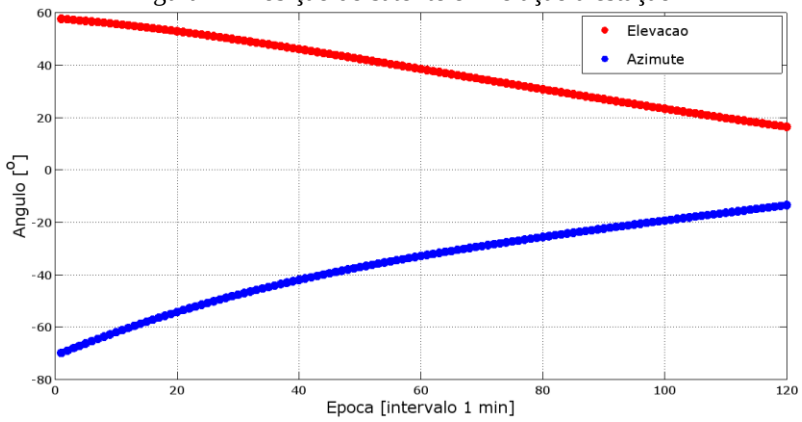
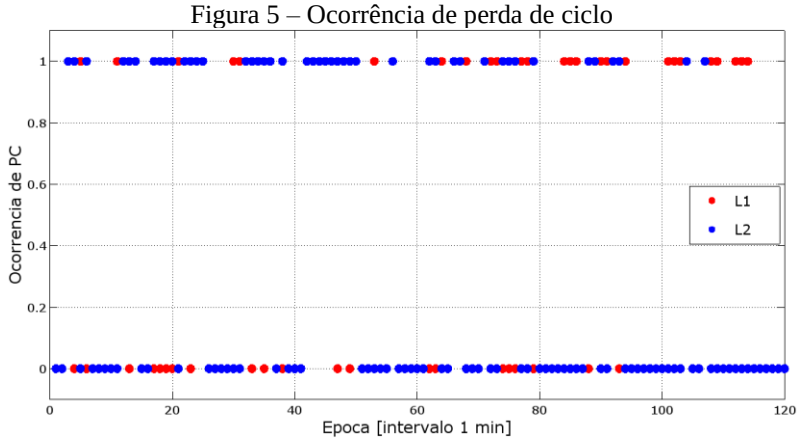


Figura 4 – Posição do satélite em relação a estação



Por fim, a identificação das ocorrências de perdas de ciclo deu-se por meio do *software* MATLAB fazendo uso de um pacote de funções implementado e disponibilizado por Dai (2012). A Figura 5 apresenta as épocas em que foram identificadas ocorrências de perdas de ciclo, onde 1 representa a ocorrência e 0 a não ocorrência.

Figura 5 – Ocorrência de perda de ciclo



Deste modo, foram obtidas 10 variáveis para análise: variáveis relacionadas a cintilação ionosférica ($\sigma_{\Phi 1}$ e S_{SNRL1} para L1 e $\sigma_{\Phi 2}$ e S_{SNRL2} para L2), variáveis relacionadas ao multicaminhamento do sinal (MP1 e MP2 para L1 e L2, respectivamente), variáveis para identificação de perda de ciclo (uma para L1 - PC_{L1} e outra para L2 - PC_{L2}), variáveis relacionadas a posição do satélite (elevação - $elev$ e azimute - Az). Na sequência, foi empregado o *software* Minitab para realização da análise multivariada, no que concerne análise de componentes principais, análise fatorial e análise de agrupamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos por meio da análise multivariada.

4.1 Análise preliminar

Inicialmente, por meio do *software* Minitab foi determinada a matriz de correlação amostral R, apresentada na Equação (6). Fazendo uma análise geral da matriz de correlação, observa-se a presença de poucos valores que expressam fortes correlações entre as variáveis empregadas.

$$R = \begin{bmatrix} S_{SNRL1} & & & & & & & & & \\ 0{,}365 & S_{SNRL2} & & & & & & & & \\ -0{,}064 & 0{,}109 & \sigma_{\Phi L1} & & & & & & & \\ -0{,}101 & 0{,}112 & 0{,}627 & \sigma_{\Phi L2} & & & & & & \\ 0{,}284 & 0{,}167 & -0{,}106 & -0{,}139 & MP1 & & & & & \\ 0{,}234 & 0{,}154 & -0{,}085 & -0{,}113 & 0{,}919 & MP2 & & & & \\ -0{,}284 & 0{,}060 & 0{,}335 & 0{,}417 & -0{,}074 & -0{,}035 & Elev & & & \\ 0{,}279 & -0{,}024 & -0{,}350 & -0{,}384 & 0{,}086 & 0{,}053 & -0{,}977 & Az & & \\ -0{,}065 & 0{,}005 & 0{,}113 & 0{,}064 & -0{,}138 & -0{,}099 & -0{,}057 & 0{,}073 & PC_{L1} & \\ -0{,}099 & -0{,}008 & 0{,}154 & 0{,}317 & 0{,}074 & 0{,}085 & 0{,}315 & -0{,}270 & 0{,}183 & PC_{L2} \end{bmatrix} \quad (6)$$

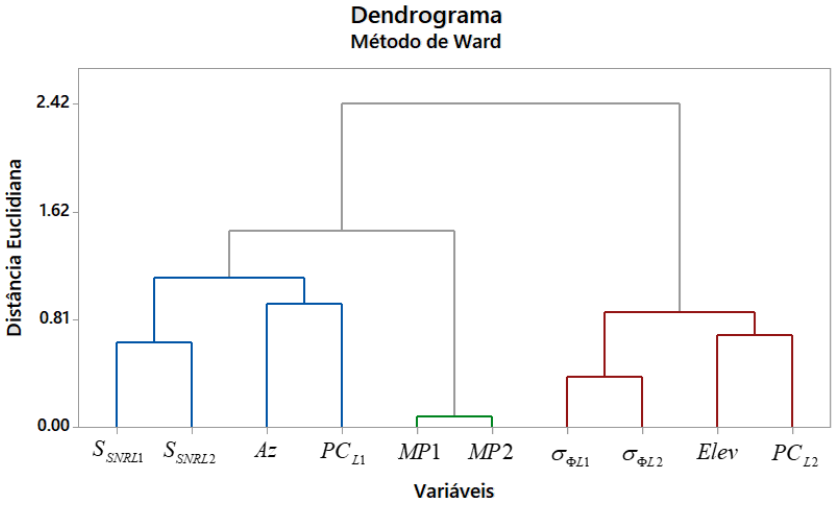
Pelas correlações obtidas entre as variáveis, observa-se que existe forte correlação entre os índices MP1 e MP2 (0,919), indicando que o multicaminho, na maioria das vezes, ocorre simultaneamente em ambas frequências. Observa-se uma correlação mais franca (0,627) entre os índices de cintilação σ_{Φ} para as frequências L1 e L2, indicando que, havendo cintilação em uma frequência, provavelmente ocorrerá na outra. Observa-se ainda, forte correlação inversa entre o ângulo de elevação do satélite e seu azimute (-0,977).

Ademais, percebe-se correlações mais fracas entres as variáveis (da ordem de 0,200), ou quase nenhuma correlação entre as variáveis (menores que 0,010). Neste sentido, poucas conclusões podem ser tiradas destes resultados preliminares. Como os coeficientes de correlação não foram suficientes para explicar a associação entre as variáveis em análise, fez se uso dos métodos de análise multivariada.

4.2 Análise de agrupamento

Na realização da análise de agrupamento, foram consideradas as 10 variáveis padronizadas em análise (S_{SNRL1}, S_{SNRL2}, $\sigma_{\Phi 1}$, $\sigma_{\Phi 2}$, MP1, MP2, $elev$, Az, PC_{L1}, PC_{L2}). Na realização do agrupamento, foi empregado o método hierárquico Ward, o qual segundo Johnson e Wichern (2007), é um método fundamentado na "mudança de variação" entre os grupos e mínima variância dentro dos grupos que estão sendo formados em cada passo no agrupamento. A Figura 6 apresenta o resultado do agrupamento das variáveis em 3 *clusters*.

Figura 6 – Agrupamento das variáveis em 3 *clusters*



Na Figura 6 fica evidente o agrupamento das variáveis relacionada ao multicaminhamento do sinal (MP1 e MP2), formando um grupo isolado, indicando a exclusividade deste grupo, uma vez que o multicaminho é uma fonte de erro local para cada estação.

Na sequência, foram ligadas as variáveis referentes aos índices de cintilação ionosférica, primeiramente para o índice σ_{Φ} em ambas frequências, e na sequência, com distância um pouco maior, o índice S_{SNR}, também para ambas as

frequências. Considerando os índices de cintilação ionosférica e a posição do satélite, para os dados em análise, observou-se que o índice S_{SNR} apresenta maior relação com ângulo azimutal (Az) do satélite, enquanto o índice σ_Φ apresenta maior associação ao ângulo de elevação ($elev$) do satélite.

Por fim, considerando a ocorrência de perdas de ciclo, tem-se que, para a frequência L1, esta apresentou maior relação com o ângulo azimutal do satélite e a cintilação em amplitude do sinal. Para a frequência L2 as perdas de ciclo estão mais associadas ao ângulo de elevação do satélite e a cintilação de fase do sinal.

Analisando de uma forma geral, observa-se que, neste caso, as causas das perdas de ciclo estão associadas as cintilações ionosféricas e a posição do satélite em relação a estação, e com menor associação a ocorrência de multicaminhamento do sinal. Entretanto, não é possível destacar uma variável como principal causa da ocorrência das perdas em cada portadora.

4.3 Análise de componentes principais

A análise de componentes principais visa explicar a estrutura de variância e covariância por meio de algumas combinações lineares entre os dados originais. Os i-ésimos componentes principais (CP) amostrais e suas respectivas variâncias são dados por: $\hat{y}_i = \hat{e}_i' Z$ e $Var(\hat{y}_i) = \hat{\lambda}_i$, onde Z são as variáveis padronizadas, $(\hat{\lambda}_i, \hat{e}_i)$ os pares de autovalores e autovetores de R e i o número de variáveis (JOHNSON; WICHERN, 2007). Utilizando o *software* Minitab, foram gerados os pares de autovalores e autovetores apresentados na Equação (7).

$$\hat{\lambda}_1 = 2{,}9037 \quad \hat{\lambda}_2 = 2{,}0800 \quad \hat{\lambda}_3 = 1{,}3383 \quad \hat{\lambda}_4 = 1{,}1427 \quad \hat{\lambda}_5 = 0{,}8536 \quad \hat{\lambda}_6 = 0{,}7094 \quad \hat{\lambda}_7 = 0{,}5379 \quad \hat{\lambda}_8 = 0{,}3366 \quad \hat{\lambda}_9 = 0{,}0781 \quad \hat{\lambda}_{10} = 0{,}0196$$

$$\hat{e}_1 = \begin{bmatrix} 0{,}254 \\ 0{,}018 \\ -0{,}364 \\ -0{,}410 \\ 0{,}219 \\ 0{,}194 \\ -0{,}494 \\ 0{,}489 \\ -0{,}061 \\ -0{,}250 \end{bmatrix} ; \hat{e}_2 = \begin{bmatrix} -0{,}259 \\ -0{,}300 \\ -0{,}115 \\ -0{,}123 \\ -0{,}590 \\ -0{,}590 \\ -0{,}193 \\ 0{,}176 \\ 0{,}114 \\ -0{,}194 \end{bmatrix} ; \hat{e}_3 = \begin{bmatrix} 0{,}437 \\ 0{,}480 \\ 0{,}387 \\ 0{,}336 \\ -0{,}171 \\ -0{,}184 \\ -0{,}252 \\ 0{,}267 \\ 0{,}345 \\ 0{,}007 \end{bmatrix} ; \hat{e}_4 = \begin{bmatrix} 0{,}235 \\ 0{,}332 \\ 0{,}020 \\ -0{,}022 \\ -0{,}150 \\ -0{,}183 \\ 0{,}161 \\ -0{,}188 \\ -0{,}659 \\ -0{,}531 \end{bmatrix} ; \hat{e}_5 = \begin{bmatrix} -0{,}154 \\ -0{,}475 \\ 0{,}508 \\ 0{,}392 \\ 0{,}150 \\ 0{,}151 \\ -0{,}274 \\ 0{,}248 \\ -0{,}328 \\ -0{,}220 \end{bmatrix} ; \hat{e}_6 = \begin{bmatrix} -0{,}282 \\ 0{,}102 \\ 0{,}207 \\ -0{,}162 \\ 0{,}129 \\ 0{,}184 \\ 0{,}116 \\ -0{,}147 \\ 0{,}516 \\ -0{,}700 \end{bmatrix} ; \hat{e}_7 = \begin{bmatrix} -0{,}718 \\ 0{,}571 \\ -0{,}080 \\ 0{,}125 \\ 0{,}023 \\ 0{,}042 \\ -0{,}171 \\ 0{,}234 \\ -0{,}193 \\ 0{,}116 \end{bmatrix} ; \hat{e}_8 = \begin{bmatrix} 0{,}052 \\ -0{,}075 \\ -0{,}629 \\ 0{,}711 \\ 0{,}028 \\ 0{,}057 \\ 0{,}057 \\ 0{,}012 \\ 0{,}133 \\ -0{,}257 \end{bmatrix} ; \hat{e}_9 = \begin{bmatrix} 0{,}035 \\ 0{,}001 \\ 0{,}005 \\ -0{,}017 \\ -0{,}715 \\ 0{,}696 \\ 0{,}021 \\ 0{,}040 \\ -0{,}034 \\ 0{,}013 \end{bmatrix} ; \hat{e}_{10} = \begin{bmatrix} -0{,}016 \\ 0{,}031 \\ -0{,}042 \\ 0{,}043 \\ -0{,}026 \\ 0{,}036 \\ -0{,}713 \\ -0{,}696 \\ 0{,}006 \\ 0{,}026 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Uma vez gerando os autovalores e autovetores, a etapa seguinte consistiu na análise de variância explicada para cada CP a fim de escolher o número adequado de componentes para representar os dados originais. A proporção da variância total amostral explicada por cada um dos CP, bem como a proporção acumulada, é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Proporção da variância amostral total

CP	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$	$\hat{y}_5$	$\hat{y}_6$	$\hat{y}_7$	$\hat{y}_8$	$\hat{y}_9$	$\hat{y}_{10}$
% var	29,0	20,8	13,4	11,4	8,5	7,1	5,4	3,4	0,8	0,2
% acum	29,0	49,8	63,2	74,6	83,2	90,3	95,7	99,0	99,8	100,0

Fazendo uso do Critério de Kaiser[1], para a realização das análises, foram mantidos os 4 primeiros CP, os quais juntos explicam 74,6% dos dados (variância amostral total) originais. A interpretação dos CP é feita com base nas combinações entre as variáveis padronizadas e os componentes, e nos coeficientes dados pelas combinações lineares que resultam nos CPs (JOHNSON; WICHERN, 2007). A Tabela 2 apresenta os coeficientes de correlação das variáveis com os CPs significativos, dados por:

$$r_{\hat{y}_i, z_j} = \hat{e}_{ij}\sqrt{\hat{\lambda}_i}, \text{ com i = 1,...,4 e j = 1,...,10} \quad (8)$$

[1] Critério de Kaiser: sugere manter na análise os componentes principais correspondentes aos autovalores maiores do que a média dos autovalores, se a análise é baseada na matriz de covariância, ou os componentes principais correspondentes aos autovalores maiores do que 1, se a análise for feita a partir de uma matriz de correlação.

Tabela 2 – Coeficiente de correlação entre as variáveis com os CPs

$r_{\hat{y}_i,z_j}$	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$	$\hat{y}_4$
S_{SNRL1}	0,433	-0,374	0,506	0,251
S_{SNRL2}	0,031	-0,433	0,555	0,355
$\sigma_{\Phi 1}$	-0,620	-0,166	0,448	0,021
$\sigma_{\Phi 2}$	-0,699	-0,177	0,389	-0,024
MP1	0,373	-0,851	-0,198	-0,160
MP2	0,331	-0,851	-0,213	-0,196
$elev$	-0,842	-0,278	-0,292	0,172
Az	0,833	0,254	0,309	-0,201
PC_{L1}	-0,104	0,164	0,399	-0,704
PC_{L2}	-0,426	-0,280	0,008	-0,568

Fazendo uma análise do coeficiente de correlação entre as variáveis e os CPs, tem-se que o 1° CP é composto basicamente pelas informações de posição do satélite (ângulo de elevação e azimute) e com menores contribuição do índice de cintilação de fase para as portadoras L1 e L2 ($\sigma_{\Phi 1}$ e $\sigma_{\Phi 2}$).

O 2° CP, de forma análoga, é formado principalmente pelas informações de multicaminhamento do sinal, de forma igual para ambas portadoras (MP1 e MP2), e com menor contribuição do índice de cintilação em amplitude para as portadoras L1 e L2 (S_{SNRL1} e S_{SNRL2}).

Para o 3° CP, temos que este pode ser interpretado como o componente de cintilação ionosférica, fazendo uma "média" dos índices de cintilações de fase ($\sigma_{\Phi 1}$ e $\sigma_{\Phi 2}$) e de cintilações em amplitude (S_{SNRL1} e S_{SNRL2}). Neste componente encontra-se contribuições das perdas de ciclo em L1 (PC_{L1}) e do azimute do satélite (Az).

Já o 4° CP, é influenciado principalmente pela ocorrência de perdas de ciclo nas portadoras L1 e L2 (PC_{L1} e PC_{L2}). Ademais, este é formado, com menor contribuição, pela "média" das demais variáveis consideradas, dando destaque a cintilação em amplitude.

Portanto, por meio da análise de componentes principais, tem-se que as 10 variáveis consideradas podem ser reduzidas para somente 4 CPs significativas, facilitando assim a análise e interpretação dos dados. Tem-se ainda que, fazer uso de 4 CPs explica 74,6% da variabilidade amostral total, explicando assim grande parte das informações contidas no conjunto de dados original.

4.3 Análise fatorial

A análise fatorial é uma técnica que tem como objetivo descrever a relação entre um conjunto grande de variáveis em termos de alguns fatores que medem aspectos comuns. A análise fatorial principal da matriz R é especificada em termos de seus pares de autovalores e autovetores ($\hat{\lambda}_i$, $\hat{e}_i$) (JOHNSON; WICHERN, 2007). De forma análoga ao realizado na seção 4.2, foram considerados os 4 primeiros fatores comuns (F_1, F_2, F_3 e F_4), que juntos explicam 74,6 % da variância amostral total.

A comunalidade ($\tilde{h}_i^2$), porção da i-ésima variável pelos 4 fatores comuns adotados é denotada, de acordo com Johnson e Wichern (2007), por:

$$\tilde{h}_i^2 = \sum_{j=1}^{4} \tilde{l}_{ij}, \text{ i = 1,...,10.} \quad (9)$$

A variância específica ($\tilde{\psi}_i$), contribuição do fator específico, ou seja, parte de cada variável que não é explicada pelos fatores comuns, é denotada, de acordo com Johnson e Wichern (2007), por:

$$\tilde{\psi}_i = 1 - \tilde{h}_i^2, \text{ i = 1,...,10.} \quad (10)$$

Por se tratar de dados padronizados, as cargas fatoriais de cada fator principal podem ser obtidas por meio da Equação (8) (JOHNSON; WICHERN, 2007). Na Tabela 3 são apresentados de forma resumida os resultados obtidos pela análise fatorial principal.

Tabela 3 – Resultado da análise fatorial

Variável	Carga fatorial				$\tilde{h}_i^2$	$\tilde{\psi}_i$
	F_1	F_2	F_3	F_4		
S_{SNRL1}	0,433	-0,373	0,505	0,251	0,645	0,355
S_{SNRL2}	0,030	-0,432	0,555	0,355	0,622	0,378
$\sigma_{\Phi 1}$	-0,620	-0,165	0,448	0,021	0,613	0,387
$\sigma_{\Phi 2}$	-0,699	-0,177	0,388	-0,023	0,671	0,329
MP1	0,374	-0,851	-0,197	-0,160	0,928	0,072
MP2	0,330	-0,851	-0,213	-0,196	0,917	0,083
$elev$	-0,841	-0,279	-0,291	0,172	0,899	0,101
Az	0,832	0,253	0,309	-0,201	0,892	0,108
PC_{L1}	-0,103	0,164	0,399	-0,705	0,694	0,306
PC_{L2}	-0,427	-0,279	0,008	-0,567	0,582	0,418
Var	2,9037	2,0800	1,3383	1,1427	7,4647	
% var	0,290	0,208	0,134	0,114	0,746	

Adicionalmente, foi calculada a matriz de resíduo do modelo, apresentada na Equação (11).

$$R-(\tilde{L}\tilde{L}'+\tilde{\psi})=\begin{bmatrix} 0.000 & & & & & & & & \\ -0.179 & 0.000 & & & & \textit{Simétrica} & & & \\ -0.089 & -0.200 & 0.000 & & & & & & \\ -0.055 & -0.151 & -0.009 & 0.000 & & & & & \\ -0.056 & -0.046 & 0.077 & 0.045 & 0.072 & & & & \\ -0.070 & -0.036 & 0.079 & 0.045 & -0.002 & 0.083 & & & \\ 0.080 & 0.065 & -0.106 & -0.103 & -0.027 & -0.023 & 0.101 & & \\ -0.092 & -0.040 & 0.073 & 0.118 & 0.019 & 0.020 & -0.082 & 0.108 & \\ 0.016 & 0.108 & -0.088 & -0.150 & 0.006 & 0.021 & 0.140 & -0.148 & 0.306 \\ 0.120 & 0.081 & -0.148 & -0.047 & -0.093 & -0.121 & -0.022 & 0.039 & -0.218 & 0.000 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

com $\tilde{L}=[F_1\ F_2\ F_3\ F_4]$.

Por meio das cargas fatoriais, tem-se que o primeiro fator F_1 pode ser denominado de posição do satélite no espaço, uma vez que apresenta maiores valores de contribuição do ângulo de elevação e azimute do satélite. Considerando o segundo fator F_2, este pode ser denominado de fator de multicaminho, devido aos elevados valores de MP1 e MP2. O terceiro fator F_3 pode ser denominado de cintilação ionosférica, uma vez que apresenta os maiores valores para os índices de cintilação ionosféricas, tanto para cintilação em fase, quanto para cintilação em amplitude nas duas portadoras (L1 e L2). Por fim, o quarto fator F_4 pode ser denominado de perda de ciclo, uma vez que os maiores valores se encontram na ocorrência de perda de ciclo em L1 e L2.

Observando a porcentagem de variância amostral total apresentada na Tabela 3 explicada por cada fator comum, verifica-se que as maiores fontes de erro para os dados do satélite G19 são: posição do satélite (29,0%), multicaminho (20,8%), cintilação ionosférica (13,4%) e perda de ciclo (11,4%). Com relação a matriz de resíduos, verificou-se que os maiores resíduos se encontram nas correlações entre as perdas de ciclo com as demais variáveis, evidenciando a dificuldade em explicitar a ocorrência de perdas de ciclo em função de uma determinada variável.

2 CONCLUSÕES

A realização da análise do grande conjunto de variáveis empregadas no presente trabalho, com o intuito de compreender a interação entre perdas de ciclo e erros de propagação do sinal (cintilação ionosférica, multicaminho e posição do satélite), só foi possível graças as diferentes técnicas de análise multivariada (análise de agrupamento, análise de componentes principais e análise fatorial), as quais permitem melhor representar e compreender o conjunto de dados de forma simplificada, quando comparado aos dados originais.

Considerando a análise de agrupamentos, esta apresentou-se interessante para o entendimento da interação entre as variáveis. No estudo de caso considerado, observou-se que o multicaminho forma um grupo isolado. Verificou-se ainda

que as cintilações de fase (σ_Φ) tem maior associação com o ângulo de elevação do satélite, enquanto a cintilação em amplitude (S_{SNR}) tem maior relação com o azimute do satélite. Com relação as perdas de ciclos, nesse estudo de caso, têm-se que as causas destas estão associadas as cintilações ionosféricas e a posição do satélite em relação a estação, e com menor associação a ocorrência de multicaminhamento do sinal.

Com relação à análise de componentes principais, tem-se que o conjunto de variáveis pode ser reduzido para 4 CPs, os quais explicam 74,6% da variância amostral total dos dados, facilitando as análises. Nesta análise, evidenciou-se que a posição do satélite tem grande influência nos índices de cintilação ionosférica, uma vez que a cintilação está associada ao caminho satélite-receptor percorrido pelo sinal. Verificou-se também a associação de ocorrência de cintilação ionosférica com perdas de ciclo, uma vez que uma das causas de perdas de ciclo é a cintilação ionosférica.

No que concerne a análise fatorial, foi verificado que cada componente formado representa: posição do satélite, multicaminho, cintilação ionosférica e perdas de ciclo, respectivamente. Ademais, destaca-se que as maiores fontes de erro nos dados do satélite G19, foram: posição do satélite (29,0%), multicaminho (20,8%), cintilação ionosférica (13,4%) e perdas de ciclo (11,4%).

Apesar dos dados serem referentes apenas a duas horas de observação, com intervalo amostral de 60 segundos em um único dia (03 de março de 2014) e para um único satélite (G19), os mesmos foram suficientes para gerarem resultados passíveis de serem analisados, permitindo a compreensão das interações das variáveis empregadas. Entretanto, novos estudos devem ser realizados considerando diferentes condições ionosféricas e posições da antena do receptor, além de maior número de satélites, permitindo assim uma análise mais apurada da ocorrência de perdas de ciclo no posicionamento GNSS.

REFERÊNCIAS

CONKER, R. S. et al. Modeling the effects of ionospheric scintillation on GPS/satellite-based augmenation system availability. **Radio Science**, Wiley Online Library, v. 38, n. 1, p. 1–1, 2003.

DAI, Z. MATLAB software for GPS cycle-slip processing. **GPS Solutions**, Springer-Verlag, v. 16, p. 267-272, 2012.

ESTEY L. H. & MEERTENS C. M. TEQC: the multi-purpose toolkit for GPS/GLONASS data. **GPS Solutions**, v.3, n.1, p.42-49, 1999.

JOHNSON, R. A. & WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice-Hall, 6 ed., 2007.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS**: Descrição, fundamentos e aplicações. 2.ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 476p.

PEREIRA, V. A. S. **Monitoramento das Irregularidades e Cintilação da Ionosfera em Tempo Real**: Integração dos Dados GNSS das Redes CALIBRA, GNSS-SP e RBMC. 2015. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

PEREIRA, V. A. S. & CAMARGO, P. O. Programa científico para o monitoramento em tempo real ou pós-processado das irregularidades ionosféricas e cintilação dos sinais GNSS. **Boletim de Ciências Geodésicas**, 2016. (no prelo)

SEEBER, G. **Satellite geodesy**: foundations, methods, and applications. 2. ed. New York: Walter de Gruyter, 2003.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.

AVALIAÇÃO DA INTERPOLAÇÃO TIN LINEAR DE DIFERENTES MALHAS PARA A ANOMALIA DE ALTITUDE DO MODELO EIGEN-6C4 PARA O ESTADO DE PERNAMBUCO

GIVALDO CESAR DA PAIXÃO JUNIOR
KAROLINE PAES JAMUR

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
givaldocesar@live.com, karoljamur@gmail.com

RESUMO – No presente artigo foram geradas malhas de pontos com diferentes espaçamentos do funcional anomalia de altitude do Modelo Global do Geopotencial EIGEN-6C4. Além da coleta pontual de uma amostra de pontos pertencentes ao estado de Pernambuco deste funcional, com o intuito de comparar os dados extraídos das malhas através da interpolação TIN linear e os dados coletados ponto a ponto, a fim de mensurar as discrepâncias geradas na interpolação. Como resultado, percebeu-se que as malhas geradas com espaçamentos inferiores a 0.125º apresentam discrepâncias da magnitude de 2 cm, tendo, assim, influência mínima na precisão de dados gerados a partir desta.

ABSTRACT – In the present article, grids of points with different spacings of the functional height anomaly of the Global Geopotential Model EIGEN-6C4 were generated. As well as the punctual collection of a sample of points belonging to the state of Pernambuco from this functional, in order to compare the data extracted from the grids through linear TIN interpolation and the data collected point to point, in order to measure the discrepancies generated in the interpolation. As a result, it was observed that grids generated with spacings of less than 0.125 ° have discrepancies of magnitude of 2 cm, and thus have minimal influence on the accuracy of data generated from this

1. INTRODUÇÃO

Segundo Barthelmes (2014), entende-se por modelo global do campo da gravidade, também denotado por Modelo Global do Geopotencial (MGG), a função matemática que descreve os funcionais do campo da gravidade da Terra no espaço tridimensional. A determinação deste modelo é uma das principais tarefas atuais na Geodésia, servindo de arcabouço para infinitas aplicações e fornecendo importantes informações sobre a Terra, seu interior e servindo de ferramenta para todas as geociências.

Um dos responsáveis por coletar, arquivar e disponibilizar a maioria dos modelos globais do geopotencial é o *International Centre for Global Earth Models* (ICGEM), que é um dos cinco serviços coordenados pelo *International Gravity Field Service* (IGFS) da *International Association of Geodesy* (IAG). (ICGEM, s.d.). Na página da web[1] criada pelo ICGEM está disponível a ferramenta para cálculo de diversos funcionais dos modelos ali catalogados, como por exemplo, o geóide e a anomalia da altitude. Nesta ferramenta é possível obter o valor dos funcionais para um único ponto ou para uma malha retangular sobre o globo terrestre. O uso da malha retangular é útil quando se deseja obter dados sobre uma grande quantidade de pontos, no entanto, para a extração de informações sobre pontos que não pertençam à malha é necessário estimar os valores através de uma interpolação.

O software QuantumGIS, ou QGIS, dispõe de uma ferramenta para interpolação baseada numa malha triangular irregular, também conhecida como TIN (*Triangulated Irregular Network*). Este método usa um mosaico triangular construído a partir dos pontos dados para derivar uma função bivariada, a qual é utilizada para estimar os valores de locais sem observações, para o caso de uma a interpolação linear, usa-se faces planares para cada triângulo. Este método fornece uma representação eficaz de superfícies útil para várias aplicações, como visualizações dinâmicas e análises de visibilidade, porém este método, especialmente em sua versão linear, está entre os menos precisos. (MITAS E MITASOVA, 1999)

[1] O endereço da página se encontra nas referências.

A escolha deste método se dá pela sua velocidade e facilidade de execução, sendo superior a outros métodos de interpolação como o IDW e krigagem, que exigem uma maior configuração pelo usuário.

No presente trabalho procura-se mensurar as discrepâncias entre os valores do funcional anomalia de altitude obtidos ponto a ponto e os valores extraídos a partir de imagens raster resultantes da interpolação TIN das malhas de pontos geradas com diferentes espaçamentos, ou *Grid Step*(distância vertical e horizontal, em graus decimais, entre os pontos da malha.), na página web do ICGEM para uma determinada amostra de pontos pertencentes ao estado de Pernambuco.

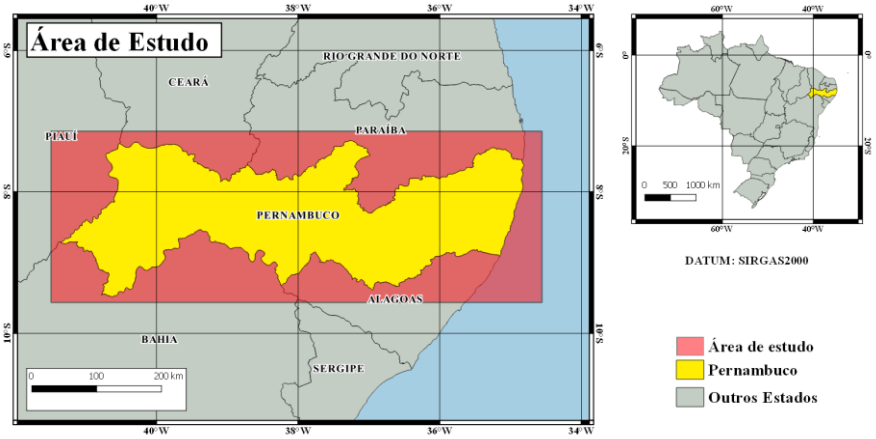
O MGG escolhido para cálculo das anomalias da altitude foi o EIGEN-6C4, sendo elaborado pelo GFZ/Potsdam e GRGS/Toulouse com o nome de *European Improved Gravity model of the Earth by New techniques* - EIGEN-6C4 com resolução espacial de até grau e ordem 2190, tendo sido determinado com a contribuição das informações gravimétricas dos satélites: LAGEOS, GRACE e GOCE, e dos modelos DTU12 e EGM2008 (IBGE, 2015 apud Förste et al., 2014). A escolha deste modelo se dá pelo fato do mesmo ser utilizado como referência para remover as componentes de longos e médios comprimentos de onda da anomalia de Helmert e para repor no final as mesmas componentes na altura geoidal do MAPGEO2015. (IBGE, 2015)

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1. Área de estudo

A área de estudo (figura 1) é o retângulo delimitado pelos paralelos 7,14ºS e 9,56ºS e os meridianos 41,49ºW e 34,55ºW.

Figura 1 Área de estudo



Nota-se que o retângulo cobre toda a área do estado de Pernambuco.

2.2. Materiais utilizados

- Malhas da anomalia da altitude do modelo EIGEN-6C4 com espaçamento igual a 0.125º, 0.25º, 0.5º e 1º obtidos no site do ICGEM e extensão igual à área de estudo;
- Software QGIS na versão 2.18.20 Las Palmas;
- Shapefile do Brasil com as unidades de federação cedido pelo IBGE.
- Software Wordpad.
- Software Microsoft Excel 2013

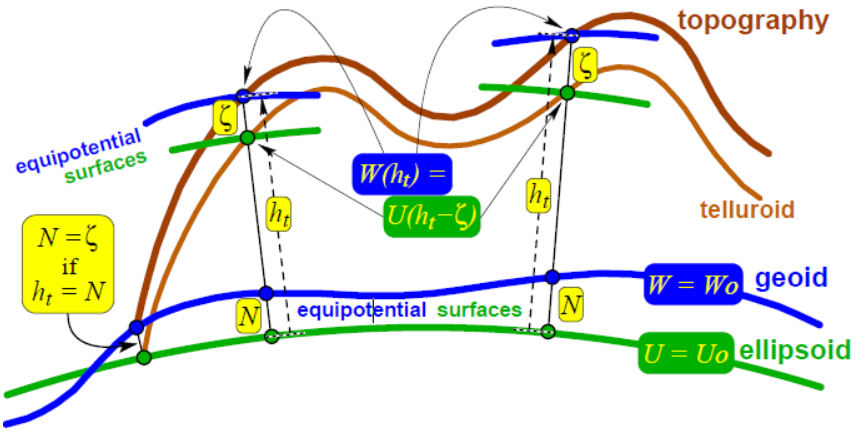
2.3. Procedimentos

Obtenção e interpolação das malhas

As malhas da anomalia da altitude do EIGEN-6C4 foram obtidas acessando a ferramenta de cálculo disponibilizada na página web do ICGEM, para este estudo escolheu-se os espaçamentos de 1º, 0.5º, 0.25º e 0.125º. A anomalia da altitude é uma conhecida aproximação da ondulação geoidal de acordo com a teoria de Molodensky, podendo ser definida como a distância da superfície da Terra para o ponto no qual o potencial normal tem o mesmo valor que o geopotencial (BARTHELMES, 2013 apud MOLODENSKY ET AL., 1962; HOFMANN-WELLENHOF &

MORITZ, 2005; MORITZ, 1989). Uma ilustração geométrica da situação é apresentada na figura 2, a superfície com a altura ζ em relação ao elipsóide é chamada de *quasigeóide*, ocultada na figura 2,e a superfície $h_t - \zeta$ é conhecida como *teluróide*. Deve ser enfatizado que o quasigeóide não possui significado físico, porém é uma aproximação do geóide. A importância da anomalia da altitude é que a mesma pode ser obtida através de medições da gravidade sobre a superfície terrestre sem qualquer hipótese sobre as densidades de massa. (BARTHELMES, 2013)

Figura 2 Anomalia da altitude. Fonte: *BARTHELMES*, 2013

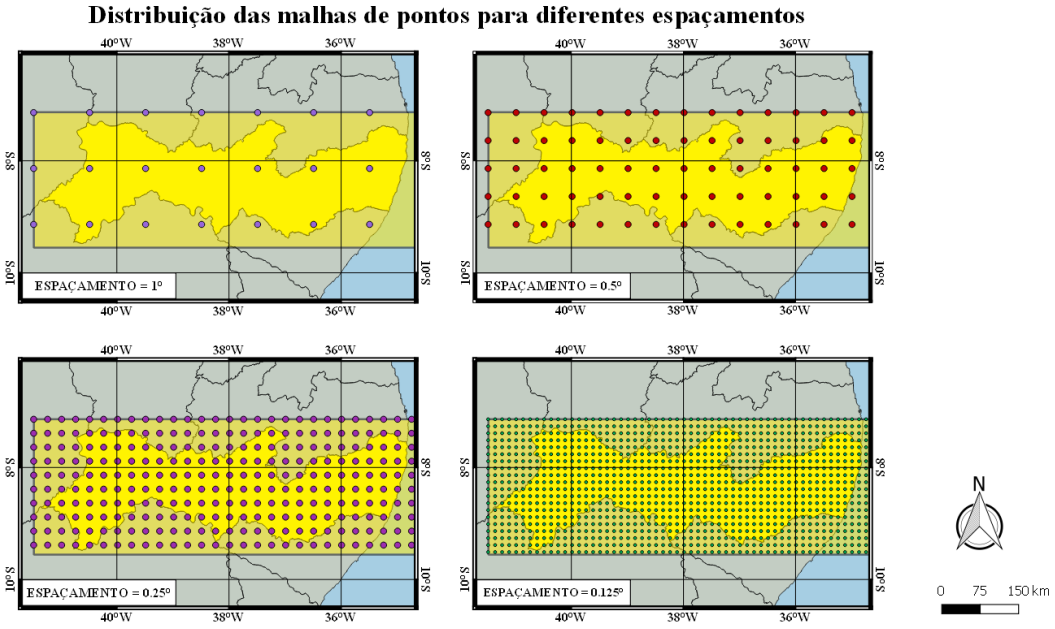


Na tabela 1 observa-se a quantidade de pontos gerados para cada espaçamento. Percebe-se que o número de pontos depende apenas do espaçamento escolhido. Na figura 3 observa-se a distribuição dos pontos ao longo da área de estudo.

Tabela 1 Número de pontos presentes na malha para cada espaçamento

Espaçamento	Número de pontos
1º	21
0.5º	70
0.25º	280
0.125º	1120

Figura 3 Distribuição dos pontos para diferentes espaçamentos



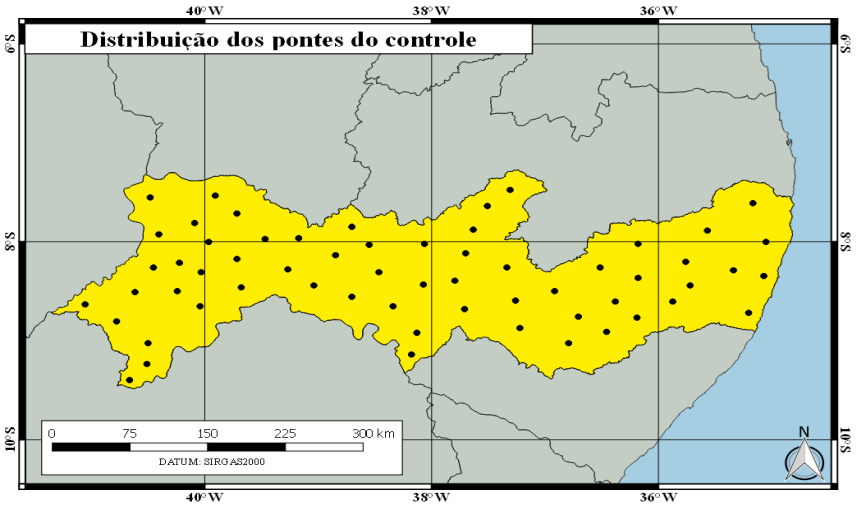
Para a interpolação no QGIS, escolheu-se o método *Interpolação triangular (TIN)*, com as opções:

- Método de interpolação: Linear
- Exportar triangulação ativada
- Número de colunas: 3000
- Número de linhas: 3000

Extração dos erros da interpolação

Para obterem-se os erros de cada interpolação, gerou-se uma shapefile do tipo ponto com 60 feições distribuídas uniformemente por todo o estado de Pernambuco, conforme a figura 4. Com as coordenadas de cada ponto, obteve-se a anomalia da altitude de forma pontual por um processo semelhante ao da aquisição das malhas.

Figura 4 Distribuição dos pontos de controle



Para extrair a informação das imagens raster resultado da interpolação, usou-se uma ferramenta presente na *Caixa de Ferramentas* do QGIS, chamada *Add raster values to points.* Tal ferramenta extrai informações pontuais de uma raster de banda única baseada em coordenadas de uma shapefile de pontos.

Com os dados obtidos, executou-se a diferença entre o valor obtido pontualmente no ICGEM e o valor obtido em cada interpolação. Posteriormente calculou-se a média, desvio-padrão, RMS, máximo, mínimo e amplitude para a devida mensuração do erro.

O RMS, Root Mean Square ou raiz da média quadrática, é calculada, de acordo com Muniz (s.d.), através da seguinte fórmula:

$$RMS\ ou\ \langle X \rangle = \sqrt{\overline{X^2}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(X_i)^2}{N}} \quad (1)$$

O valor quadrático médio é muito útil para nos casos em que os valores seguem uma distribuição simétrica centrada no valor zero, onde a média aritmética, mediana e moda teriam valor nulo. (MUNIZ, s.d.)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apesar da repetição do algoritmo de interpolação do QGIS, não houve a utilização de todos os pontos inseridos por alguma falha no algoritmo, gerando, assim, regiões vazias. Na figura 5observa-se as regiões não cobertas em amarelo e na figura 6, os pontos não contemplados na triangulação. Uma forma de evitar estas falhas de cobertura é aumentar a extensão da malha retangular ou diminuir o espaçamento entre os pontos. O resultado da diminuição do espaçamento pode ser notado na figura 5, onde na imagem cujo espaçamento é igual a 0.125° toda a região do estado de Pernambuco foi coberta e há apenas uma pequena faixa sem dados.

Figura 5 Resultados da interpolação TIN para diferentes espaçamentos

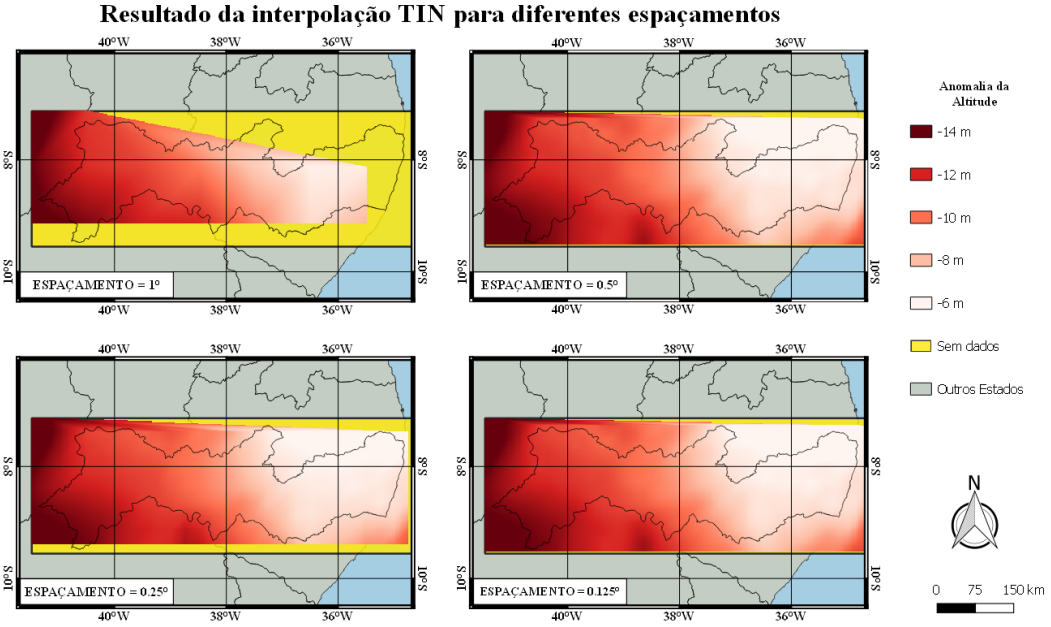
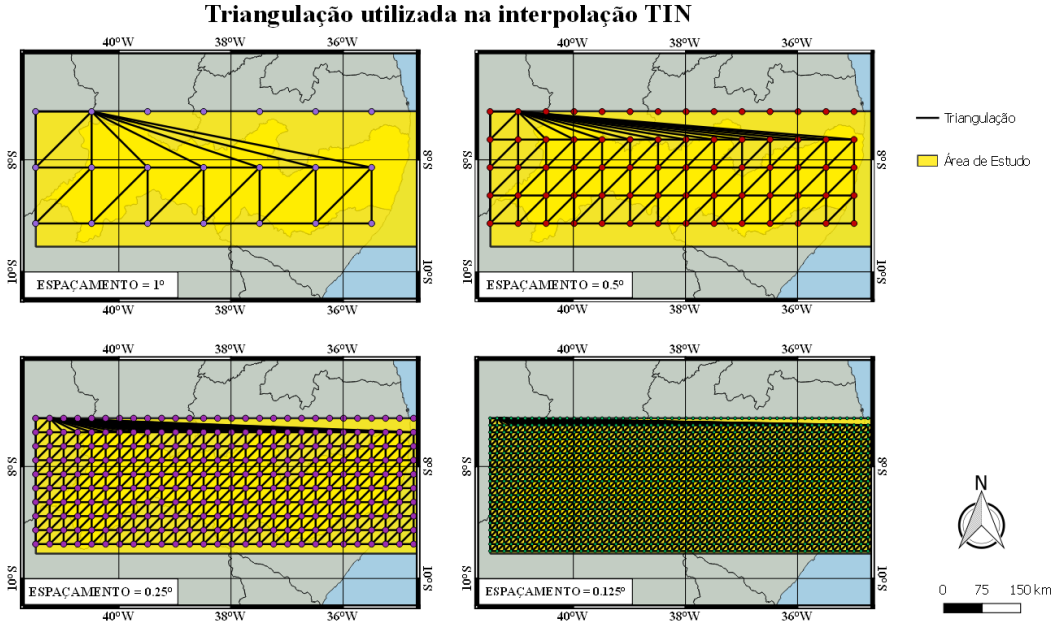


Figura 6 Triangulação e pontos usados na interpolação



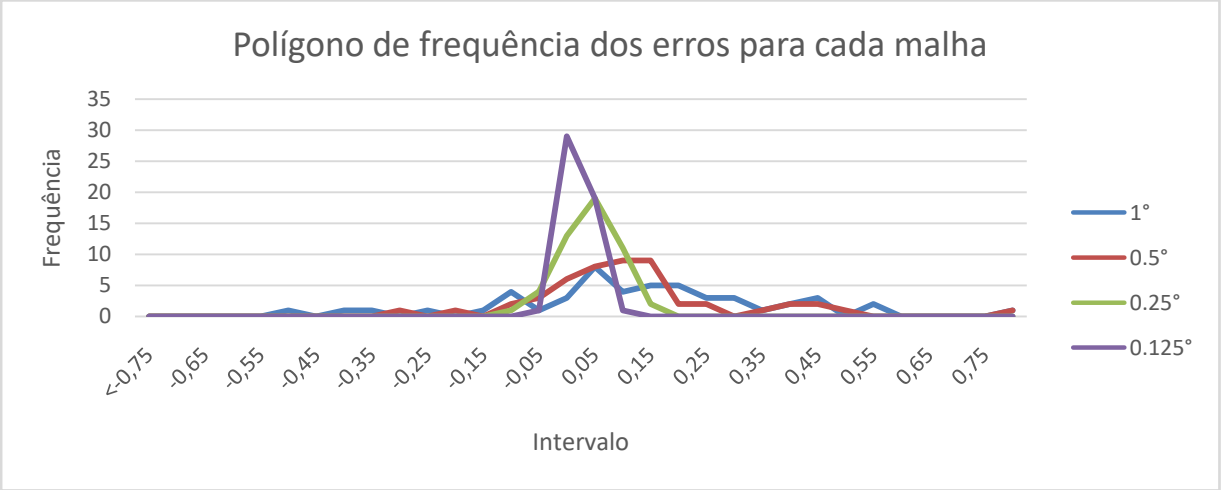
Apesar de haver imagens em que foi possível obter informações para todos os pontos de controle, para evitar a obtenção de resultados enviesados, ou seja influenciar os dados gerados, selecionaram-se informações de apenas 50 pontos comuns a cada malha. Abaixo temos uma tabela com as estatísticas obtidas a partir dos dados selecionados.

Tabela 2 Estatísticas

	ESPAÇAMENTOS			
	1°	**0.5°**	**0.25°**	**0.125°**
Média	0,104 m	0,106 m	0,012 m	-0,002 m
Desvio-Padrão	0,244 m	0,231 m	0,051 m	0,021 m
RMS	0,263 m	0,252 m	0,052 m	0,021 m
Máximo	0,757 m	1,290 m	0,139 m	0,058 m
Mínimo	-0,512 m	-0,304 m	-0,132 m	-0,068 m
Amplitude	1,269 m	1,593 m	0,271 m	0,126 m

Observando a tabela 2, percebe-se que apesar do valor médio ser aproximadamente 10 cm, nos casos do espaçamento iguais a 1° e 0.5°, houve discrepâncias de até 1,3 m. Portanto, a média não é uma boa forma de medir a magnitude das discrepâncias existentes, devido ao fato da distribuição dos erros ser aproximadamente simétrica em torno de zero, como apresentado na figura 7, levando a média a se aproximar de zero. Além disso, a tabela 2 e a figura 7 mostram que a malha com espaçamento de 0.125° possui baixa dispersão dos dados apresentados, o desvio-padrão de amostra extraída é igual a 2,1 cm, valor muito inferior se comparado ao desvio-padrão da malha com espaçamento de 1° que possui valor igual a 24,4 cm.

Figura 7 Polígono de freqüência dos erros



Como dito anteriormente, o valor RMS é a forma mais eficaz para mensurar a magnitude das discrepâncias que apresentam a distribuição apresentada acima.

4. CONCLUSÃO

Portanto, utilizar a interpolação TIN em uma malha com espaçamento de 1º pode causar erros com magnitude de 0,263 m, diminuindo significativamente a precisão de resultados obtidos com este tipo de malha. Um exemplo, é o caso do modelo digital de elevação que pode ser gerado com altitudes geométricas e anomalias da altitude, neste caso haveria discrepâncias relevantes.

Assim, recomenda-se o uso de malhas com espaçamentos maiores que 0.125º para interpolações TIN, pois a magnitude da discrepância é de aproximadamente 2 cm, tendo pouca influência na precisão dos dados gerados a partir deste.

REFERÊNCIAS

BARTHELMES, F. Global Models. In: GRAFAREND, E. (ed).**Encyclopedia of Geodesy**. Postdam, Alemanha: Springer International Publishing, 2014.

BARTHELMES, F. Definition of functionals of the geopotential and their calculation from spherical harmonic models. **Scientific Technical Report**. Vol 09 (2). 2013.

IBGE. **Resolução do Presidente – 1/2005**.Disponívelem: <http://www.inde.gov.br/images/inde/rpr_01_25fev2005.pdf>. Acesso: 11julho 2018.

ICGEM International Centre for Global Earth Models. Disponível em: <http://icgem.gfz-potsdam.de/home>. Acesso em 14 julho 2018.

MITAS, L.; MITASOVA, H. SpatialInterpolation. In: LONGLEY, P.A. (ed) et al. **GeographicalInformation Systems: Principles, Techniques, Management andApplications.** 2ª edição**.** New York, Estados Unidos: John Wiley& Sons, Inc. 1999.

MUNIZ, S. R. **Introdução à análise estatística de medidas**. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/169799/mod_resource/content/0/Introducao_Estatistica__plc0016_14.pdf>. Acesso: 13 julho 2018.

AVALIAÇÃO DO POSICIONAMENTO EFETUADO COM RECEPTORES DE NAVEGAÇÃO DE BAIXO CUSTO

JORGE FELIPE EURIQUES
CLAUDIA PEREIRA KRUEGER
JANINY ZANDA SOARES DA SILVA

Universidade Federal do Paraná - UFPR
Setor de Ciências da Terra - Departamento de Geomática
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - PPGCG
Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Curitiba, PR
jorge.euriques@gmail.com, cpkrueger64@mail.com, janinyzanda@gmail.com

RESUMO – O GPS tornou-se popular e vem sendo empregado nas mais diversas aplicações. Por meio deste pode-se obter diferentes níveis de precisão, dados em função de fatores como o equipamento empregado. Os receptores de navegação são os mais simples, pois em geral utilizam apenas o código C/A determinando soluções instantaneamente pelo método absoluto. No ano 2000 a técnica de segurança Disponibilidade Seletiva foi desativada e com isso as precisões tangíveis passaram a ser melhores que 13 metros para planimetria e 25 metros para altimetria. Nesta pesquisa avaliou-se o desempenho de quatro receptores de navegação, dois do fabricante Garmin e dois QSTARZS. Estes receptores foram posicionados sobre marcos com coordenadas geodésicas determinadas com precisão milimétrica, as quais foram adotadas como referência. O erro planimétrico médio obtido com os receptores Garmin foi de 2,12 m e de 2,31m para o fabricante QSTARZ. O erro tridimensional médio foi de 3,47m com os modelos Garmin e 3,69m para os QSTARZ. Com base nestes resultados verificou-se que estes equipamentos apresentaram desempenho, em termos de precisão, melhor do que os valores preconizados pela literatura, desta forma, pode-se concluir que poderão ser empregados em uma abrangência maior de aplicações, dentre as quais o mapeamento para escalas menores que 1:15000.

ABSTRACT - The GPS has become popular and has been used in many applications. Different levels of accuracy can be obtained through by factors such as the equipment used. The Handheld GPS receivers are the more simpler since they adopt the Point Positioning method with the C/A code ranges. The Selective Availability was deactivated in the year 2000. Thus, accuracies better than 13 meters can achieve for planimetry and 25 meters for altimetry with a 95% probability level. The performance of four Handheld GPS receivers was evaluated, two from Garmin manufacturer, GPSMAP 64S model and two from QSTARZS model BT-Q1000. These receivers were positioned on landmarks with millimetric precision geodesic coordinates adopted as reference. The average planimetric accuracy obtained with Garmin receivers was 2.12 m and 2.3 QSTARZ.The average three-dimensional accuracy was 3.47m with the Garmin models and 3.69m for the QSTARZ.Based on these results, it was verified that these equipments presented better results than those recommended in the literature, and in this way, it can be concluded that receivers could be used in a wider range of applications like for topographic mapping with scales smaller than 1:15000.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de posicionamento por satélite, dentre os quais o estadunidense NAVSTAR-GPS (*Navigation System with Time and Ranging – Global Positioning System*) que é o mais adotado mundialmente e é comumente chamado GPS, vem sendo empregados nas mais diversas áreas e aplicações. Por meio destes sistemas pode-se efetuar o posicionamento e navegação sobre a superfície terrestre ou próximo à esta mediante a recepção de sinais enviados pelos satélites. De acordo com Seeber (2003), a grandeza fundamental nestes sistemas é a medida do tempo decorrido entre a emissão do sinal pela antena do satélite e a recepção deste sinal na antena do receptor.

Os sinais enviados continuamente pelos satélites são ondas eletromagnéticas do tipo micro-ondas da banda L, que corresponde à faixa de frequência de 1 a 2 GHz e são propagados com a velocidade da luz no vácuo. A partir do conhecimento do tempo de propagação do sinal pode-se determinar a distância entre a antena do satélite e a do receptor, a qual devido à influência de erros como os relacionados à propagação do sinal e do não sincronismo entre os relógios

dos satélites e dos receptores é chamada de pseudodistância. As coordenadas tridimensionais da antena (X, Y e Z) são determinadas a partir de pelo menos quatro medidas de pseudodistâncias, sendo que a quarta medida deve-se a incógnita tempo.

No âmbito destes sinais, o posicionamento pode ser feito por duas maneiras: pela medida do código e pela medida da fase da onda portadora. Conforme Hofmann-Wellenhof (2001), para o primeiro caso efetuam-se as medidas a partir da diferença do código proveniente do satélite e a réplica deste código gerada no receptor, em relação a um instante de tempo (*t*). Como a propagação ocorre à velocidade da luz no vácuo, esta diferença de tempo entre os códigos requer precisões de frações de segundo. Por este motivo, as medidas efetuadas por meio da fase da onda portadora são mais precisas, visto que neste caso, as determinações são baseadas no número de ciclos da onda portadora.

Os níveis de precisão admissíveis estão ligados também à maneira em que são minimizados os erros que afetam estas observações, os quais estão relacionados com a propagação destes sinais, com a antena, e com o receptor.

Diferentes tipos de equipamentos foram e vem sendo desenvolvidos. Na literatura encontram-se diferentes classificações para receptores, segundo Krueger (2006), eles podem ser classificados quanto a sua aplicação: de navegação, para levantamentos topográficos, DGPS *(Differential* -GPS) e geodésicos.

Os receptores de navegação são os mais simples e proporcionam as piores precisões em relação aos demais. Nestes receptores as coordenadas tridimensionais são obtidas instantaneamente pelo método absoluto (por ponto). As pseudodistâncias são calculadas, geralmente pelo o código C/A. Os dados brutos relativos aos rastreios, que consistem nas pseudodistâncias pelo código e a fase da onda portadora, não são gravados no receptor, eles registram no máximo uma lista de coordenadas obtidas instantaneamente. Assim, não se pode efetuar o pós-processamento dos dados visando a minimização dos erros atuantes nas equações de pseudodistâncias. Alguns receptores desta classe nem mesmo registram esta lista de coordenadas, apenas as apresentam no visor durante o rastreio.

Ressalta-se que alguns softwares, dentre os quais o ASYNC ou GRINGO, foram desenvolvidos permitindo com que estes dados brutos sejam registrados e posteriormente pós-processados. Entretanto, é requerida a conexão à um computador, e esta não é uma prática comum para receptores de navegação.

No método absoluto utiliza-se apenas um receptor e as coordenadas resultantes são associadas, de acordo com Krueger (2006), diretamente ao geocentro, sendo adotadas para os cálculos efemérides transmitidas. Desta forma é o método de posicionamento mais simples.

A partir da desativação da técnica de segurança Disponibilidade Seletiva - SA (*Selective Availability)* ocorrida no ano 2000, as precisões alcançadas pelas soluções baseada no código C/A (*Coarse/Acquisition*) no método absoluto passaram a ser, de acordo com Seeber (2003), melhores que 13 metros para planimetria e 25 metros para altimetria com nível de probabilidade de 95%, supondo-se a constelação GPS básica, composta por 24 satélites. Atualmente a constelação GPS é de 31 satélites operacionais em órbita (GPS.GOV - EUA, 2018).

Em consequência disto, estes receptores têm sido adotados em diversas aplicações nas quais estas precisões são satisfatórias e têm ganhado espaço no mercado através de diversos modelos abrangendo diferentes características e preços. Neste âmbito, destacam-se de igual forma os receptores do tipo OEM (*Original Equipment Manufacturers*), ou Fabricante do equipamento original, vêm se destacando por possuírem comumente características como: Multi-frequência, Multi-constelações, possibilidade de integração com outros sensores e principalmente pelo baixo custo, o que é um atributo de equipamentos OEM, surgindo atualmente como equipamentos alternativos até mesmo para receptores geodésicos.

Todo receptor tem uma precisão nominal associada ao equipamento fornecida pelo fabricante. Considerando-se que, muitas vezes, a precisão nominal do equipamento é determinada em laboratório em ambientes ideais, nos quais tem-se a menor influência de erros, surge o interesse por parte da comunidade científica em atestar as precisões alcançadas em situações reais.

Os receptores de navegação têm sido aplicados nas mais diversas áreas, contudo, investigações quanto ao desempenho destes equipamentos devem ser realizadas. Dentre estas cita-se o emprego destes receptores na área da saúde com o objetivo de avaliar, por exemplo, o sedentarismo de crianças e idosos, ou mesmo para aplicações já tradicionais como o mapeamento topográfico.

3. METODOLOGIA DO TRABALHO

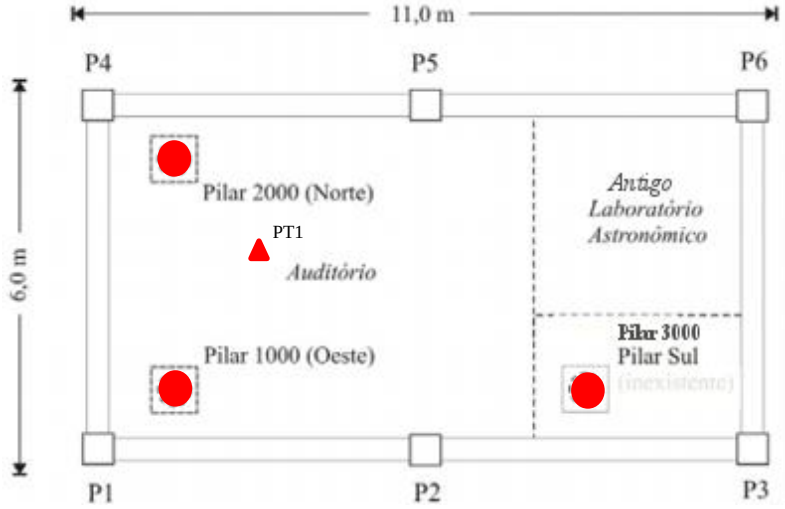
Esta pesquisa consistiu na avaliação do desempenho de quatro receptores de navegação de dois modelos de diferentes fabricantes, sendo estes considerados equipamentos de baixo custo. Não obstante, um destes modelos tem um custo de cerca de 25% do outro, de acordo com o site de vendas pela internet dos próprios fabricantes.

Realizou-se rastreios pelo método absoluto estático sobre pontos com coordenadas geodésicas definidas com precisão milimétrica, as quais foram adotadas como referência para avaliar o desempenho dos receptores. Para isto, efetuou-se o cálculo das discrepâncias obtidas com cada receptor a partir do conjunto de coordenadas registradas.

3.1 Área de Estudo

Os receptores foram posicionados em pilares de centragem forçada (Pilar 1000, 2000 e 3000) e em um marco denominado PT1, os quais são engastados na laje do edifício anexo ao Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia da Universidade Federal do Paraná (LAGEH/UFPR). Na Figura 1 a disposição destes pontos é apresentada.

Figura 1 – Disposição dos pontos de rastreio



Fonte: Adaptado de Freiberger Junior (2007)

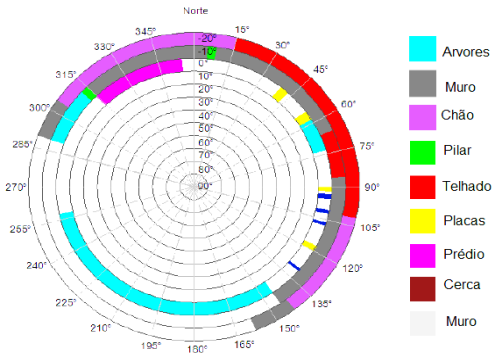
Na Figura 2 apresenta-se um dos pilares utilizados para os rastreios quando da determinação das coordenadas de referência efetuados com um receptor geodésico. Por estarem engastados na laje de um edifício e por este se encontrarem afastados de possíveis obstruções, estes rastreios foram efetuados sem grandes interferências na recepção dos sinais enviados pelos satélites. Na Figura 3 o diagrama de obstruções de um dos pilares é apresentado. Pode-se verificar que acima do horizonte da antena (> 0° de elevação), por onde chegam os sinais diretos enviados pelos satélites, existem obstruções apenas até 10°, no sentido do horizonte da antena ao zênite, sendo árvores entre os azimutes 155° à 265° e prédios entre os azimutes 315° ao 355°.

Todos os marcos utilizados situam-se muito próximos, portanto, o diagrama de obstruções é praticamente o mesmo que o apresentado na Figura 3, desta forma pode-se considerar que não ocorreram bloqueios significativos na recepção dos sinais durante os rastreios.

Figura 2 – Pilar de centragem forçada (Pilar 3000)

Fonte: A autoria (2018)

Figura 3 – Diagrama de obstruções do Pilar 3000



3.2 Equipamentos

Foram utilizados quatro receptores de navegação, dois receptores do fabricante Garmin, modelo GPSMAP 64S e dois do fabricante QSTARZS, modelo BT-Q1000, o qual tem o custo inferior ao primeiro.

- **GPSMAP 64S**

De acordo com o fabricante Garmin (2018), este receptor recebe sinais do código C/A, o qual é modulado pela onda portadora L1. Ele dispõe de uma antena interna helicoidal quádrupla e possui memória interna de 4 GB passível de expansão, visto que possui slot de cartão microSD. O sistema de energia é alimentado por meio de duas pilhas do tipo AA, o que proporciona utilização de até 16 horas.

Como funções complementares possui um altímetro barométrico, o qual identifica variações de pressão e refina as determinações da componente altimétrica, e uma bússola eletrônica de 3 eixos compensados, a qual possibilita a verificação da direção sem a necessidade de estacionar o equipamento e o nivelar.

- **BT-Q1000**

De acordo com o fabricante QSTARZ (2018), este receptor de navegação GPS recebe sinais do código C/A e dispõe de uma antena interna do tipo patch. O equipamento tem memória interna com capacidade de gravação de até 100.000,0 pontos e possui bateria recarregável interna que proporciona utilização de até 32 horas. Uma característica de destaque deste equipamento são as suas dimensões (7 x 5 x 2) cm. Na Figura 5 apresenta-se o respectivo equipamento.

Figura 4 – Receptor de Navegação Garmin GPSMP 64S

Fonte: www.GarminStore.com.br (2018).

Figura 4 – Receptor de Navegação QSTARZ Q1000

Fonte: www.qstarz.com (2018).

Os equipamentos de mesmo modelo foram identificados de maneira individual, assim, foram denominados Garmin1, Garmin 2, QSTARZ 1 e QSTARZ 2. Ambos os modelos de receptores utilizados permitem a gravação da lista de coordenadas obtidas de maneira instantânea.

3.2 Rastreios

Os rastreios foram efetuados sobre os referidos pontos (Pilar 1000, 2000, 3000 e PT1). Na tabela 1 destaca-se a duração de rastreio para cada equipamento, os quais foram iniciados às 16 horas do dia 10 de abril de 2017.

Tabela 1 – Rastreios

Equipamento	Estação	Duração (horas)
Garmin 1	Pilar 1000	18
Garmin 2	Pilar 3000	16
QSTARZ 1	PT1	20
QSTARZ 2	Pilar 2000	20

3.3 Tratamento dos dados

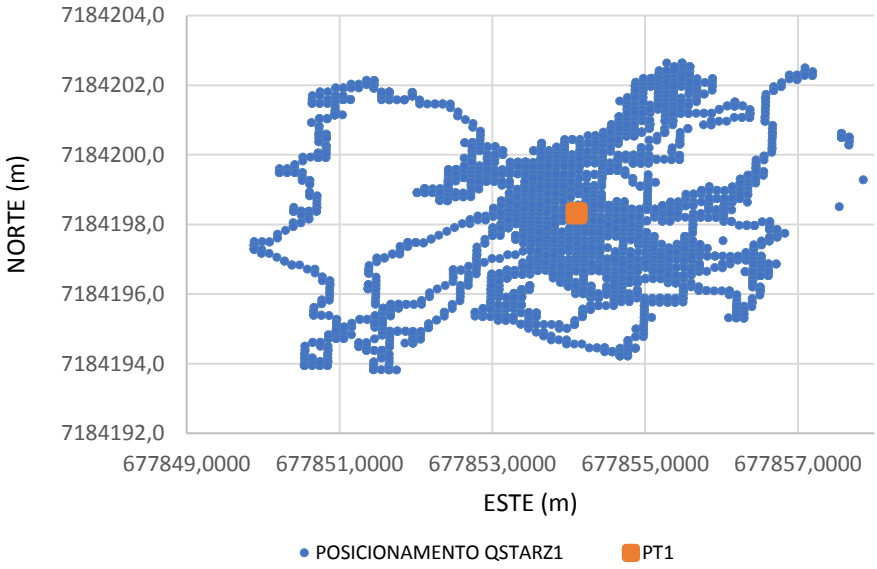
As coordenadas registradas em WGS84, que é o sistema de referência da constelação GPS, foram projetadas para o sistema UTM por meio do software PROGRID de acesso gratuito, disponibilizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação dos resultados foi efetuada por meio do cálculo de discrepância entre as coordenadas observadas com os receptores em questão e as coordenadas de referência dos marcos geodésicos. A partir destas discrepâncias efetuou-se o cálculo dos erros planimétricos, considerando as componente N (Norte) e E (Leste). A componente h (altitude elipsoidal) proveniente do rastreio foi avaliada de maneira individual e também em conjunto com as coordenadas projetadas (N, E). A esta avaliação conjunta do erro planimétrico com a discrepância da altitude elipsoidal chamou-se de erro tridimensional.

Na Figura 6 apresenta-se a dispersão planimétrica das coordenadas obtidas com o receptor QSTARZ1.

Figura 6 – Posicionamento Planimétrico UTM com o QSTARZ1 no PT1



O QSTARZ 1 foi posicionado sobre o PT1 (Figura 1). Verificou-se uma amplitude máxima de dispersão na componente N de 4,2m e de 4,5m para a componente E.

Nas Figuras 7 e 8 indica-se os erros planimétricos e tridimensionais, respectivamente, obtidos no posicionamento com o receptor QSTARZ1 nas 4875 coordenadas registradas. O erro planimétrico máximo foi de 5,7m e o erro tridimensional máximo foi de 11,4m, valor esse obtido nas primeiras épocas rastreadas. Para o caso de se efetuar uma filtragem desconsiderando estes dados iniciais (Figura 8) O erro tridimensional máximo passa a ser igual a 7,8m.

Figura 7 – Erro Planimétrico com o QSTARZ1 no PT1

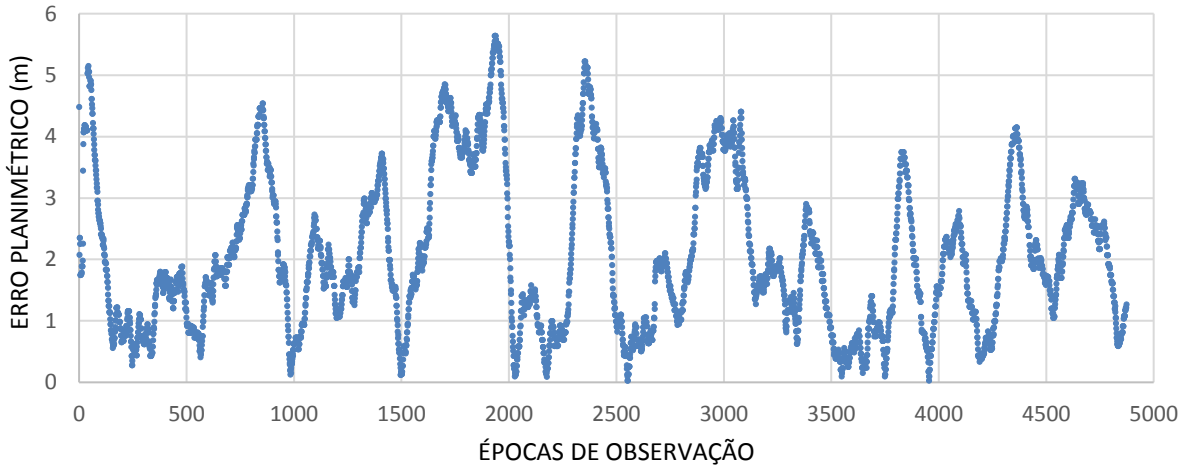


Figura 8 – Erro Tridimensional com o QSTARZ1 no PT1

Na Figura 9 tem-se os erros planimétricos calculados ao longo do rastreio efetuado com o receptor QSTARZ2. Verifica-se o erro planimétrico máximo de 8,1m, sendo as maiores diferenças obtidas no início do rastreio. Na Figura 10 tem-se os erros tridimensionais referentes ao mesmo receptor, cujo erro planimétrico máximo é de 12,8m sendo os valores mais elevados obtidos também nas épocas iniciais. Posteriormente a magnitude destes erros é inferior à 8 metros.

Figura 9 – Erro Planimétrico com o QSTARZ2 no Pilar 2000

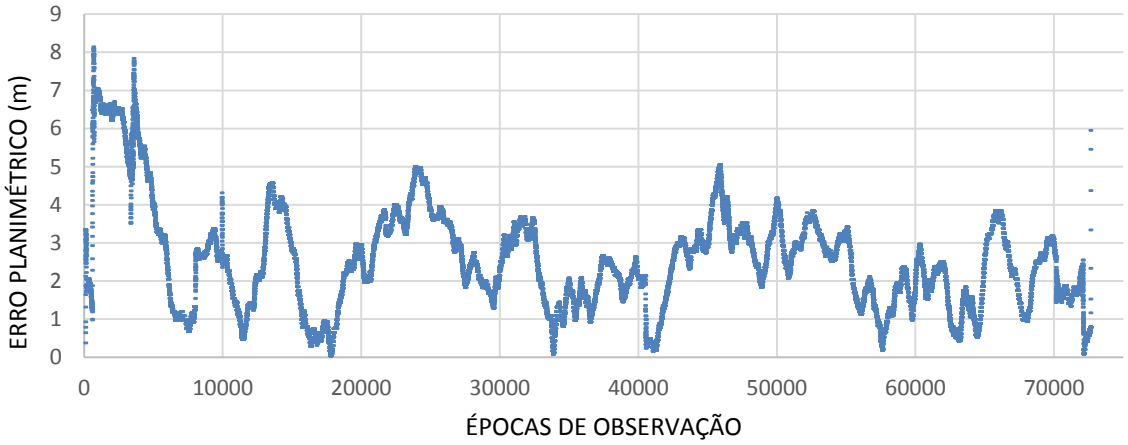
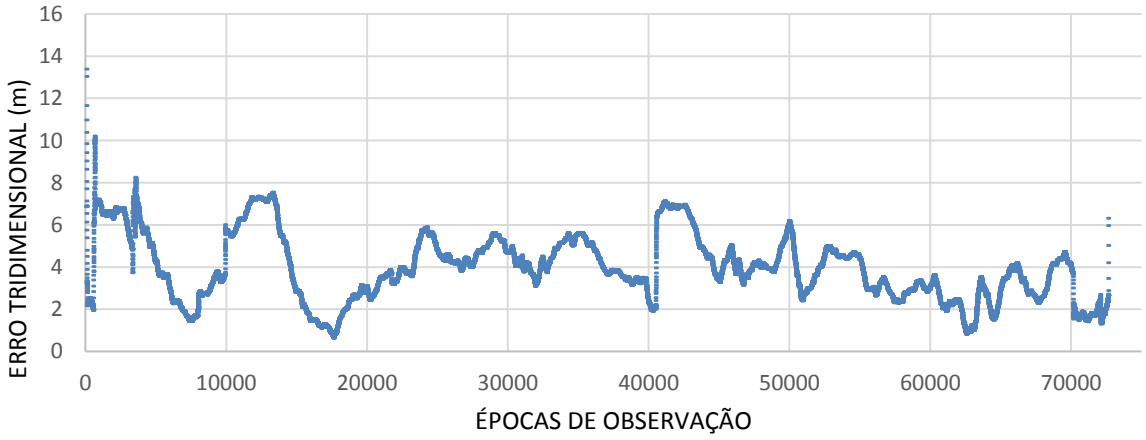


Figura 10 – Erro Tridimensional com o QSTARZ2 no Pilar 2000



Na Figura 11 constata-se que às 16 horas encontravam-se visíveis no local de rastreio 4 satélites GPS em órbita ascendente e 5 satélites em órbita descendente. Percebe-se uma mudança de 9 para 8 satélites (Figura 12) entre as 16 horas e 16:30 horas. As 17 horas tem-se um total de 10 satélites. O GDOP, que é um indicador da qualidade dos sinais, teve o valor máximo registrado de 3,5. O que pode ser considerado como um ótimo valor, visto que a literatura recomenda o valor máximo de 6.

Figura 11 – Elevação dos satélites GPS no dia 10/04/2017
Efetuado pelo Trimble GNSS Planning Online

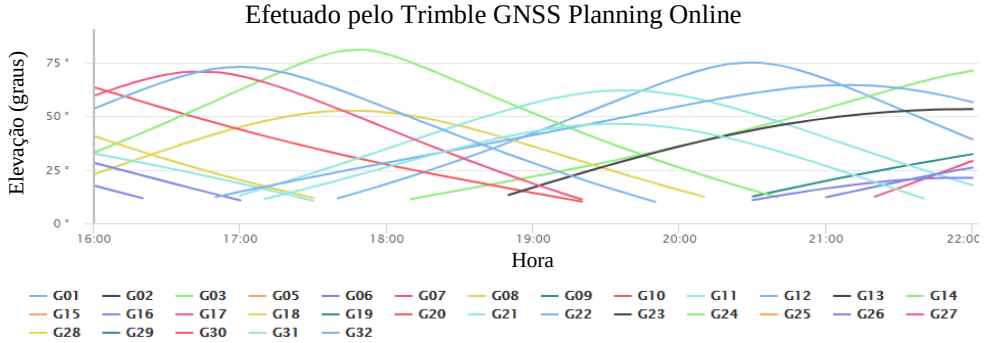
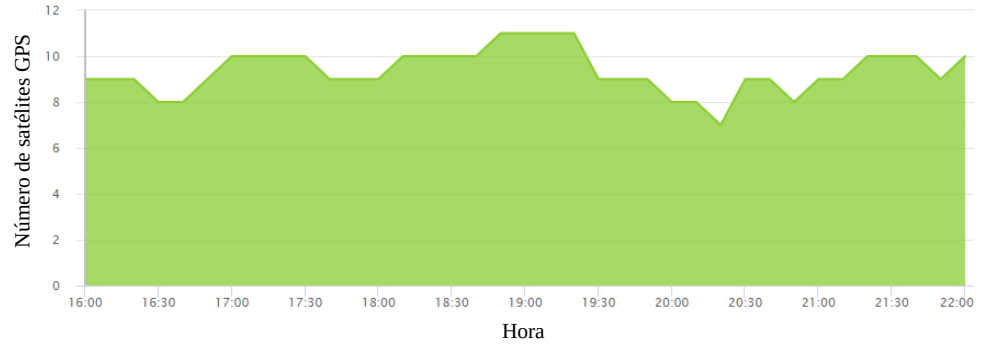


Figura 12 – Número de satélites observados no dia 10/04/2017
Efetuado pelo Trimble GNSS Planning Online



Para os receptores GARMIN os erros planimétricos estão indicados nas Figuras 13 e 14. A primeira (Garmin 1), é composta de 597 valores e a segunda (Garmin 2) de 712 valores, tendo-se os erros planimétricos máximos de 6,2m e de 6,9m, respectivamente. Visualmente estes gráficos diferem daqueles obtidos com os receptores QSTARZ, embora as características dos rastreios serem semelhantes, em função de que o intervalo de gravação no caso dos receptores Garmin foi maior visando a economia de bateria.

Figura 13 – Erro Planimétrico com o Gamin1 no Pilar 1000

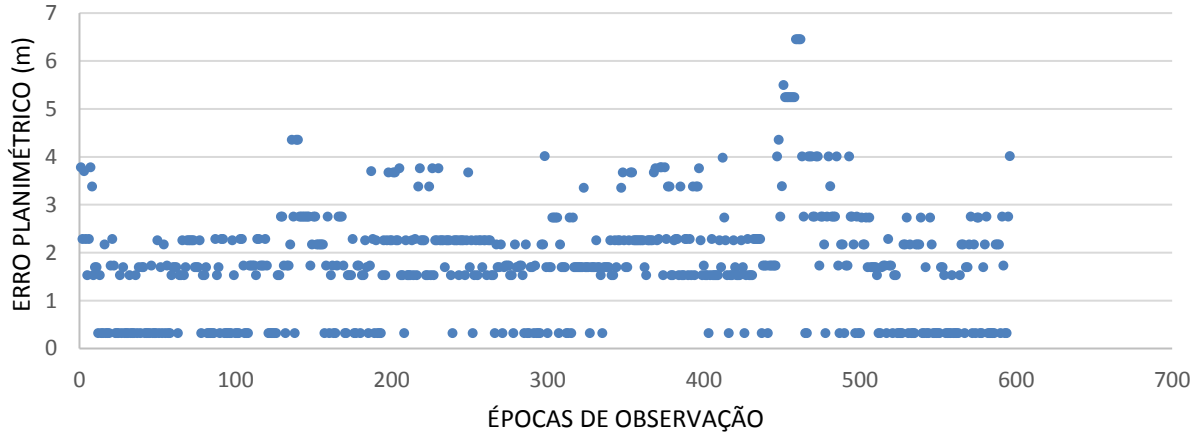
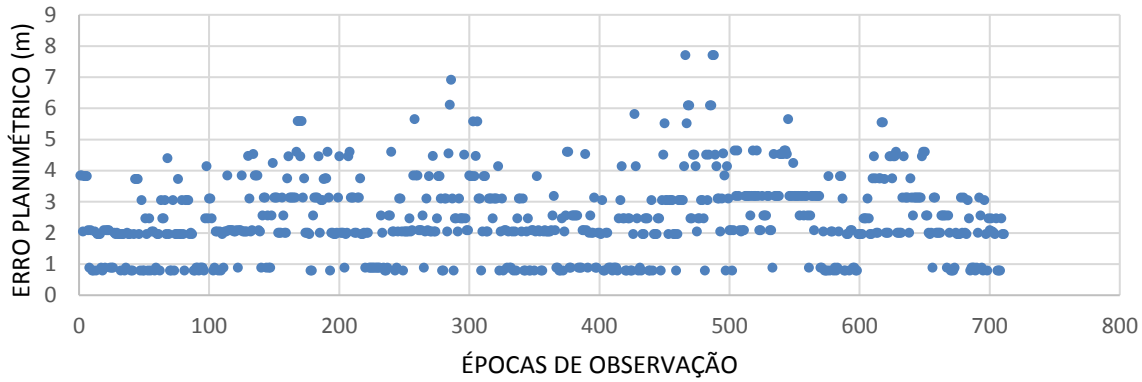


Figura 14 – Erro Planimétrico com o Gamin2 no Pilar 3000



Os erros tridimensionais para estes receptores podem ser visualizados nas Figuras 15 e 16, respectivamente. No primeiro caso a amplitude máxima do erro é de 7,8m e no segundo caso é de 7,7m.

Figura 15 – Erro Tridimensional com o Gamin1 no Pilar 1000

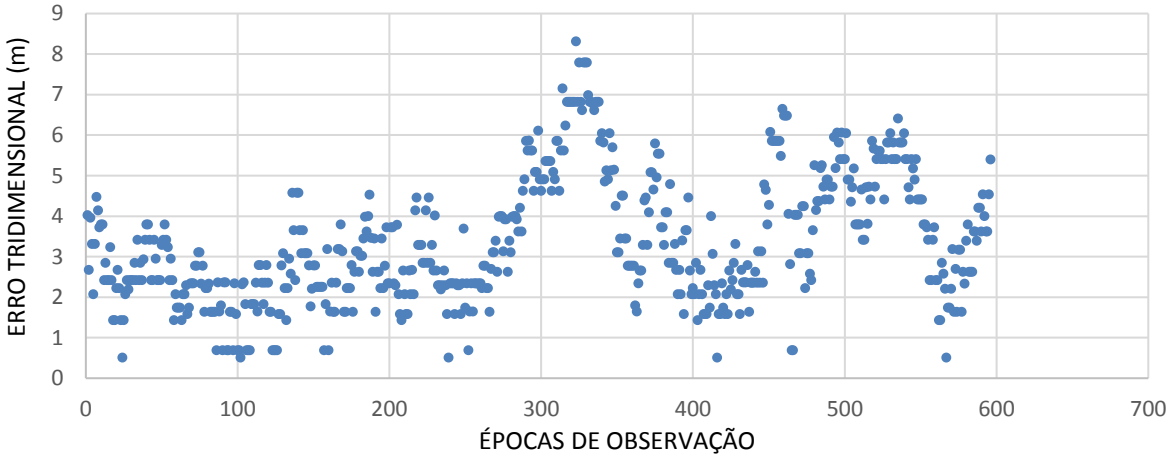
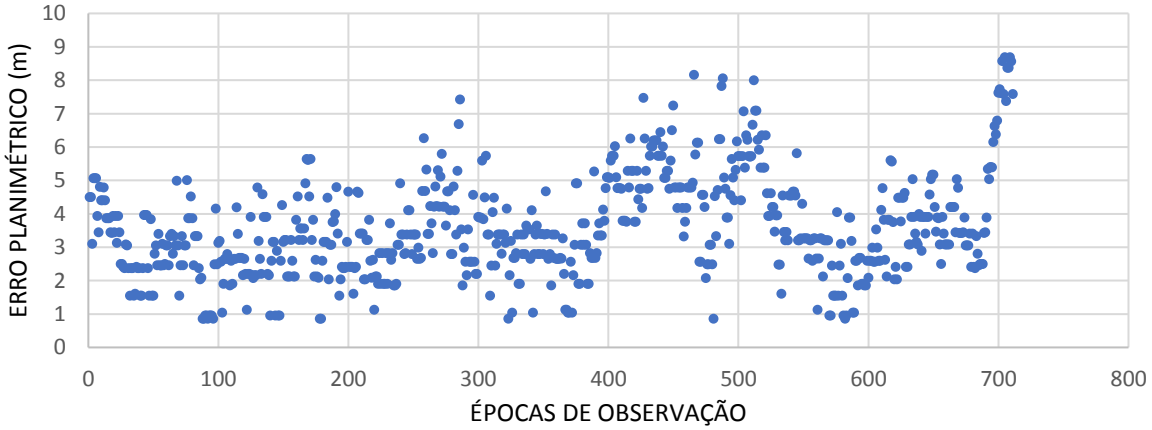


Figura 16 – Erro Tridimensional com o Gamin2 no Pilar 3000



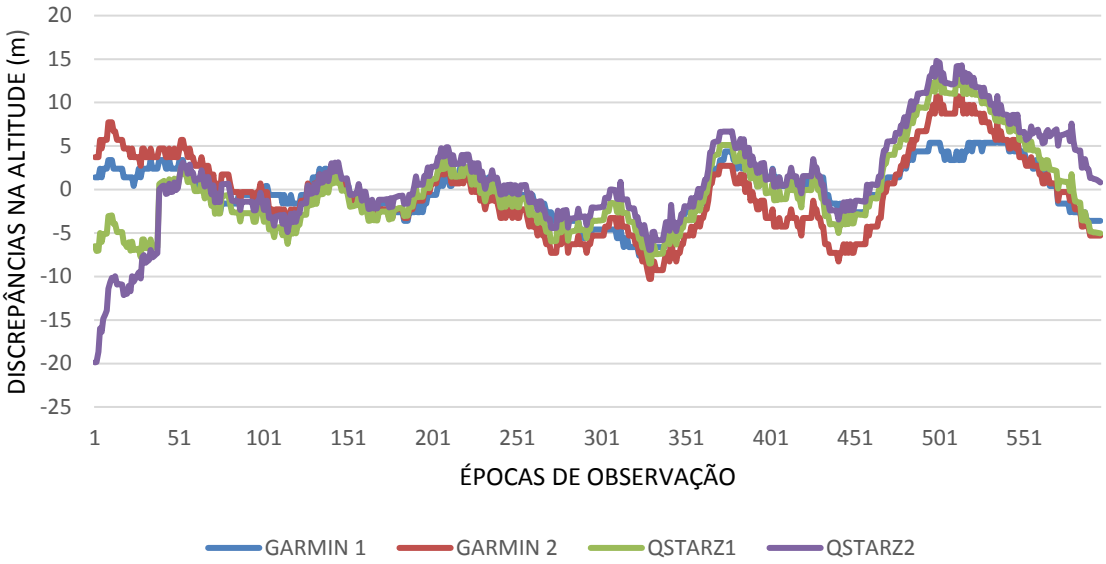
Na Tabela 2 apresenta-se a síntese de resultados obtidos. Nela estão destacadas as discrepâncias máximas para as duas componentes UTM (N e E) e para a Altitude (h), assim como os erros planimétricos e tridimensionais médios e os respectivos desvios-padrão de cada conjunto de dados. Os valores médios dos erros planimétricos foram inferiores a 2,6 m e dos erros tridimensionais foram inferiores a 4,0m. Todos os desvios-padrão médios foram inferiores a 1,4m para o erro planimétrico e foram inferiores a 1,9m para o erro tridimensional.

Tabela 2 – Síntese dos resultados

Receptor	Discrepância máx. (m)			Erro Planimétrico (m)		Erro Tridimensional (m)	
	Altitude	N	E	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio-padrão
Garmin 1	-7,61	5,02	4,1	1,80	1,14	3,37	1,56
Garmin2	8,33	7,52	5,57	2,44	1,26	3,57	1,48
Qstarz 1	-8,21	4,22	4,50	2,06	1,25	3,42	1,82
Qstarz 2	-7,60	6,53	7,13	2,56	1,35	3,96	1,56

Considerando-se que as maiores discrepâncias foram na altitude elipsoidal destaca-se estas discrepâncias por meio destes receptores na Figura 17.

Figura 17 – Discrepâncias na altitude – Receptores Garmin



4. CONCLUSÕES

Todos os erros planimétricos e tridimensionais obtidos nestes rastreios são inferiores aos erros indicados pela literatura considerando a técnica de segurança SA desativada, sendo inferiores a 13m para a componente planimétrica e inferiores a 25m considerando a componente vertical. Estes valores caracterizam a acurácia das observações, visto que foram determinados em função de coordenadas definidas com precisões milimétricas. Pode-se verificar que nestes experimentos os valores obtidos tiveram uma redução, que indica melhora nos resultados, de pelo menos 50% nos valores esperados, fato este diretamente relacionado ao número abundante de repetições, visto que foi efetuado um posicionamento estático durante várias horas (Tabela 1), também como, em função do número total de satélites disponíveis atualmente pela constelação GPS, e da influência de poucas obstruções no entorno dos receptores.

Com base nos valores apresentados na Tabela 2, obteve-se um erro planimétrico médio para os receptores do fabricante GARMIN de 2,12 m, com um desvio padrão médio de 1,2m e para o receptor QSTARZ, o erro planimétrico médio foi igual a 2,31m, com um desvio padrão médio de 1,3m. No caso do erro tridimensional tem-se um valor médio de 3,47m com desvio padrão médio de 1,52m e 3,69m com desvio padrão médio de 1,69m para os receptores GARMIN e QSTARZ, respectivamente.

A avaliação do desempenho destes equipamentos foi efetuada com base nas discrepâncias entre as coordenadas observadas e as coordenadas precisas dos marcos geodésicos adotadas como referência. Observa-se que os resultados obtidos com ambos os modelos de receptores foram melhores que os esperados. O modelo do fabricante QSTARZ, de menor custo, apresentou resultados muito próximos aos obtidos com outro modelo, apresentando-se como uma boa alternativa no que tange o custo benefício.

Na avaliação tridimensional verificou-se que o receptor Garmin teve resultados ligeiramente melhores que o QSTARS, contudo, não se pode associar este ganho ao fato de que este receptor possui um altímetro barométrico, visto que o mesmo propiciou melhores resultados também na planimetria.

No que tange as aplicações clássicas, como o mapeamento topográfico, verifica-se que de acordo com a NBR 13133 (ABNT, 1994), o erro de graficismo máximo admissível é de 0,2 mm, que equivale a duas vezes a acuidade visual. Assim, considerando um erro planimétrico de 3m (valor superior ao erro médio calculado), pode-se dizer que para escalas menores que 1:15000 este erro torna-se irrelevante. Além disto, estes equipamentos poderão ser utilizados em aplicações tais como na determinação de pontos de apoio para o georreferenciamento de imagens com resolução menor que 3m.

Desta forma pode-se afirmar que tais equipamentos poderão ser utilizados em pesquisas futuras abrangendo uma gama maior de aplicações.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo provimento da bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13133: **Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 1994.

EUA**. Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics**. Disponível em<https://www.gps.gov/systems/gps/space/> (acesso: 04/06/2018).

FREIBERGER JUNIOR, J. **Investigações da Calibração Relativa de Antenas GNSS.** Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, 2007.

GARMIN. **GPSMAP 64S**. Disponível em <http://buy.garmin.com/pt-BR/BR/p/140022>. Acesso: 16 agosto 2018.

KRUEGER, C. P. **Posicionamento por satélites**. Apostila do Curso de Especialização em Geotecnologias – Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

QSTARZ. **BT Q1000**. Disponível em <http://www.qstarz.com/Products/GPS%20Products/BT-Q1000.html#specification>. Acesso: 16 agosto 2018.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Berlin,New York: Walter de Gruyter, 612 páginas, 2003.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **GPS Theory and Practice**. New York, 2001. Springer. 5ª ed.

AVALIAÇÃO DO USO COMBINADO GPS/GLONASS NO POSICIONAMENTO POR PONTO CONSIDERANDO DIFERENTES CARACTERÍSTICAS IONOSFÉRICAS

VIVIANE APARECIDA DOS SANTOS [2]
BRUNO PARREIRA DA SILVA[1]
GABRIEL OLIVEIRA JEREZ [2]
DANIELE BARROCA MARRA ALVES [2,3]

Universidade Estadual Paulista – Unesp
[1]Faculdade de Ciências e Tecnologia- FCT/ Presidente Prudente- SP
[2] Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas - PPGCC
[3] Departamento de Cartografia
vivian_edos_santos@hotmail.com, brunoparreiradasilva@gmail.com, gabrielojerez@gmail.com, daniele.barroca@unesp.br

RESUMO – A ionosfera é uma das principais fontes de erro sistemático no posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*), sendo que a mesma está relacionada com o TEC (*Total Electron Content*). O TEC é influenciado por diversas variáveis, tais como: ciclos solares, época do ano, hora local, localização geográfica e atividade geomagnética. Com isso, é possível constatar que a influência da ionosfera no posicionamento GNSS terá influência dessas mesmas variáveis. Diante disso, o presente artigo teve como objetivo avaliar a qualidade do posicionamento por ponto (PP) e do posicionamento por ponto preciso (PPP) fazendo uso de dados GPS, GLONASS e GPS/GLONASS considerando períodos com diferentes comportamentos da atividade ionosférica. Além disso, foram ainda considerados diferentes intervalos de coleta, verificando-se a relação deste com a qualidade do posicionamento. A partir dos resultados obtidos, tanto no PP como no PPP notou-se a relevância do uso combinado dos dados GPS/GLONASS, principalmente quando é considerado um menor tempo de coleta de dados.

ABSTRACT - In the GNSS (*Global Navigation Satellite System*) the ionosphere is one of the main sources of systematic error, being that it is related to the TEC (*Total Electron Content*). The TEC is influenced by diverse variables, such as: solar cycle, time of the year, local time, geographic position and geomagnetic activity. With this, it is possible to verify that the influence of the ionosphere in the GNSS positioning will be influenced by these same variables. Thus, e this article aimed to evaluate the quality of the point positioning (PP) and precise point positioning (PPP) making use of GPS data, GLONASS and GPS/GLONASS considering periods with different behaviors of the ionospheric activity. In addition, different collection intervals were considered, verifying the relation of this with the quality of the positioning. From the results obtained, both in PP and in PPP it was noted the relevance in the combined use of GPS/GLONASS data, when it is considered a shorter data collection time.

1 INTRODUÇÃO

Uma das tecnologias espaciais mais avançadas utilizada no posicionamento é o GNSS (*Global Navigation Satellite System*), no qual o princípio básico é a obtenção de distância entre a antena do receptor e, no mínimo, quatro satélites (MONICO, 2008). O GNSS é composto por diversos sistemas, sendo que os principais são o GPS (*Global Positioning System*), o GLONASS (*Global Navigation Satellite System*), o Galileo e o BeiDou. Porém, dentre esses sistemas, o GPS e o GLONASS são os únicos que possuem constelação completa atualmente.

O GPS é um sistema desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, com objetivo de ser o principal sistema de navegação das Forças Armadas norte-americanas (SEEBER, 2003). A proposta do GPS surgiu na década de 1970, mas o mesmo se tornou operacional somente em 1995, com 24 satélites em órbita. Até meados de 2000 o Departamento de Defesa dos EUA impunha a chamada "disponibilidade seletiva" que consistia em um erro induzido ao sinal impossibilitando que aparelhos de uso civil operassem com precisão inferior a 90 metros, mas a partir em 2000 o SA foi extinto, o que resultou em um posicionamento 10 vezes mais preciso (MONICO, 2008; SEEBER, 2003).

O GLONASS foi desenvolvido pela antiga URSS (União das Repúblicas Socialistas Soviéticas) no início da década de 1970. Atualmente esse sistema é desenvolvido e operado pelo governo russo. Em 1995 o sistema foi declarado operacional com uma constelação de 24 satélites. Assim como o GPS, o GLONASS foi criado com o objetivo de proporcionar o posicionamento 3D, velocidade e tempo sob qualquer condição climática e em todo globo (FEDERAL SPACE AGENCY, 2018). Mas, diferentemente do GPS, que manteve seu funcionamento, o GLONASS teve um período de degradação por falta de investimentos e curta vida útil dos primeiros satélites (FEAIRHELLER e CLARK, 2006). Mas desde 2011 o GLONASS passou a contar com constelação completa, voltando a oferecer cobertura global (JEREZ, 2017).

Do satélite ao receptor os sinais GNSS podem sofrer diferentes tipos de influência, que podem provocar variações em sua direção e velocidade de propagação, polarização e potência. A ionosfera é a principal fonte de erro sistemático no posicionamento pelo GNSS, e está relacionada com o TEC (*Total Electron Content*) presente na ionosfera que, por sua vez, é influenciado por diversas variáveis: ciclo solar, época do ano, hora local, localização geográfica e atividade geomagnética (CAMARGO, 1999).

Diante disso, nesse artigo foi proposta a avaliação da qualidade do posicionamento por ponto e do posicionamento por ponto preciso fazendo uso de dados GPS, GLONASS e GPS/GLONASS, considerando períodos com diferentes comportamentos da atividade ionosférica, diferentes intervalos de coleta e diferentes localizações geográficas.

2 IONOSFERA

A radiação solar provoca a fotoionização da atmosfera terrestre nas altas altitudes, criando, na atmosfera superior, regiões parcialmente ionizadas, conhecidas como ionosfera, que estão compreendidas, aproximadamente, entre 50 a 1000 km de altura (CAMARGO, 1999; McNAMARA, 1991). De acordo com Osório (1992), a densidade de elétrons, responsável pela descrição do estado da ionosfera, sofre diferentes variações quando se leva em consideração: as coordenadas geográficas ou geomagnéticas, a hora local, a altitude, a época do ano, o ciclo de manchas solares, as tempestades geomagnéticas e, até mesmo, as marés e os ventos na termosfera. Como este artigo tem como objetivo analisar a influência da localização geográfica, da hora local e a época do ano no posicionamento, apenas esses itens serão descritos a seguir, para obter informações sobre os demais efeitos pode ser consultada a referência MATSUOKA (2007).

Em relação à variação diurna, ela se deve à radiação solar, onde no decorrer do dia a densidade de elétrons depende da hora local (HL), sendo que seu valor máximo ocorre entre 12 HL e 16 HL, sendo o pico máximo ás 14 HL. Já em regiões de baixas latitudes como o Brasil, ocorre um segundo máximo logo após o pôr do Sol (21-22 HL), sendo normalmente maior que o primeiro (MATSUOKA, 2007).

Já em relação a localização geográfica, pode-se dizer que, como a ionosfera não é homogênea em todo o globo terrestre, a mesma varia de acordo com a latitude geomagnética devido a mudança do ângulo zenital do Sol, que influencia diretamente no nível de radiação solar. Desta maneira há um alto nível de densidade de elétrons na região equatorial, delimitada pelas latitudes 20° S e 20° N. Devido a alta radiação solar na região equatorial e a disposição do campo magnético da Terra, a densidade de elétrons nesta região sofre sensíveis efeitos, um deles é intitulado de efeito fonte (WEBSTER, 1993). Esse efeito gera a Anomalia de Ionização Equatorial, a qual consiste em duas faixas de alta densidade do plasma ionosférico (RODRIGUES, 2003).

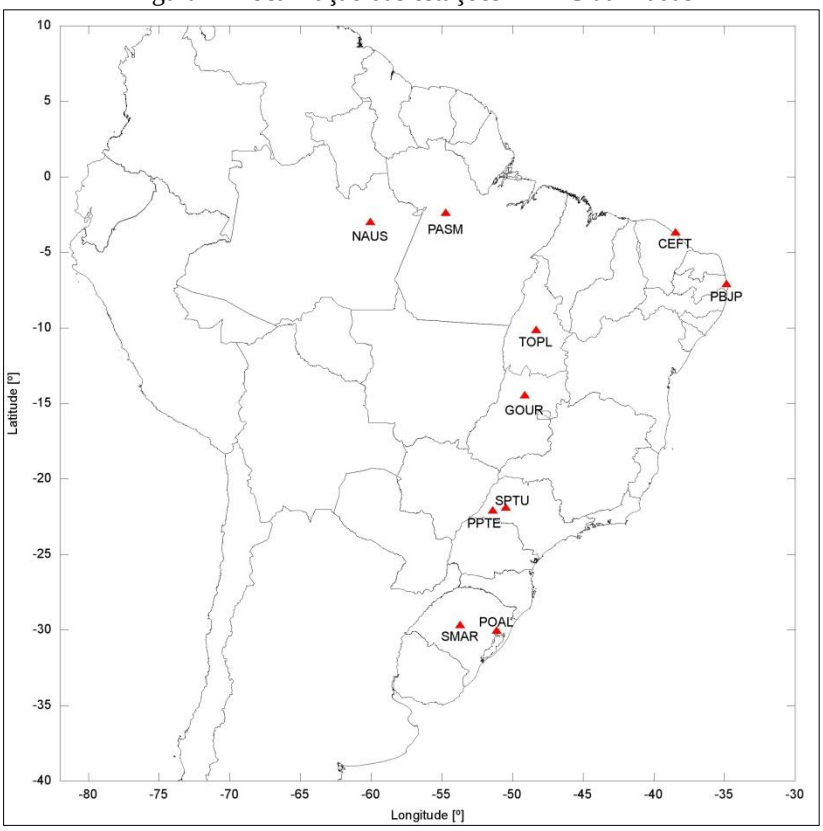
Segundo Rodrigues (2003) o país com a maior presença do seu território no equador magnético é o Brasil e, ao mesmo tempo, é em território brasileiro onde são medidas as maiores declinações do campo magnético no hemisfério sul. A maior intensidade de densidade de elétrons ocorre nos dois lados do equador magnético, entre as latitudes geomagnéticas de ±10° e 20° (RODRIGUES, 2003). As regiões de latitudes médias (±20º a ±60°) podem ser consideradas como relativamente livres das anomalias ionosféricas. Enquanto isso, as regiões polares (latitude variando de ±60º a ±90°) não são previsíveis (WEBSTER, 1993; MATSUOKA, 2007).

No que se refere a época do ano, a densidade de elétrons na ionosfera atinge valores máximos, aproximadamente, nos meses de março, abril, setembro e outubro (equinócio) e valores mínimos nos meses de solstício de inverno e verão (no caso do hemisfério Sul o solstício de verão ocorre no mês de dezembro, enquanto que o solstício de inverno acontece em junho) (MATSUOKA, 2007).

3 METODOLOGIA

Neste trabalho foram utilizados dados de estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) (Figura 1Figura **1**), sendo selecionadas: POAL (Porto Alegre- RS) e SMAR (Santa Maria- RS) para a região Sul, SPTU (Tupã- SP) e PPTE (Presidente Prudente- SP) para a região Sudeste, TOLP (Palmas- TO) e GOUR (Uruaçu-GO) para a região Centro-Oeste, NAUS (Manaus –AM) e PASM (Santarém- PA) para a região Norte e CEFT (Fortaleza –CE) e PBJP (João Pessoa- PB) para a região Nordeste.

Figura 1- Localização das estações RBMC utilizadas



Os experimentos foram realizados utilizando arquivos de dez estações com diferentes tempos de coleta de dados: 30 minutos (das 17h às 17h 30min UTC), 1 hora (das 17h às 18h UTC) e 4 horas (das 17h às 21h UTC), período esse que ocorre os maiores valores de TEC, sendo o pico máximo às 14 HL (17 UTC). É importante salientar que as estações SMAR, POAL, PPTE, SPTU, GOUR, TOPL, PASM, CEFT, PBJP possuem uma diferença de -3h em relação ao UTC, enquanto que a estação NAUS apresenta uma diferença de -4h. Além disso, considerou-se dois períodos, inverno (29 e 30 de junho) e verão (13 e 14 de outubro) do ano de 2016, visando avaliar o desempenho do posicionamento em períodos que possuem baixa e alta densidade de elétrons.

Para o processamento dos dados foi utilizado o *software online* CSRS–PPP (*Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning*) desenvolvido pela *NRCan (Natural Resources of Canada)*. Esse *software* permite realizar o PPP com dados GNSS no modo estático e cinemático para dados de simples ou dupla frequência (http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php).

Por meio do *software* CSRS–PPP foram realizados processamentos no modo pós-processado estático. A partir dos resultados obtidos com os processamentos foram calculadas as discrepâncias nas coordenadas, sendo consideradas como verdadeiras as coordenadas oficiais das estações atualizadas para a época dos dados. Com essas discrepâncias e os desvios padrão foram então calculados os EMQs 3D (Erro Médio Quadrático) das posições obtidas para as estações utilizadas.

Vale ressaltar que esse processo foi feito tanto para o PP quanto para o PPP, sendo que ambos são métodos que necessitam de apenas um único receptor, porém o PP utiliza como observável a pseudodistância, derivada do código C/A presente na portadora L1, enquanto que o PPP utiliza a fase e/ou pseudodistância. Além disso, no PPP todos os erros envolvidos com os sinais devem ser modelados para que se obtenha acurácia da ordem de poucos centímetros. Desta forma as seções seguintes apresentam os resultados obtidos utilizando o PP (seção 4.1) e PPP (seção 4.2).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

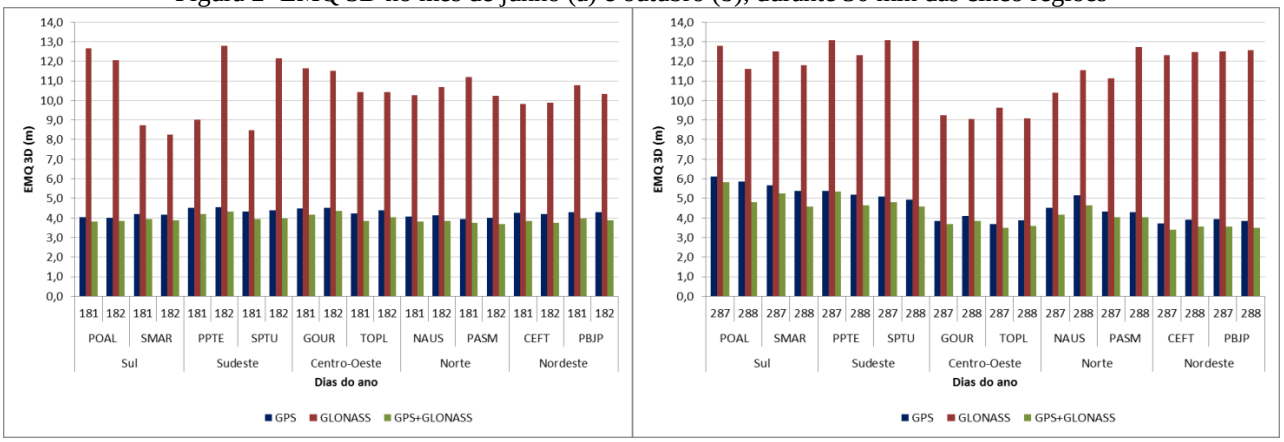
Nesta seção são apresentados os resultados e análises realizadas para os resultados com PP e PPP, considerando as variações em relação a tempo de coleta, período do ano e sistemas utilizados.

4.1 Análise do PP

A Figura 2 apresenta o EMQ 3D obtido no processamento dos dados das cinco regiões brasileiras, com tempo de coleta de 30 minutos, dos meses de junho (a) e outubro (b), utilizando dados GPS, GLONASS e GPS/GLONASS.

Observou-se que tanto no mês de junho quanto no mês de outubro em todas as regiões, os dados seguiram um padrão: apresentaram maior erro ao utilizar somente GLONASS, e os melhores resultados foram obtidos ao empregar dados combinados (GPS/GLONASS).

Figura 2- EMQ 3D no mês de junho (a) e outubro (b), durante 30 min das cinco regiões

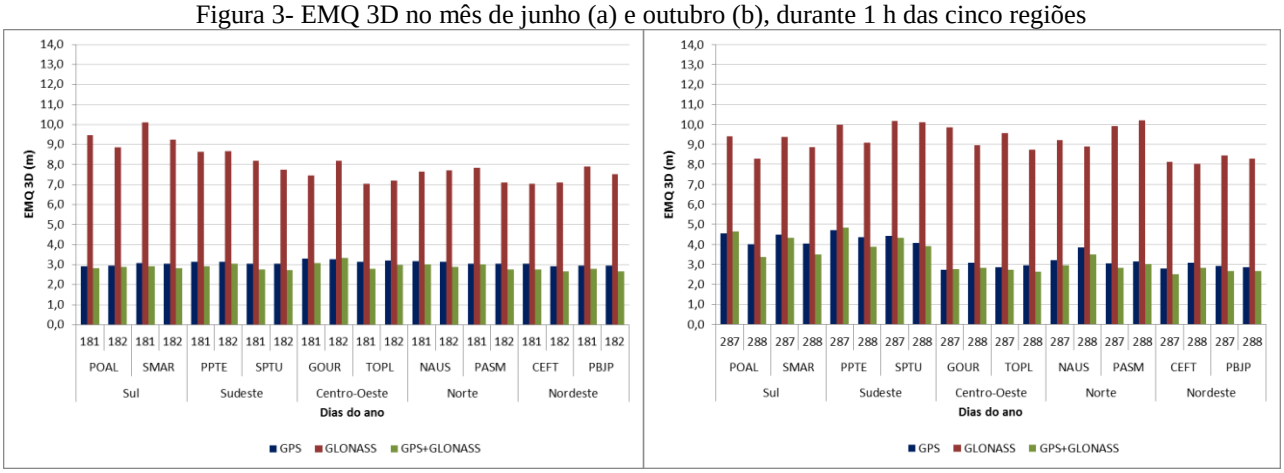


(a) (b)

Ao empregar dados GPS/GLONASS no período de junho, as regiões Sudeste e Centro-Oeste foram as que apresentaram os maiores valores de EMD 3D, chegando a atingir 4,30 m e 4,36 m, respectivamente. Enquanto que no período de outubro as regiões mais afetadas foram a Sul e Sudeste, nas quais o EMQ 3D chegou alcançar 5,829 m e 5,348 m, respectivamente. A partir desses resultados nota-se que o período de maior incidência solar (outubro) apresentou os maiores valores EMQ 3D quando comparado com o período de menor incidência (junho), como esperado de acordo com Matsuoka (2007).

A Figura 3 apresenta o EMQ 3D obtido por meio do processamento dos dados no *software* CSRS–PPP, dados esses do período de junho (a) e outubro (b) durante 1h das cinco regiões brasileiras. Ao realizar uma análise comparativa entre a Figura 2 e a Figura 3 nota-se que houve uma melhoria em torno de 20% no posicionamento.

Figura 3- EMQ 3D no mês de junho (a) e outubro (b), durante 1 h das cinco regiões

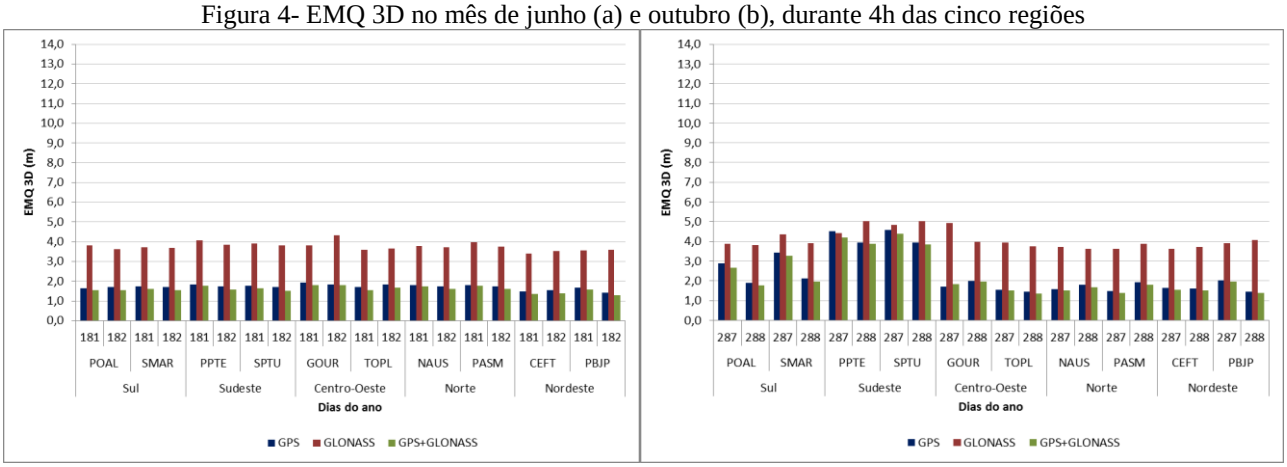


(a) (b)

Na Figura 3, nota-se que no mês de junho o dia 30 (182) da estação GOUR foi o único que não apresentou melhoria ao utilizar dados combinados, onde o EMQ 3D utilizando apenas dados GPS foi de 3,25 m, enquanto que utilizando dados GPS/GLONASS foi de 3,33 m. Já no mês de outubro o dia 13 (287) das estações POAL, PPTE e GOUR apresentaram EMQ 3D com dados combinados maior que com dados GPS. No mês de junho a média do EMQ 3D com dados combinados foi de 2,88 m, enquanto que no mês de outubro foi de 3,32 m, como já esperado, já que em outubro há maior densidade de elétrons. Além disso, verifica-se que as estações POAL, SMAR, PPTE e SPTU durante o mês de outubro foram as que tiveram maior EMQ 3D com dados combinados.

A Figura 4 mostra o EMD 3D obtido no período de junho (a) e outubro (b), durante 4h de dados. Analisando a figura nota-se que no mês de junho todos os dias analisados apresentaram melhoria no resultado do posicionamento quando se emprega dados GPS/GLONASS, enquanto que no mês de outubro o único dia que não apresentou melhoria foi o dia 13 de outubro (287) da estação GOUR. Assim como apresentado na Figura 3, na Figura 4 é possível observar que o EMD 3D no mês de junho é menor do que o EMQ 3D de outubro.

Figura 4- EMQ 3D no mês de junho (a) e outubro (b), durante 4h das cinco regiões



(a) (b)

Na Figura 4 pode-se destacar também que no mês de outubro a região Sudeste apresentou um EMQ 3D maior que as demais regiões, uma possível justificativa para esta ocorrência é devido a sua localização geográfica, pois essa região é afetada pelo efeito fonte no período em que há alta radiação solar.

Outro fator importante a ser observado é que ao realizar uma análise comparativa dos gráficos apresentados na Figura 4 com os gráficos apresentados nas Figuras 2 e 3, nota-se que como o intervalo de dados foi maior na Figura 4, todos os EMQ 3D apresentaram valores inferiores que as demais figuras, confirmando que quando o intervalo de coleta aumenta o resultado do posicionamento melhora.

A Tabela 1 apresenta a média e o desvio padrão dos EMQs 3D para os períodos de 30 min, 1h e 4h, nos meses de junho e outubro, utilizando dados GPS, GLONASS e GPS/GLONASS.

Tabela 1- Média e desvio padrão do EMQ 3D, considerando o PP

Período	Mês	Dados	Média do EMD 3D (m)	Desvio Padrão do EMD 3D (m)
30min	Junho	GPS	4,246	0,187
		GLONASS	10,566	1,323
		GPS/GLONASS	3,940	0,184
	Outubro	GPS	4,638	0,791
		GLONASS	11,645	1,407
		GPS/GLONASS	4,265	0,715
1h	Junho	GPS	3,078	0,110
		GLONASS	8,030	0,878
		GPS/GLONASS	2,883	0,163
	Outubro	GPS	3,554	0,702
		GLONASS	9,173	0,712
		GPS/GLONASS	3,328	0,738
4h	Junho	GPS	1,711	0,125
		GLONASS	3,755	0,204
		GPS/GLONASS	1,593	0,141
	Outubro	GPS	2,378	1,083
		GLONASS	4,097	0,486
		GPS/GLONASS	2,271	1,038

Ao analisarmos a Tabela 1 é possível notar que a média do EMQ 3D dos dados combinados em todos os períodos estudados foi menor quando comparada com o uso dos sistemas de forma autônoma. Outro padrão observado foi que nos três períodos de dados (30 min, 1h e 3h) a média do mês de outubro foi maior quando comparada com a

média do mês de junho, já que no mês de outubro a densidade eletrônica na ionosfera alcança valores máximos, enquanto que no mês de junho atinge valores mínimos.

Em relação ao desvio padrão foi possível notar que, na maioria dos casos, o mês de outubro apresentou os maiores valores. Além disso, observou-se que o maior desvio padrão (1,4070 m) foi no período de 30 min, no mês de outubro, quando se utilizou apenas dados GLONASS, enquanto que o menor desvio padrão (0,1101 m) foi no mês de junho, durante 1 h, utilizando apenas dados GPS.

Na Tabela 2 é apresentada a melhoria em porcentagem do EMQ 3D utilizando dados GPS/GLONASS em relação ao EMQ 3D com apenas dados GPS.

Tabela 2- Melhoria em porcentagem no PP

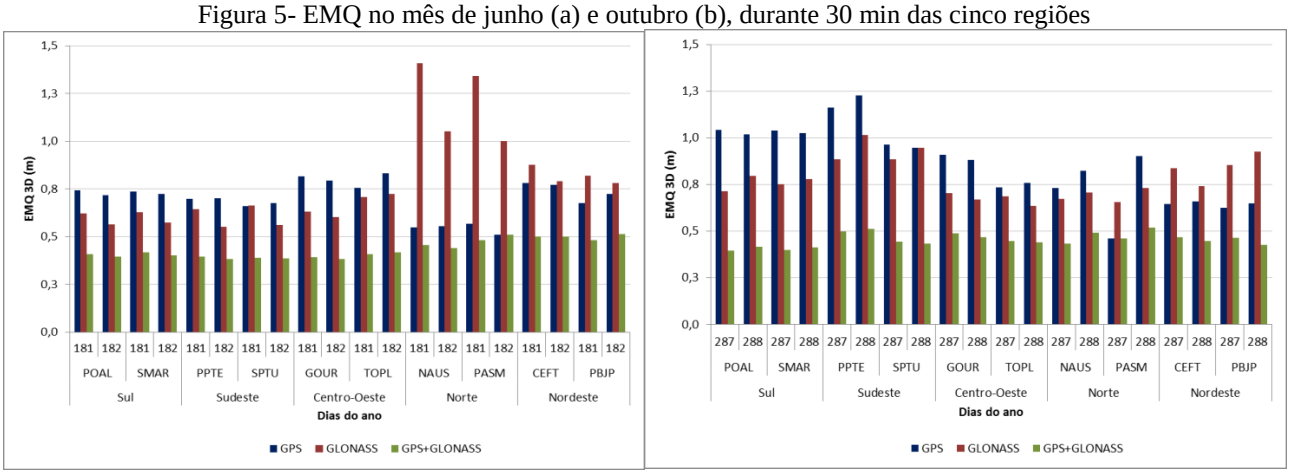
Período	Mês	Melhoria (%)
30 min	Junho	7,19
	Outubro	7,90
1 h	Junho	6,37
	Outubro	6,59
4h	Junho	6,95
	Outubro	4,50

A partir da Tabela 2 nota-se que a melhora variou entre 4,5% a 7,90% no PP, sendo que no mês de outubro a melhoria no posicionamento foi menos significativa quando o período de dados aumentou.

4.2 Análise do PPP

A Figura 5 mostra o EMQ 3D nos meses de junho (a) e outubro (b), durante 30 min das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste. Analisando a figura é possível observar que em todos os dias analisados o uso de dados combinados teve melhor desempenho quando comparado com os resultados obtidos utilizando somente dados GPS ou GLONASS.

Figura 5- EMQ no mês de junho (a) e outubro (b), durante 30 min das cinco regiões



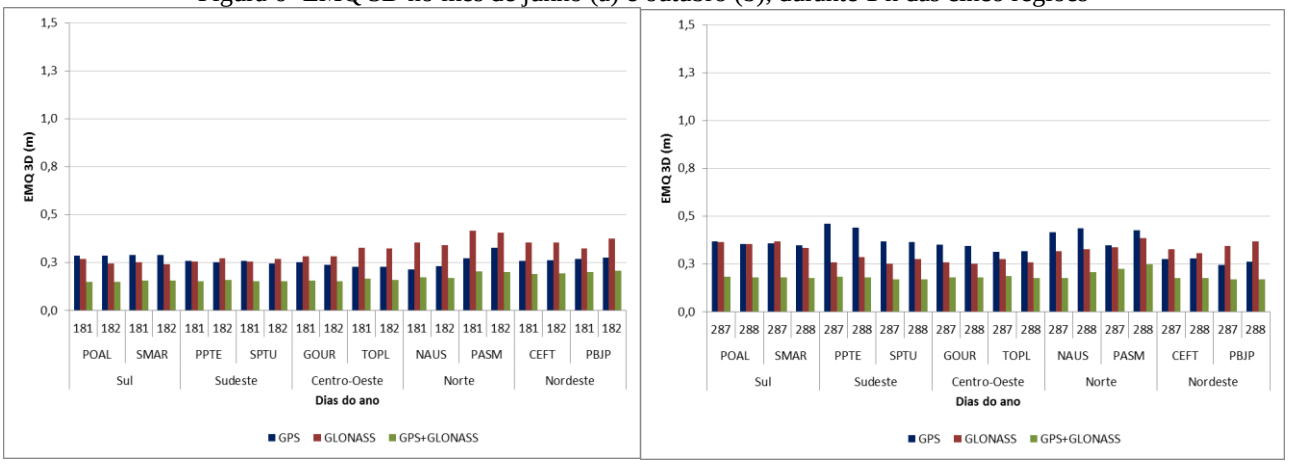
(a) (b)

Analisando a Figura 5 pode-se notar ainda que durante o mês de junho ao utilizar somente dados GLONASS, as regiões Norte e Nordeste apresentaram os maiores valores de EMQ 3D, enquanto que para o mesmo período as demais regiões apresentaram maior erro quando se utilizou somente dados GPS. Já no mês de outubro, na maioria dos dias estudados, o maior EMQ 3D ocorreu ao utilizar unicamente dados GPS, com exceção a região Nordeste e o dia 287 da estação PASM da região Norte, que apresentaram o maior EMQ ao aplicar somente dados GLONASS. Além disso, ao comparar os resultados dos dados combinados do mês de junho com os de outubro constata-se que os valores de EMQ 3D foram muito próximos, sendo que as regiões Sudeste e Centro-Oeste foram as únicas em que todos os EMQ 3D aumentaram no mês de outubro.

Comparando os resultados da Figura 5 com a Figura 2 da seção 4.1, é possível constatar que os valores de EMQ 3D aplicando o PP são aproximadamente 10 vezes pior que quando utilizou-se o PPP, já que o PP é um método de posicionamento de baixa precisão.

Na Figura 6 é possível observar os valores de EMQ 3D obtidos com o processamento dos dados durante 1h nos meses de junho (a) e outubro (b), das cinco regiões brasileiras.

Figura 6- EMQ 3D no mês de junho (a) e outubro (b), durante 1 h das cinco regiões



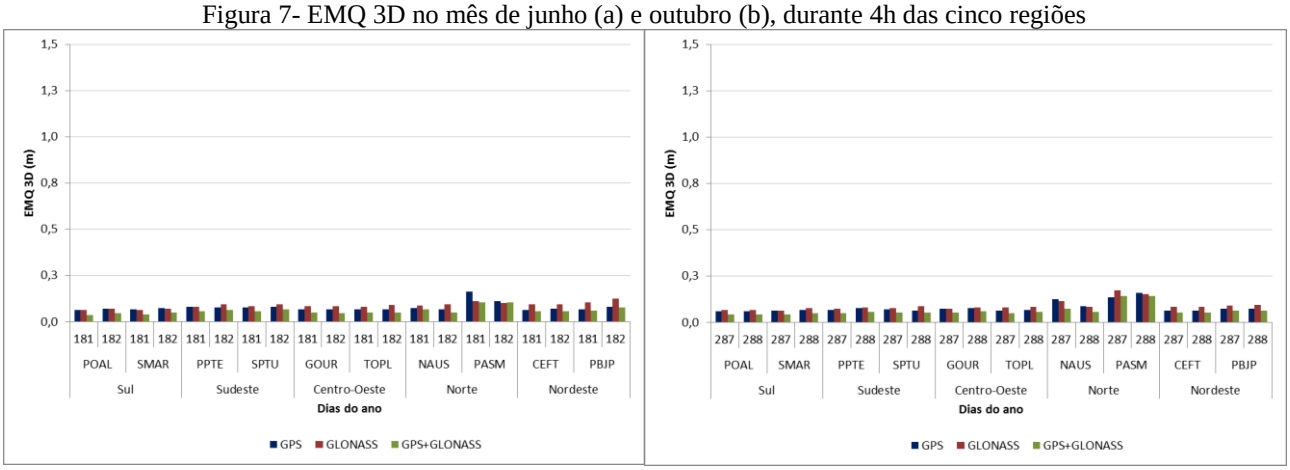
(a) (b)

Analisando a Figura 6 percebe-se que, em ambos os meses, todos os dias avaliados apresentaram melhoria ao utilizar dados GPS/GLONASS, sendo que o valor médio do EMQ 3D no mês de junho foi de 16,9 cm e em outubro de 18,39 cm. Novamente, uma possível explicação para o mês de junho apresentar menor EMQ 3D é que durante esse mês os valores de densidade de elétrons são menores comparados ao mês de outubro, o qual é classificado como um dos meses que a densidade atinge valores máximos.

Ao comparar os valores obtidos com 1h de dados (Figura 6) com os de 30 min (Figura 5) constata-se que o EMQ 3D diminuiu aproximadamente pela metade, o que indica que um maior tempo de dados influencia diretamente na melhora do posicionamento.

Por fim, a Figura 7 exibe o EMQ 3D para o período de 4h de dados das cinco regiões do país nos meses de junho (a) e outubro (b). Comparando os resultados da Figura 7 com a Figura 5 e Figura 6 constata-se que com o maior tempo de coleta houve uma melhora significativa no posicionamento. Além disso, na Figura 7 é possível observar que o uso de dados combinados já não é mais tão significante, uma vez que todos os EMQ 3D estão abaixo de 30 cm.

Figura 7- EMQ 3D no mês de junho (a) e outubro (b), durante 4h das cinco regiões



(a) (b)

Outro ponto que merece destaque é que em ambos os meses a estação PASM foi a que apresentou os maiores valores de EMQ 3D quando utilizou-se dados GPS, GLONASS e GPS/GLONASS. Já em relação à localização geográfica e a época do ano não é possível observar nenhum padrão.

Na Tabela 3 são apresentados os valores de média e o desvio padrão do EMQ 3D para os períodos de 30 min, 1h e 4h, nos meses de junho e outubro, utilizando dados GPS, GLONASS e GPS/GLONASS.

Tabela 3- Média e desvio padrão do EMQ 3D, considerando o PPP

Período	Mês	Dados	Média do EMD 3D (m)	Desvio padrão do EMD 3D (m)
30min	Junho	GPS	0,699	0,091
		GLONASS	0,776	0,248
		GPS/GLONASS	0,432	0,047
	Outubro	GPS	0,859	0,199
		GLONASS	0,778	0,109
		GPS/GLONASS	0,451	0,036
1h	Junho	GPS	0,260	0,027
		GLONASS	0,309	0,054
		GPS/GLONASS	0,169	0,020
	Outubro	GPS	0,353	0,061
		GLONASS	0,311	0,044
		GPS/GLONASS	0,183	0,020
4h	Junho	GPS	0,076	0,022
		GLONASS	0,087	0,015
		GPS/GLONASS	0,058	0,018
	Outubro	GPS	0,078	0,027
		GLONASS	0,088	0,027
		GPS/GLONASS	0,062	0,028

Com base na Tabela 3 é possível observar que conforme aumenta o período de dados a média do EMQ 3D melhora, ou seja, houve uma melhora no PPP. Assim como no PP, verificou-se que nos três períodos de dados (30 min, 1h e 3h) a média do mês de outubro foi maior quando comparada com a média do mês de junho.

Observou-se também que os menores valores de desvio padrão ocorreram quando utilizou-se dados combinados, exceto no período de 4 h. Outro ponto a ser destacado é que os períodos de dados de 30 min e 1h apresentaram um padrão: o mês de junho teve o maior desvio padrão quando empregou somente dados GLONASS, enquanto que no mês de outubro o maior valor de desvio padrão foi quando apenas dados GPS foram processados.

Na Tabela 4 é apresentada a melhoria em porcentagem do EMQ 3D utilizando dados GPS/GLONASS em relação ao EMQ 3D com apenas dados GPS.

Tabela 4- Melhoria em porcentagem no PPP

Período	Mês	Melhoria (%)
30 min	Junho	36,55
	Outubro	44,25
1 h	Junho	34,37
	Outubro	46,74
4h	Junho	23,81
	Outubro	22,15

Por meio da Tabela 4 nota-se que no mês de junho a melhoria foi mais significativa conforme o período de dados diminuiu. Além disso, em ambos os meses estudados a melhoria foi menor no período de 4h de dados. Outro aspecto importante a ser destacado é que as porcentagens de melhoria obtidas no PPP foram bem mais altas que as observadas no PP.

5 CONCLUSÕES

No presente trabalho foram apresentados experimentos utilizando arquivos de dez estações pertencentes à RBMC, com tempo de coleta de dados de 30 minutos (das 17h às 17h 30min UTC), 1 hora (das 17h às 18h UTC) e 4 horas (das 17h às 21h UTC), no período de inverno (29 e 30 de junho) e de verão (13 e 14 de outubro) no ano de 2016. Os experimentos foram realizados utilizando o software NRCan, no modo pós-processado estático, onde a partir dos resultados obtidos foram calculadas as discrepâncias nas coordenadas. Com essas discrepâncias e os desvios padrão foram então obtidos os valores do EMQ 3D (Erro Médio Quadrático) das posições das estações utilizadas.

No PP observou-se que ao aumentar o período de dados o EMQ 3D dos dias analisados diminuiu, onde a melhoria variou entre 4,5% e 7,90%, sendo que no mês de outubro a melhora foi menos significativa conforme o período de tempo de dados aumentou. Já no PPP todos os dados analisados apresentaram melhoria quando empregou-se dados combinados, a qual ficou entre 22,15% e 46,74%. Em ambos os meses a melhoria ao utilizar dados GPS/GLONASS foi menos relevante no período de 4h de dados. Também foi possível constatar, na grande maioria dos

dados, que nos três períodos de dados (30 min, 1h e 3h) a média do mês de outubro foi maior quando comparada com a média do mês de junho, já que no mês de outubro a densidade de elétrons na ionosfera alcança valores máximos, enquanto que no mês de junho atinge valores mínimos.

Finalizando, comparando os valores do EMQ 3D obtidos no PP e no PPP, constatou-se que o PPP é em média 10 vezes melhor. Notou-se também que a melhoria do uso combinado GPS/GLONASS foi mais significativa no PPP, chegando a atingir 46,74%.

REFERÊNCIAS

Alves, D. B., Abreu, P. A., & Souza, J. S. (2013). GNSS: status, modelagem atmosférica e métodos de posicionamento. *Revista Brasileira de Geomática, 1*, 8-13.

ALVES, D. B. M. **Posicionamento Baseado em redes GPS utilizando o conceito de estação virtual**, 2008. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

CAMARGO, P. O. **Modelo regional da ionosfera para uso em posicionamento com receptores GPS de uma frequência.** 1999. 191f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FEAIRHELLER, S.; CLARK, R. Other Satellite Navigation Systems. In: KAPLAN, E. D.; HEGARTY, C. J. (Eds). **Undertanding GPS: Principles and Applications**, 2 ed. Artech House, Norwood, 2006, cap 11, p. 595-634.

FEDERAL SPACE AGENCY. Information- Analytical Centre –GLONASS. Disponível em: < https://www.glonass-iac.ru/en/guide/index.php> . Acesso em: 30 de jul. 2018.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo, and more**. New York: Springer-Verlag, 2008. 516p.

JEREZ, G.O..**Análise da integração GPS/GLONASS para posicionamento sob efeito de cintilação ionosférica. 2017**. 154p. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, Presidente Prudente.

MATSUOKA, M. T. **Influência de Diferentes Condições da Ionosfera no Posicionamento por Ponto com GPS: Avaliação na região brasileira. 2007**. 263 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, Presidente Prudente.

McNAMARA, L. F. *The ionosphere: communications, surveillance, and direction finding.* Florida: Krieger Publishing Company, 1991. 237 p.

MONICO, J. F. G.. **Posicionamento pelo GNSS: Fundamentos, Definição e Aplicação.** 2 ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 476p.

OSÓRIO, I.M.T.V.P.. **O Sistema Global de Posicionamento na Orbitografia de Satélites de Baixa Altitude**. Portugal, 1992. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências, Universidade do Porto.

RODRIGUES, F. S. Estudo das irregularidades ionosféricas equatoriais utilizando GPS. 2003. 175 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

SEEBER, G. Satellite Geodesy. 2nd. ed. Berlin; New York: Walter de Gruyter, 2003. 589 p.

WEBSTER, I. A Regional Model for Prediction of Ionospheric Delay for Single Frequency Users of the Global Positioning System. M.Sc.E Thesis – Department of Surveying Engineering, University of New Brunswick, New Brunswick, Canadá. 1993.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA ACURÁCIA ABSOLUTA DA REFLETOMETRIA GNSS NA MEDIÇÃO DO NÍVEL DA ÁGUA

MANUELLA ANAÍS RODRIGUES FAGUNDES
FELIPE GEREMIA NIEVINSKI

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CEPSRM
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto - PPGSR
manuella.fagundes@ufrgs.br, felipe.nievinski@ufrgs.br

RESUMO - A técnica da refletometria GNSS (GNSS-R) é uma nova possibilidade de instrumento para medição do nível do mar em áreas costeiras bem como o nível de rios e de outros corpos d'água. Apresenta vantagens com relação a marégrafos e linígrafos convencionais por não exigir visada perpendicular à água e adotar um referencial geocêntrico. A maioria das avaliações de anteriores reportadas na literatura foi feita de forma relativa, ignorando a discrepância média entre GNSS-R e outras técnicas, focando apenas na maré e outras variações temporais. O objetivo deste artigo foi avaliar de forma absoluta, ou seja, considerando o possível viés no uso da técnica de refletometria. Um experimento preliminar foi realizado no Lago Guaíba (Porto Alegre RS), com 2,5 h de duração. Os resultados GNSS-R foram comparados com aqueles advindos de nível óptico e régua. Nessa avaliação preliminar, a estimação foi realizada de forma visual/manual e considerando apenas dois satélites. Ao comparamos os resultados das duas metodologias envolvidas, a discrepância encontrada foi da ordem de 15 cm ou cerca de 4% da altura média de 360 cm. Como trabalhos futuros, pretende-se coletar uma série temporal mais longa, automatizar a estimação GNSS-R. Também se espera obter dados adicionais de validação.

ABSTRACT - The technique of reflectometry using GNSS (GNSS-R) is a new instrument possibility of a water level measuring in coastal areas such as the level of rivers and other water bodies. It has advantages over conventional tide gauges because it does not require a perpendicular view of the water and adopt a geocentric reference. Most of the previous assessments reported in the literature were done in relative way, ignoring the average discrepancy between GNSS-R and other techniques, focusing only on tide and other temporal variations. The objective of this article was to evaluate absolutely, that is, considering the possible bias in the use of the technique of refletometry. A preliminary experiment was carried out at Lago Guaíba (Porto Alegre RS), with 2.5 h of duration. The GNSS-R results were compared with those derived from optical level and ruler. In this preliminary evaluation, the estimation was performed visually / manually and considering only two satellites. When comparing the results of the two methodologies involved, the discrepancy was of the order of 15 cm or about 4% of the average height of 360 cm. As future work, we intend to collect a longer time series, automate the GNSS-R estimation. It is also expected to obtain additional validation data.

1 INTRODUÇÃO

As mudanças ocorridas no nível do mar podem ser causadas por fenômenos de natureza oceanográfica ou terrestre, que são ou não de influência antrópica. Pesquisas são realizadas em diversas áreas com a finalidade de compreender as raízes do problema e sugerir providências, visto que o aumento do nível do mar pode atingir toda a região costeira do planeta. A Oceanografia e a Geodésia tornaram-se ferramentas de grande importância neste sentido, contribuindo para projetar perspectivas realistas.

No Brasil o órgão responsável pela implantação e manutenção do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Este possui redes de referência que apoiam o posicionamento geodésico, entre elas a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) de Sistemas de Navegação Global por Satélites (GNSS), bem como a Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG). A RBMC é composta por um conjunto de estações equipadas com receptores e antenas GNSS que medem coordenadas com alta precisão. Já a RMPG consiste em um conjunto de estações que medem o nível do mar, cujo objetivo consiste em monitorar a relação entre o referencial altimétrico brasileiro e outros referenciais verticais locais, além de subsidiar os estudos de modernização das altitudes brasileiras e de variação do nível do mar. A rede altimétrica passiva é composta por referências de nível, que são estações

de altitude conhecida, e que materializam a componente altimétrica do SGB a partir de medições de nivelamento geométrico de alta precisão.

Estudos relativos à modernização do Sistema Altimétrico Brasileiro como Da Silva e Freitas (2017), propõem a adoção de um Referencial Vertical Moderno. Isto ocorre devido às diferenças nas medições causadas pela dinâmica do planeta, onde ao considerar-se um referencial altimétrico regional, torna-se inviável comparar dados de forma mais abrangente. Porém para implantação deste referencial altimétrico global deve-se considerar os aspectos geodinâmicos, como discriminar movimentos eustáticos e tectônicos, monitorar a posição geocêntrica dos marégrafos costeiros e a variabilidade temporal.

O acomodamento do terreno na região do marégrafo pode mascarar possível indicativo de elevação ou rebaixamento do nível do mar (Freitas e Luz, 1995). Nesse sentido, um aspecto de extrema importância é a fixação da posição geocêntrica do marégrafo, sendo que o monitoramento contínuo desta posição pode discriminar movimento crustal e alterações do nível médio do mar (NMM). Segundo Freitas et al. (2002a), as posições geocêntricas dos marégrafos servem como condição inicial para relacionar o NMM local a um geoide global.

Atualmente as redes maregráficas tradicionais enfrentam uma série de dificuldades, como a movimentação dos instrumentos, descontinuidade de observações e a necessidade de correção das derivas. A observação é complicada, e não ocorre com a regularidade desejável. O nível médio do mar pode ser obtido também através de satélites altimétricos, e a associação desta informação com um geoide global torna possível calcular a topografia da superfície do mar. Porém em regiões costeiras há perda de resolução e os dados não são precisos, dificultando bons resultados nestas áreas. Cipollini et al. (2016) descreve o monitoramento do nível do mar na costa com satélites altímetros e conclui sobre a necessidade de haver modelos mais sofisticados para medições em zonas costeiras. Relata que dados entre 10 a 50 km da costa, dependendo do equipamento e da morfologia, as medidas são consideradas defeituosas e então descartadas.

Conforme Bevis et al. (2001) há necessidade de inserir um GNSS convencional junto ao marégrafo, com a finalidade de se obter posicionamento vertical em um referencial geocêntrico, tornando possível o controle dos movimentos geofísicos locais. Isto torna possível obter uma coordenada para o marégrafo, viabilizando mensurar mais precisamente as diferenças encontradas no nível do mar por possíveis erros oriundos de registros de marégrafos, relacionados às dificuldades de sua manutenção. Um marégrafo/linígrafo, apesar de apresentar vantagens por ser uma técnica difundida, necessita de um GNSS acoplado para permitir que se tenha um controle sobre a movimentação do solo, ou seja, sobre as influências sobre o terreno. Com a instalação de um GNSS em áreas costeiras, surge a possibilidade de medição do nível do mar indiretamente por técnicas de refletometria (GNSS-R). É um tipo sensoriamento remoto à curta distância Que consiste em usar reflexões das ondas de rádio emitidas pelos satélites GNSS para calcular as variações de nível da água. Possibilita empregar os receptores da RBMC como marégrafos alternativos, complementando e ampliando a rede RMPG (MAKRAKIS et al., 2017; SILVA et al., 2014). A técnica de refletometria revela uma nova possibilidade de instrumento de medição do nível da água e apresenta vantagens por não necessitar estar imediatamente sobre a água (ou seja, não exigir visada perpendicular), por adotar um referencial geocêntrico e também em termos de custo. A maioria das avaliações anteriores da técnica de GNSS-R foram relativas, no sentido em que a diferença média com relação à marégrafos foi ignorada. Aqui propomos uma avaliação absoluta, para identificar um possível viés altimétrico em GNSS-R (SANTAMARÍA-GÓMEZ et al., 2015). Para tal empregamos a técnica de nivelamento geométrico, com notória precisão entre as técnicas para determinar altitudes com rigor (IBGE, 1983). O objetivo consiste em comparar de forma absoluta o desnível entre o centro de fase da antena GNSS obtida utilizando refletometria e o desnível encontrado através do nivelamento geométrico, in loco.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Levantamento de campo

A área de estudo localiza-se no Cais Mauá, à beira do Lago Guaíba, no município de Porto Alegre (RS). Esse local foi escolhido devido à proximidade da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Foi utilizado um dispositivo GNSS com receptor e antena integrados, marca *Topcon* e modelo *Hiper Lite Plus*. As condições para melhor aproveitamento dos dados do GNSS consistem no estacionamento da antena em um local com campo de visada aberto e sem obstruções, o mais próximo possível do corpo d'água e com visibilidade para o céu, para que não haja bloqueio da recepção do sinal dos satélites. Na Figura 1 é possível observar que as condições foram atendidas para o receptor utilizado. Conforme apresenta a Figura 1 o GNSS foi colocado o mais próximo possível da borda do cais, para que o mesmo recebesse sinal de satélites em diferentes altitudes e obtivesse mais possibilidade de receber o sinal refletido da água. O tempo de rastreio foi de cerca de 2,5 h .

Figura 1 – Antena estacionada.

Fonte: Autores (2018)

Com relação à técnica de nivelamento geométrico, ela é bem consolidada e utilizada em levantamentos geodésicos de alta precisão. Quando aplicada corretamente, gera resultados com erros inferiores a $0{,}5mm\cdot\sqrt{D}$, onde D é a distância em km (IBGE, 1983). Foram tomandos os cuidados usuais para evitar a ocorrência e propagação de erros sistemáticos conforme (IBGE, 1983). Os materiais utilizados foram um nível eletrônico DL-202 e régua com código de barras. Foi lida a régua na altura do ponto de referência da antena GNSS (ARP) e na altura da água. A parte inferir da régua foi colocada em contato direto com a lâmina d'água, a qual estava calma, como pode ser observada na Figura 2, com agitação por ondas inferior a 5 cm, sendo essa a principal fonte de incerteza da medição. Assim, obteve-se o desnível entre o ARP do GNSS e a superfície da água. Posteriormente, considerando-se as constantes do dispositivo GNSS, obteve-se o valor em relação ao centro de fase (APC) do dispositivo GNSS e a lâmina d'água.

Figura 2 - Lâmina d'água

Fonte: Autores (2018)

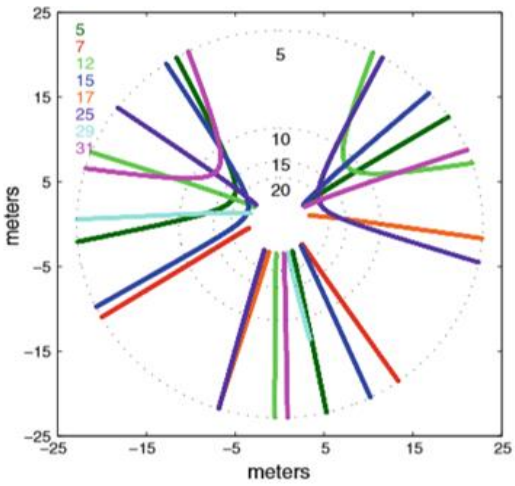
2.2 Modelos refletométricos

A área coberta pela reflexão do sinal está diretamente relacionada ao ângulo de elevação do satélite; quanto menor for a elevação, maior e mais distante da antena será a área coberta pelo satélite. De acordo com Larson e Nievinski (2013), a distância radial ao ponto de reflexão especular é aproximadamente:

$$R = \frac{h}{\mathrm{tg}(e)} \quad (1)$$

onde *h* é a altura da antena e *e* é o ângulo de elevação do satélite. A Figura 3 mostra um exemplo genérico dos pontos de reflexão, em metros, de acordo com a direção do satélite, tanto em azimute quanto em ângulo de elevação (não necessariamente válido especificamente para o local levantado).

Figura 3 - Pontos de reflexão nominais



Fonte: Larson e Nievinski (2013)

A localização do dispositivo GNSS, identificado com um triângulo vermelho na Figura 4, é tal que os satélites em trajetória N-NO e S-SO serão refletidos pela água. Já os satélites que tiverem durante o tempo de rastreio um trajeto S-SE e N-NE serão refletidos pela terra, o que para este trabalho pode ser desconsiderado.

Figura 4 - Localização do dispositivo GNSS

Fonte: Google Earth (2018)

O principal tipo de observação utilizado em refletometria GNSS é a razão sinal-ruído (*signal-to-noise ratio*, SNR). De acordo com Nievinski e Larson, (2014a; 2014b), a estimativa da altura da antena com relação à superfície da água pode se dar mediante o ajustamento do SNR a uma curva teórica. Utilizando uma tendência ajustada por polinômio, determina-se o SNR residual pela diferença entre o SNR original e a sua tendência. O SNR residual, por sua vez, exibe uma oscilação, cuja frequência com relação ao seno do ângulo de elevação é constante para uma superfície refletora horizontal. Essa frequência angular modificada pode ser expressa conforme a Equação 2:

$$f = \frac{\partial \phi}{\partial \sin e} = \frac{4\pi H}{\lambda}, \tag{2}$$

onde λ é o comprimento da onda de rádio portadora do GNSS e H é o desnível entre a antena e a superfície da água. Pode-se inverter a expressão da Equação 2 para estimar a altura H como incógnita:

$$H = \frac{v\lambda}{2} \tag{3}$$

onde $\nu = f/(2\pi)$. A frequência ordinária modificada ν pode ser estimada visualmente contando o número de ciclos no SNR residual e dividindo esse número pela extensão do intervalo de ângulos de elevação observados. Por exemplo, se há duas oscilações e meia entre 5 e 10 graus de elevação, a frequência seria

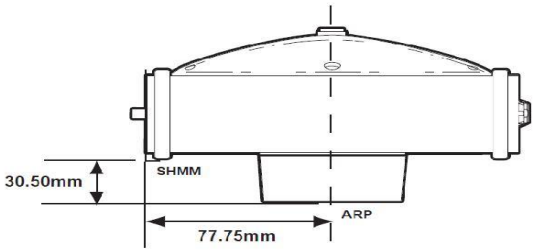
$$\nu = \frac{2,5}{\text{sen}(10°) - \text{sen}(5°)} \quad (4)$$

ou aproximadamente 28,9; multiplicando por meio comprimento de onda na banda L1 ($\frac{19}{2}$ cm), obtém-se uma altura estimada de 2,745 m.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado obtido por nivelamento geométrico incluiu as constantes do receptor/antena especificadas na Figura 5. Esta ilustra as alturas envolvidas no cálculo da altura do centro de fase.

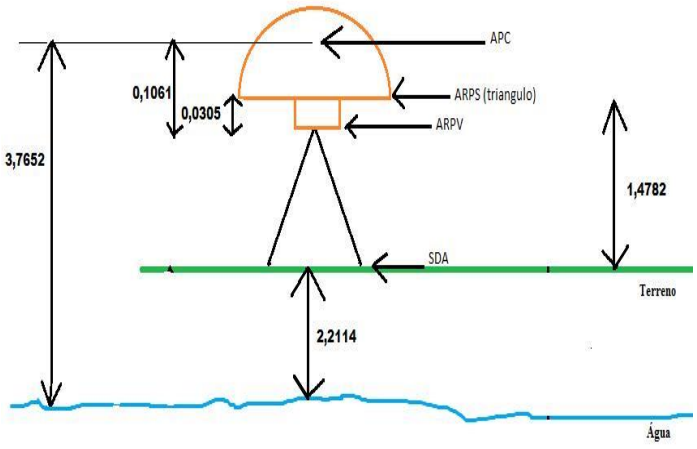
Figura 5 - Constantes do dispositivo GNSS



Fonte: Manual do equipamento.

Na Figura 6 há o esboço do nivelamento realizado, apresentando todos os valores obtidos. A altura em relação à água foi medida de forma vertical e não inclinada, portanto este valor não precisou ser convertido usando o semidiâmetro do dispositivo GNSS. Assim, através do emprego da técnica de nivelamento geométrico obteve-se uma diferença de altura entre o centro de fase da antena (APC) e a água (Δh') de 3,7652m.

Figura 6 – Vários níveis altimétricos envolvidos.

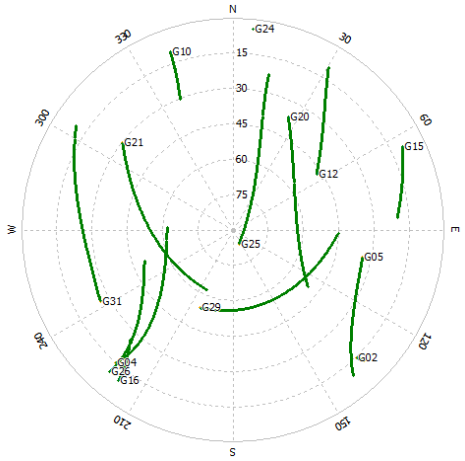


Fonte: Autores (2018)

Para refletometria, utilizou-se os dados SNR coletados pelo dispositivo GNSS. Para a análise visual do SNR utilizou-se o pacote de software de código aberto RTKLIB. Este suporta diversos GNSS, incluindo GPS, GLONASS,

Galileo e Beidou (TAKASU, 2013). Mas especificamente, foi utilizado o programa RTKPLOT para exibir a trajetória dos satélites rastreados pelo receptor e a respectiva SNR, onde pode-se observar o comportamento ao longo de todo o período de medição. A Figura 7 mostra a distribuição dos satélites rastreados pelo receptor e suas trajetórias. Confrontando com a Figura 4, é possível concluir que os satélites G10 e G12 apresentaram as melhores condições de observação, visto que os mesmos encontram-se com a trajetória a norte. Os satélites G25, G21 e G31 também apresentam uma trajetória de possível interesse, mas deve-se verificar qual o raio de abrangência da área de reflexão para que se descarte os dados advindos do solo.

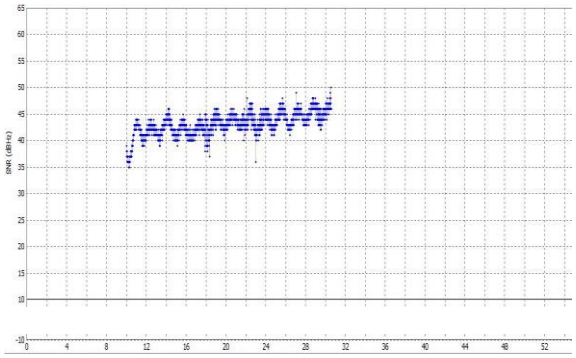
Figura 7 - Trajetória dos satélites rastreados



Fonte: Autores (2018)

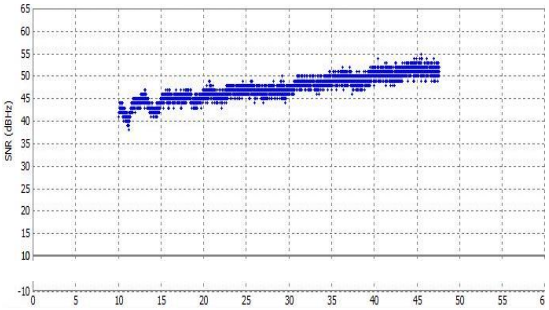
As Figuras 8 e 9 mostram os dados SNR brutos, sem nenhum tipo de refinamento, apenas separando os satélites que tiveram azimute dentro do desejado, tendo a expectativa de que o sinal refletido fosse da água.

Figura 8 - Representação do SNR em função da elevação - G10



Fonte: Autores (2018)

Figura 9 - Representação do SNR em função da elevação - G12



Fonte: Autores (2018)

Após a elaboração dos gráficos, que mostram a relação SNR de acordo com a elevação do satélite, parte-se para a estimação do nível da água. Os cálculos realizados correspondem aos satélites identificados como G10 e G12, ambos da constelação GPS e na banda L1. Estes apresentaram a trajetória dentro da região de interesse e um gráfico passível de análise sem filtros. Os resultados obtidos para os satélites G10 e G12 mostraram valores de distância vertical do GNSS em relação à água de 3,493 m e 3,726 m respectivamente. Em média, obteve-se para o desnível o valor de 3,609 m. Ao comparamos os resultados das duas metodologias envolvidas, a discrepância encontrada foi da ordem de 15,6 cm, o que equivale a cerca de 4% da altura média.

4 CONCLUSÕES

Foi possível avaliar de forma absoluta a técnica de refletometria GNSS (GNSS-R) na área de estudo comparando-a com o nivelamento geométrico, técnica consolidada. Para uma comparação preliminar, envolvendo apenas poucos satélites em poucas horas de observação, a diferença entre as duas técnicas foi de 15 cm ou 3% da altura média de 360 cm. É possível concluir que esta técnica apresenta resultados promissores para a aplicação a que se destinou neste artigo.

A água do Lago Guaíba estava calma e livre de grandes alterações no momento de medição do GNSS, o que pode se considerar um ambiente controlado. Em materiais científicos como (Liu et al., 2017) encontra-se algumas ressalvas em relação ao uso da técnica em ambientes mais perturbados, o que deve ser considerado para cálculos de nível do mar, onde as ondas são maiores. Nestes casos pode-se tornar necessário um maior refinamento dos dados e cálculos que considerem mais satélites, demonstrando o uso em outra condição de entorno.

Futuramente pretende-se automatizar a estimação refletométrica, feita aqui de forma visual/manual, além de processar dados de um período mais longo. Também almeja-se comparar os dados obtidos com um linígrafo por radar, presente próximo ao local de estacionamento do receptor geodésico, cujos dados foram solicitados à Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Alternativamente, pretendemos repetir o nivelamento geométrico várias vezes ao longo da sessão, através de gravação de vídeo da régua parcialmente submersa e posterior leitura em escritório, a fim de cancelar a agitação aleatória das ondas no nível médio da água.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao acadêmico Maurício Kenji Yamawaki pelo auxílio no levantamento. Esse trabalho foi financiado em parte pelo CNPq (projeto 457530/2014-6 e) e Fapergs (26228.414.42497.26062017).

REFERÊNCIAS

BEVIS, Michael; SCHERER, Wolfgang; MERRIFIELD, Mark. Technical Issues and Recommendations Related to the Installation of Continuous GPS Stations at Tide Gauges. **Marine Geodesy**, [s. l.], v. 25, n. 1–2, p. 87–99, 2002.

CIPOLLINI, Paolo et al. Monitoring Sea Level in the Coastal Zone with Satellite Altimetry and Tide Gauges. **Surveys in Geophysics**, [s. l.], v. 38, n. 1, p. 33–57, 2017.

Da Silva, L.M.; Freitas, S.R.C. **Análise das Mudanças Temporais no Datum Vertical Brasileiro de Imbituba.** Simpósio SIRGAS 2017 – SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOCÉNTRICO PARA LAS AMÉRICAS. Mendoza, Argentina, 28 de novembro de 2017. Disponível em: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol22/22_DaSilva_DeFreitas_2017_Serie_Temporal_Imbituba.pdf> Acesso: 12 de março de 2018.

IBGE. **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em território Brasileiro**. Resolução – PR n°22, de 21-07-1983. Disponível em: <http://www.inde.gov.br/images/inde/bservico1602.pdf> Acesso: 08 de março de 2018.

IBGE. **Rede Maregráfica Permanente para Geodésia**. Disponível em: https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rmpg/default_rmpg_int.shtm?c=10. Acesso: 24 de maio de 2018.

FREITAS, S.R.C.; LUZ, R.T. (1995). **Altimetria de Precisão com GPS baseada no SGB: Possibilidades Físicas e Limitações**. In: 4º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, p. 135-138. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=63286

FREITAS, S.R.C.; MEDINA, A.S.; LIMA, S.R.S. (2002a). **Associated Problems to Link South American Vertical Networks and Possible Approaches to Face them**. In: IAG Symposia 124 – Vertical Reference Systems. Springer, Ed. H. Drewes et al., p. 318-323. Acesso em: 15 de abril de 2018

LARSON, Kristine M.; NIEVINSKI, Felipe G. GPS snow sensing: results from the EarthScope Plate Boundary Observatory. **GPS Solutions**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 41–52, 2013

LIU, Wei et al. Coastal Sea-Level Measurements Based on GNSS-R Phase Altimetry: A Case Study at the Onsala Space Observatory, Sweden. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, [s. l.], v. 55, n. 10, p. 5625–5636, 2017.

M. C. Makrakis; V. C. Cruz; F. G. Nievinski; S. F. Souza, **COMPARATIVO ENTRE RBMC E RMPG PARA O MONITORAMENTO DO NÍVEL DO MAR EM SALVADOR/BA – RESULTADOS PRELIMINARES DE REFLETOMETRIA GLONASS**, IV Simpósio Brasileiro de Geomática, Presidente Prudente, p. 4, 24-jul-2017. Disponível em: <http://docs.fct.unesp.br/departamentos/cartografia/eventos/2017_IV_SBG/_artigos/2017_SBG_CTIG_paper_47.pdf> Acesso: 19 de abril de 2018.

NIEVINSKI, Felipe G.; LARSON, Kristine M. Inverse Modeling of GPS Multipath for Snow Depth Estimation—Part I: Formulation and Simulations. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, [s. l.], v. 52, n. 10, p. 6555–6563, 2014.

SANTAMARÍA-GÓMEZ, Alvaro et al. Levelling co-located GNSS and tide gauge stations using GNSS reflectometry. **Journal of Geodesy**, [s. l.], v. 89, n. 3, p. 241–258, 2015.

SILVA, M. F.; NIEVINSKI, F. G; MONICO, J. F. G. **Estações GNSS/maregráficas híbridas: Complementando a RMPG com a RBMC utilizando a técnica de reflectometria por multicaminho (avaliação inicial)** In: Anais XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, 2014, Gramado, RS.

TAKASU, **T. RTKLIB ver. 2.4.2 Manual.** 2013. Disponível em: <http://www.rtklib.com/rtklib_document.htm> Acesso: 10 de janeiro de 2018

CALIBRAÇÃO DOS GRAVÍMETROS L&R E CG-5 NA REDE NACIONAL DE ESTAÇÕES GRAVIMÉTRICAS ABSOLUTAS - RENEGA

MARIANA EIKO BORBA INOUE[1]
GABRIEL DO NASCIMENTO GUIMARÃES[1]
ANA CRISTINA CANCORO DE OLIVEIRA MATOS[2]
DENIZAR BLITZKOW[2]

[1]Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Instituto de Geografia - IGUFU
Laboratório de Topografia e Geodésia, Monte Carmelo, MG
marieiko.borba24@hotmail.com, gabriel@ufu.br

[2]Centro de Estudos em Geodesia - CENEGEO
São Paulo, SP
acocmatos@gmail.com, dblitzko@usp.br

RESUMO – Gravímetros são equipamentos utilizados para medir a aceleração da gravidade sobre a superfície da Terra ou próximo a ela (no caso da aerogravimetria). Esses equipamentos possuem um sistema de molas e hastes que sustentam uma massa. Com o passar dos anos, o aparato sofre com os desgastes e alterações do sistema elástico do instrumento. Dessa forma, novas calibrações são necessárias para o melhor desempenho de cada gravímetro. O objetivo desse trabalho é apresentar a calibração de 11 gravímetros (8 da marca LaCoste & Romberg – L&R e 3 da marca SCINTREX) ao longo da rede de calibração denominada de RENEGA (REde Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas). Para os gravímetros L&R foram realizadas 5 campanhas nos anos de 1994, 2001, 2009, 2013 e 2017, enquanto que a calibração dos equipamentos SCINTREX ocorreu em 2013. Para cada campanha de cada gravímetro foi determinado um novo fator de escala e comparado com o anterior e verificou-se que a sistemática de calibração dos aparelhos é de fundamental importância para um bom desempenho. Os valores do fator de escala tiveram mínimas variações, exceto o modelo G372, que participou somente de duas campanhas sendo que o fator de escala variou 0,03.

ABSTRACT - Gravimeters are equipment used to measure the acceleration of gravity on or near the Earth's surface (in the case of airborne). These equipments have a system of springs and rods that support a mass. Over the years, the apparatus suffers from wear and tear and changes in the elastic system of the instrument. In this way, new calibrations are required for the best performance of each gravimeter. The aim of this work is to present the calibration of 11 gravimeters (8 LaCoste & Romberg - L&R brand and 3 of SCINTREX brand) along the calibration network called RENEGA (*REde Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas*). For the L&R gravity meters, five campaigns were carried out in the years 1994, 2001, 2009, 2013 and 2017, while the calibration of the SCINTREX equipment occurred in 2013. For each campaign of each gravimeter the new scale factor was determined and compared to the previous one. It is verified that the systematic calibration of the apparatus is of fundamental importance for a good performance. The scale factor values had minimal variations, except the G372 model, which only participated in two campaigns and the scale factor varied 0.03.

1 INTRODUÇÃO

A gravidade está presente no cotidiano de todos os seres que habitam o planeta Terra. Ao longo dos tempos vários estudos associados a aceleração da gravidade têm sido realizados, proporcionando à humanidade uma melhor interação com o planeta. Desde o filósofo grego Aristóteles (384 - 322 a.C), o primeiro a descrever fenômenos práticos correlacionados com a aceleração de gravidade "g", até Galileu Galilei, Leonardo da Vinci e Isaac Newton, a gravidade sempre despertou interesse dos grandes cientistas. É sempre oportuno mencionar que o planeta Terra assumiu sua forma atual sob a ação da força de gravidade (TORGE, 2001).

A determinação do valor da aceleração da gravidade (módulo *g* do vetor gravidade) pode ser conduzido a partir de medições absolutas e relativas. As primeiras fornecem diretamente o valor de *g* no local desejado, já as segundas são necessárias ocupar dois locais, sendo que em um deles o valor da aceleração da gravidade deve ser conhecido. Galilei introduziu dois métodos de medidas absolutas: pendular e "queda-livre" (*free-fall*). O método pendular foi utilizado para realizar a primeira medição da aceleração de gravidade no observatório de Potsdam, Alemanha, em 1906 (CASTRO JUNIOR, GUIMARÃES e FERREIRA, 2018). A expressão (1) do movimento do pêndulo é a seguinte:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \tag{1}$$

onde T é o período, l o comprimento e g a aceleração de gravidade. A partir do comprimento do pêndulo e de uma série de observações do período do movimento durante certo intervalo de tempo, obtém-se o valor de "g" por meio de um método de ajustamento de observações (e.g. GEMAEL, 1999; TORGE, 2001).

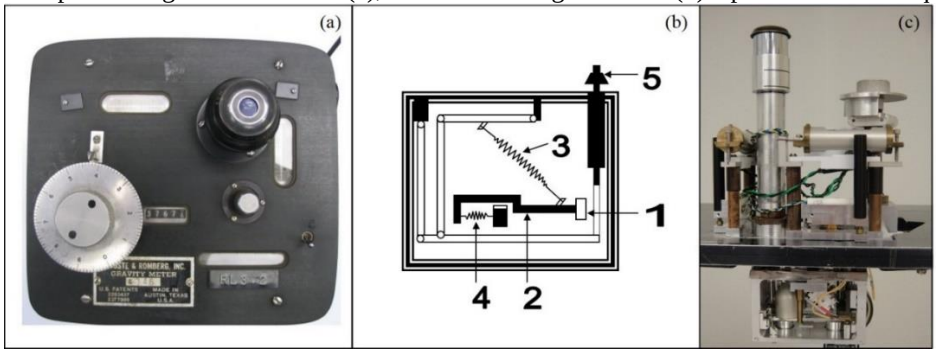
Uma outra maneira de determinar o valor de "g" de forma absoluta e, que a partir do desuso dos dispositivos pendulares ganhou notoriedade e é utilizado até os dias de hoje é a determinação por queda livre. Segundo Gemael (1999), isso foi possível graças a medição acurada de intervalos infinitesimais de tempo e distância de um corpo em queda livre.

Os instrumentos responsáveis pela medição de "g" são chamados de gravímetros. Aqueles que determinam o valor da gravidade de forma absoluta são chamados de gravímetros absolutos, enquanto que, os gravímetros relativos medem o valor de "g" de forma relativa. Atualmente, os gravímetros FG-5 e A-10, produzidos pela empresa Micro-g LaCoste são os responsáveis pelas medições absolutas da gravidade disponível no Brasil (CASTRO JUNIOR, GUIMARÃES e FERREIRA, 2018). O primeiro tem como princípio de funcionamento um corpo em queda livre em uma câmara de vácuo de 0,33 m de comprimento. Um processo interferométrico a laser além de um relógio atômico de rubídio, monitora com grande precisão a queda do corpo e a medida é traduzida em franjas óticas. O método de operação do A-10 é semelhante ao do FG-5. A diferença entre eles está na portabilidade do equipamento. Enquanto o primeiro geralmente permanece estáticos em uma sala executando as medições, o segundo permite deslocar o equipamento em viaturas adaptadas e preparadas, possibilitando a realização de medições em campo.

Os gravímetros relativos são produzidos desde a primeira metade do século passado. Embora sejam menos precisos que os equipamentos absolutos, são mais leves, portáteis (permitindo um fácil deslocamento para trabalho de campo) e baratos. A empresa LaCoste & Romberg INC (fundada por Lucien LaCoste e Arnold Romberg) que funcionou desde 1932 até o seu fechamento por volta de 2010, é reconhecida mundialmente pelo desenvolvimento de gravímetros altamente precisos. A versão Geodésica do gravímetro L & R, daí a denominação modelo G, foi concebida em meados do século passado com o intuito de efetuar medidas em qualquer ponto do planeta Terra. Desde então, tem demonstrado eficácia sob as mais variadas condições de temperatura, tornando-o apto a ser usado em qualquer lugar onde o ser humano tenha condições de interagir com o meio ambiente. Por essas e outras razões, esse equipamento foi, e continua sendo, o gravímetro mais difundido no mundo (GEMAEL, 1999; CASTRO JUNIOR, 2005).

O princípio de funcionamento do L&R encerra um sistema sensor composto por um conjunto de molas de quartzo e hastes que sustentam uma massa. Esse mecanismo funciona em um ambiente teoricamente isolado de pressões atmosféricas externas e é apresentado na Figura 1. O gravímetro é termostatizado para estabilizar termicamente o sistema elástico e, por isso deve ser mantido a uma temperatura constante que é atingida automaticamente em duas horas. Contudo, as medições somente devem ser iniciadas depois de quatro horas após a conexão à corrente elétrica ou a uma bateria (CASTRO JUNIOR, GUIMARÃES e FERREIRA, 2018).

Figura 1 – Vista superior do gravímetro L&R (a), mecanismo do gravímetro (b) e parte interna do equipamento (c).



Fonte: Castro Junior, Guimarães e Ferreira (2018)

Outro gravímetro que tem ganhado destaque nos últimos 10 anos é o da empresa canadense SCINTREX. A empresa que lançou o modelo CG-3, pouco difundido no país, teve no CG-5, seu sucessor, uma melhor resposta do mercado. O equipamento é baseado em um sistema de molas de quartzo fundido, que busca colocar uma massa em equilíbrio por meio da aplicação de uma tensão elétrica nas molas. Esse sistema é chamado de *feed-back*. Possui um teclado e uma interface eletrônica, além de ser portátil e de fácil operação, este equipamento vem substituindo os gravímetro L&R. O CG-5 possibilita a obtenção da leitura em poucos minutos. O sistema realiza 6 leituras por segundo e, ao final de cada ciclo, realiza uma média para obter um valor final da leitura. Além disso, possui a opção de descartar leituras que por algum motivo não se encontram dentro da precisão de leitura do equipamento. O aparato possui conexão com GPS de navegação e permite descarregar as informações via USB. Embora prático e de fácil manuseio, possui, algumas limitações, uma vez que alguns desses equipamentos apresentaram problemas durante levantamentos conduzidos em condições severas, sobretudo em regiões úmidas e quentes, como é o caso da Amazônia. Outra questão diz respeito ao desempenho heterogêneo dos aparelhos, fazendo com que uns apresentem melhores resultados do que outros.

Com o passar do tempo, os gravímetros sofrem com os desgastes e alterações do sistema elástico do instrumento. A calibração realizada em fábrica sofre alterações que comprometem os resultados dos levantamentos, e dessa forma, é necessário que novas calibrações sejam auferidas periodicamente. Segundo Castro Junior (2005), os resultados dessas calibrações podem ser representados na forma de uma nova tabela de conversão ou então, por meio de um fator multiplicativo único, que corrige toda a tabela original. O mesmo é conhecido como fator de escala. No Brasil, o processo de calibração mais utilizado compara as leituras instrumentais com valores acurados de g, derivados de duas ou mais estações gravimétricas absolutas. Nesse caso, é possível comparar a diferença de gravidade obtiva com o gravímetro a ser calibrado com a diferença de gravidade entre as duas estações absolutas. A escolha dos pares de estações deve comtemplar a mesma região de operação a ser trabalhada pelo gravímetro. No país existem algumas linhas dedicadas à calibração instrumental, sendo a RENEGA a principal delas e objeto de estudo desse trabalho. No cenário geodésico mundial, um conjunto de estações absolutas constitui a chamada Rede de Referência de Gravidade Absoluta e, representa o que mais de preciso e acurado existe em termos de referencial gravimétrico. No Brasil, tal rede de referência é traduzida pela REde Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas (RENEGA) (TORGE et al. 1994).

O fator de escala, denominado de K, é obtido pela razão entre as diferenças dos valores conhecidos ($g_2 - g_1$) e as leituras instrumentas nas mesmas estações ($l_2 - l_1$), em miligals e corrigidas dos efeitos de deriva e da atração luni-solar, conforme expressão (2) (SHOKIN 1963; MELLO, 1973).

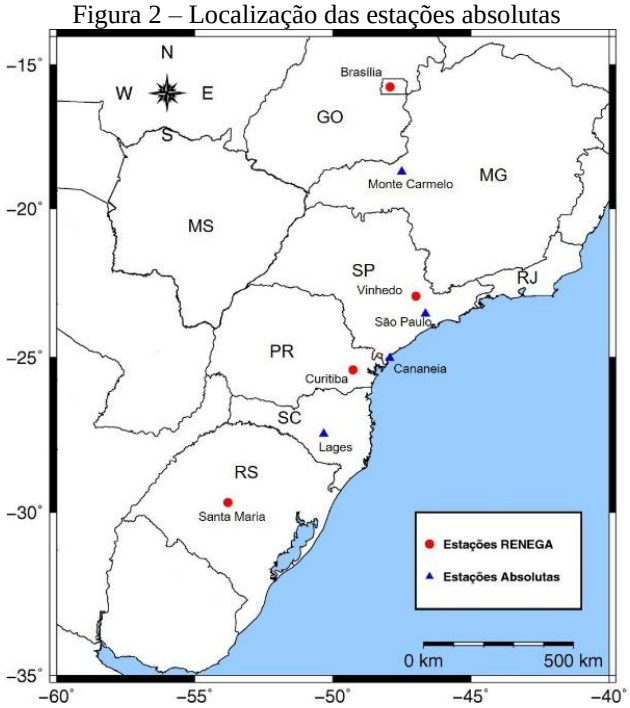
$$k = \frac{g_1 - g_2}{l_2 - l_1} \tag{2}$$

Este trabalho tem como objetivo apresentar as calibrações realizadas com 7 gravímetros L&R nos anos de 1994, 2001, 2009 e 2017 e Y gravímetros CG-5 nos anos de 2012 utilizando a RENEGA, bem como apresentar uma análise do fator de escala obtido em cada calibração.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

A calibração dos gravímetros L&R foi realizada em 4 estações pertencentes à RENEGA (Brasília, Vinhedo, Curitiba e Santa Maria) e também estações absolutas não pertencente à rede (Monte Carmelo, Cananeia e Lages). A calibração dos equipamentos CG-5 foi realizada na linha Brasília-Vinhedo-Cananeia-Curitiba-Santa Maria-São Paulo. A Figura 2 apresenta a localização das estações.

Figura 2 – Localização das estações absolutas



Fonte: Os autores (2018)

Desde a implantação da RENEGA, as calibrações dos gravímetros L&R são conduzidas periodicamente. Nos de 1994, 2001 e 2009, foram realizadas a calibração de 4, 6 e 6 equipamentos (Tabela 1), respectivamente, cuja linha utilizada foi Brasília-Vinhedo-Curitiba-Santa Maria. No ano de 2013, 6 gravímetros (Tabela 1) participaram da calibração na linha Brasília-Vinhedo-Cananeia-Santa Maria. Por fim, em 2017 a linha utilizada foi Brasília-Monte Carmelo-Vinhedo-Cananeia-Lages-Santa Maria. Em se tratando de gravímetros CG-5, a linha utilizada para a calibração de 3 equipamentos (513, 555 e 757) foi Brasília-Vinhedo-Cananeia-Curitiba-Santa Maria-São Paulo. Salienta-se que os gravímetros L&R pertence à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP, além do gravímetro CG-757. O aparelho CG-5 513 pertence à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista Filho – FCT/UNESP e o CG-5 555 à empresa Geokinetics. Devido os equipamentos pertencerem a 3 diferentes órgãos, para esse trabalho não foi considerado o cálculo da precisão dos fatores de escala.

Tabela 1 – Gravímetros L&R e ano da calibração

Gravímetros	**Ano da Calibração**				
	1994	**2001**	**2009**	**2013**	**2017**
G111	■	■	■	■	■
G114	■	■	■	■	■
G140			■	■	■
G143		■		■	■
G145	■	■	■	■	■
G146	■	■	■	■	■
G372		■	■		
G677			■	■	■

A partir da linha escolhida para a realização das medidas, foram realizados circuitos necessários para o cálculo da deriva do equipamento (somente para os equipamentos L&R). No caso da linha Brasília-Vinhedo-Curitiba-Santa Maria os circuitos foram Brasília-Vinhedo-Brasília, Vinhedo-Curitiba-Vinhedo e Curitiba-Santa Maria-Curitiba. O tempo de duração de cada circuito não ultrapassa 48 horas, pois após esse período a deriva instrumental deixa de ser linear.

As medidas foram executadas sobre as estações absolutas (chapas ou marcos estáveis, cujo ruído é mínimo). Para os gravímetros L&R foram realizadas 3 leituras dentro do intervalo de 2 minutos, em cada estação. A redundância de medidas serve para verificar se foram bem executadas e para indicar se o gravímetro está ou não estável. O limite de 2 minutos é para assegurar que não haja variação significativa da maré. Para os gravímetros CG-5 foram realizados 3 ciclos de 2 minutos. Após a realização das medições os dados foram processados com o objetivo de se obter o valor de g de cada gravímetro em cada estação medida por ele. Para tanto, foi utilizado o *software* GRAVSUR (AMARANTES, 2012).

O fator de escala de cada gravímetro foi calculado a partir da razão entre as diferenças dos valores da aceleração de gravidade obtidos pelos gravímetros em cada circuito, denominados "observados" com os valores das estações absolutas, intitulados de "absolutos" (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores de g de cada estação absoluta

Estação	Valor de g (mGal)
Brasília (IBGE)	978.079,072
Monte Carmelo	978.293,411
Vinhedo (RENEGA)	978.563,644
São Paulo	978.641,820
Cananeia	978.934,232
Curitiba (RENEGA)	978.760,387
Lages	978.890,777
Santa Maria (RENEGA)	979.261,568

Para cada gravímetro foi calculado o valor final do fator de escala a partir da média do fator de escala em cada circuito, bem como o desvio-padrão de *k*. Para exemplificar, considera-se ao gravímetro G111 para o circuito Monte Carmelo-Vinhedo. Os valores observados de gravidade foram 979.728,838 e 979.999,751 mGal, respectivamente. Logo, a diferença dos valores observados foi de -270,913 mGal. Já a diferença dos valores absolutos (Tabela 2) é de -270,233 mGal. Com isso, o fator de escala para esse circuito é de 0,9975.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

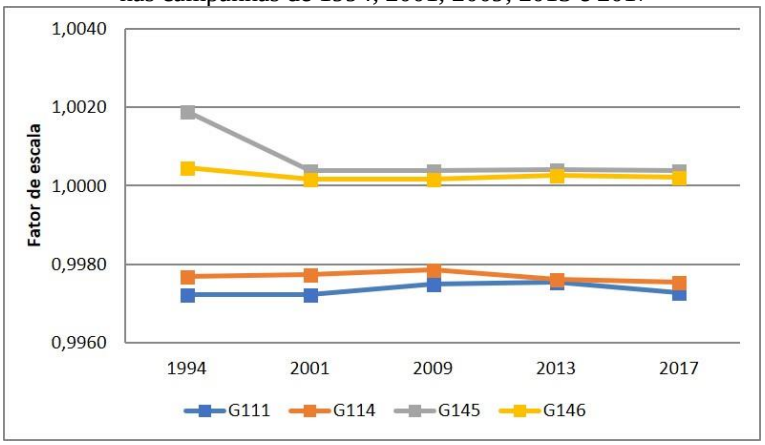
Os gravímetros G111, G114, G145 e G146 participaram de 5 campanhas de calibração e os valores dos fatores de escala calculados são apresentados na Tabela 3. Verifica-se que a medidas de *k* para os equipamentos supracitados são: 0,9974, 0,9977, 1,0007 e 1,0003, respectivamente. Salienta-se que o valor de referência do fator de escala é 1,0000.

Tabela 3 – Fator de escala para os gravímetros G111, G114, G145 e G146

Gravímetro	Fator de escala				
	1994	2001	2009	2013	2017
G111	0,9972	0,9972	0,9975	0,9976	0,9973
G114	0,9977	0,9977	0,9979	0,9976	0,9976
G145	1,0019	1,0004	1,0004	1,0004	1,0004
G146	1,0005	1,0002	1,0002	1,0003	1,0002

A Figura 3 apresenta o comportamento do fator de escala ao longo das 5 calibrações. Analisando a Figura 3 é possível verificar que os gravímetros G111, G114 e G146 apresentaram variações de no máximo 0,0003 de uma calibração para outra. O gravímetro G145 apresentou uma variação de 0,0015 da calibração de 1994 para 2001. Para os demais anos o valor de *k* não sofreu alteração maior que 0,0003.

Figura 3 – Fator de escala dos gravímetros G111, G114, G145 e G146 nas campanhas de 1994, 2001, 2009, 2013 e 2017



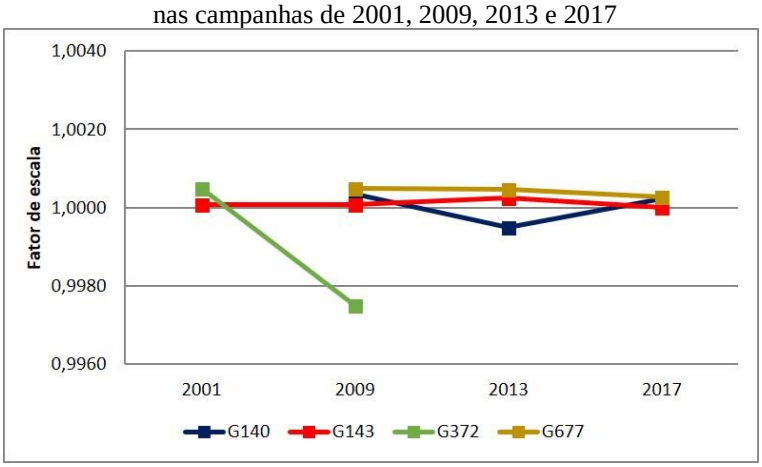
A Tabela 4 mostra o valor de *k* para os gravímetros G140, G143, G372 e G677. O primeiro e o último não participaram da campanha de 2001, enquanto que o segundo na de 2009. Já o terceiro equipamento, não esteve presente nas calibrações de 2013 e 2017. A média do valor de *k* para o gravímetro G140 foi de 1,0000, para o G143 o valor obtido foi de 1,0001, enquanto que para o G372 foi de 0,9990. Cabe salientar que a diferença entre as duas calibrações desse equipamento foi de 0,0300 e o valor do desvio padrão de 0,0021. Recomenda-se que o gravímetro G372 participe de novas campanhas de calibração com o objetivo de determinar um novo fator de escala. Por fim, o equipamento G677 teve uma média de 1,0004.

Tabela 4 – Fator de escala para os gravímetros G140, G143, G372 e G677

Gravímetro	**Fator de escala**			
	2001	**2009**	**2013**	**2017**
G140	----	1,0003	0,9995	1,0002
G143	1,0001	----	1,0002	1,0000
G372	1,0005	0,9975	----	----
G677	----	1,0005	1,0005	1,0003

A Figura 4 ilustra o comportamento dos gravímetros G140, G143, G372 e G677 nas campanhas em que eles participaram. Nota-se a maior variação de *k* para o gravímetro G372 (campanhas 2001 e 2009).

Figura 4 – Fator de escala dos gravímetros G140, G143, G372 e G677 nas campanhas de 2001, 2009, 2013 e 2017



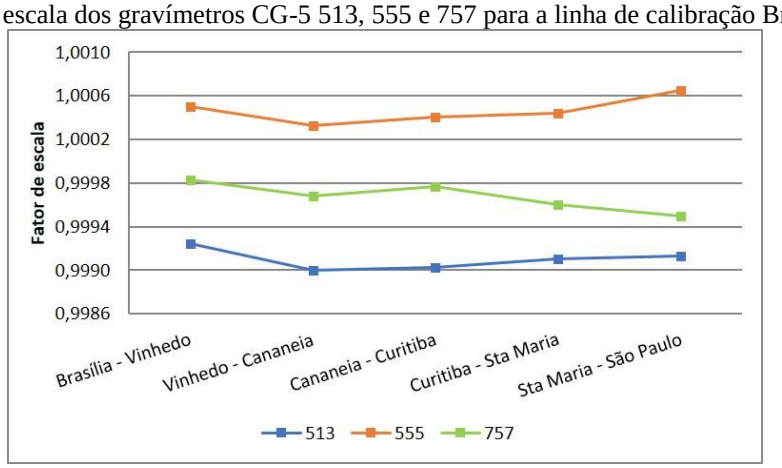
Três gravímetros da marca SCINTREX, modelo CG-5 participaram de uma calibração, em 2013, na linha Brasília-Vinhedo-Cananeia-Curitiba-Santa Maria-São Paulo. A Tabela 5 apresenta os fatores de escala para cada trecho da calibração. A média de *k* para o gravímetro 513 foi de 0,9991, enquanto que, para o 555 foi de 1,0004 e para o equipamento 757 de 0,9997. O desvio padrão os três gravímetros foi o mesmo, cujo valor é de 0,0001.

Tabela 5 – Fator de escala para os gravímetros CG-5 513, 555 e 757

Gravímetro	**Fator de escala**				
	Brasília-Vinhedo	**Vinhedo - Cananeia**	**Cananeia - Curitiba**	**Curitiba - Sta Maria**	**Sta Maria - São Paulo**
513	0,9992	0,9990	0,9990	0,9991	0,9991
555	1,0005	1,0003	1,0004	1,0004	1,0006
757	0,9998	0,9997	0,9998	0,9996	0,9995

A Figura 5 ilustra o comportamento do fator de escala ao longo da linha de calibração para os três gravímetros envolvidos. Observa-se um comportamento muito similar dos três equipamentos em termos de *k*.

Figura 5 – Fator de escala dos gravímetros CG-5 513, 555 e 757 para a linha de calibração Brasília – São Paulo



4 CONCLUSÕES

Com o passar dos anos faz-se necessário a realização da calibração dos gravímetros função dos desgastes e alterações do sistema elástico do instrumento.

Neste estudo foram calculados o fator de escala de 11 gravímetros (7 L&R e 3 CG-5). Cinco campanhas foram realizadas para a calibração dos gravímetros L&R, sendo que 4 estiveram presentes em todas as campanhas, e apenas o equipamento G146 apresentou uma variação de k (entre as campanhas de 1994 e 2001) maior que 0,0014. Para os outros 3 gravímetros a variação não foi superior a 0,0003. Outros 4 gravímetros (G140, G143, G372 e G677) participaram de campanhas nos aos de 2001, 2009, 2013 e 2017, não necessariamente estando presente em todas as campanhas. O equipamento G372 foi calibrado em duas ocasiões (2001 e 2009) e a variação de k foi de 0,0300. Recomenda-se uma nova calibração desse equipamento com o objetivo de verificar o fator de escala, uma vez que a diferença é considerada significativa.

Por fim, 3 gravímetros SCINTREX CG-5 participaram de calibração na linha Brasília-São Paulo. Foi detectado que a variação de *k* não foi superior a 0,0002 entre cada campanha, e que, o comportamento dos três equipamentos é semelhante.

Recomenda-se que a calibração dos equipamentos seja realizada constantemente com o objetivo de verificar e atualizar o fator de escala de cada equipamento. Para trabalhos futuros será acrescida a precisão dos fatores de escala.

REFERÊNCIAS

AMARANTES, R. R. **Sistematização do processamento de dados gravimétricos aplicados à determinação do modelo geoidal**. 2012. 152 f. Tese de Doutorado. Universidade de Campinas, Campinas.

CASTRO JÚNIOR, C. A. C. **Contribuição ao estabelecimento de um sistema gravimétrico para a América do Sul**. 2005. 156p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), Escola Politécnica, USP.

CASTRO JUNIOR, C. A. C.; GUIMARÃES, G. N.; FERREIRA, N. C. Evolução da infraestrutura gravimétrica no Brasil. **Geociências**. V. 37, n. 2, p. 361 - 384, 2018.

GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física**. Curitiba, Editora da UFPR, 1999. 302p.

MELLO, M.P. **Sistema Geodésico Brasileiro: ensaio para definição do vetor de orientação geocêntrica através da geodésia física**. Curitiba, 1973. 268p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), Universidade Federal do Paraná.

SHOKIN, P.F. **Gravimetry**. Trad: Israel Program for Scientific. Translation. Washington, Department of Communication. 1963.

TORGE, W. **Geodesy**. ed. Berlin: Walter de Gruyter, 2001. 416p.

TORGE, W.; TIMMEN, L.; RÖDER, H. R.; SCHNÜLL, M. The IFE absolute Gravity Program "South America" **Report Deutsche Geodätische Kommission.** 1994. 44p.

COMPORTAMENTO DO VTEC EM ALTA ATIVIDADE SOLAR NOS CICLOS 23 E 24

JULIERME WAGNER DA PENHA [1, 2]
DIÓGENES CORTIJO COSTA [2]

[1] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais:
Campus Inconfidentes - IFSULDEMINAS
Setor de Agrimensura e Cartografia - SAC, Inconfidentes, MG
julierme.penha@ifsuldeminas.edu.br

[2] Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC
Departamento de Geotecnia e Transportes - DGT, Campinas, SP
dcortijo@fec.unicamp.br

RESUMO - A maior fonte de erros no posicionamento com GNSS (*Global Navigation Satellite System*) era a técnica SA (Disponibilidade Seletiva), desativada em 02 de maio de 2000. Com a desativação desta técnica, o efeito causado pela ionosfera no sinal transmitido pelos satélites tornou-se a maior fonte de erros no posicionamento utilizando receptores de uma frequência. Este erro é diretamente proporcional ao conteúdo total de elétrons (TEC) na ionosfera e inversamente proporcional ao quadrado da frequência do sinal transmitido. A ionosfera, como meio dispersivo, afeta a modulação e a fase, causando sofrer, respectivamente, um atraso e um adiantamento. O atraso é referido também como atraso ionosférico e aumenta o comprimento aparente do caminho percorrido pelo sinal. O TEC varia no tempo e no espaço em relação à variação diária, a época do ano (variação sazonal), a localização geográfica, o ciclo das manchas solares (variação de longo período). Neste trabalho foi avaliado o comportamento do VTEC (TEC na direção vertical) através de mapas gerados a partir dos arquivos IONEX do IGS, analisando os meses de abril de 2001 e abril de 2014, respectivamente nos ciclos solares 23 e 24 na alta atividade solar. Constatou-se uma redução no valor do VTEC no ano de 2014 em relação ao ano de 2001, devido a menor atividade solar (declínio no número de manchas solares), consequentemente, uma menor quantidade de elétrons presentes na ionosfera.

ABSTRACT – The largest source of errors in GNSS (Global Navigation Satellite System) positioning was the SA (Selective Availability) technique, which was deactivated on May 2, 2000. With the deactivation of this technique, the effect caused by the ionosphere on the satellite- the largest source of error in positioning using frequency receivers. This error is directly proportional to the total electron content (TEC) in the ionosphere and inversely proportional to the square of the frequency of the transmitted signal. The ionosphere, as a dispersive medium, affects the modulation and phase, causing a delay and an advance respectively. The delay is also referred to as ionospheric delay and increases the apparent length of the path traveled by the signal. The TEC varies in time and space in relation to the daily variation, the time of the year (seasonal variation), the geographic location, the sunspot cycle (long period variation). In this work the behavior of the VTEC (TEC in the vertical direction) was evaluated through maps generated from the IONEX IGS files, analyzing the months of April 2001 and April 2014, respectively in the solar cycles 23 and 24 in the high solar activity. A decrease in the value of VTEC in the year 2014 was observed in relation to the year 2001, due to the lower solar activity (decrease in the number of sunspots), consequently, a smaller amount of electrons present in the ionosphere.

1. INTRODUÇÃO

A atmosfera pode ser considerada, para a maioria dos propósitos práticos, como um conjunto de camadas de gases, esféricas e concêntricas à Terra. Normalmente é conveniente dividir a atmosfera, com respeito à propagação de sinais, em ionosfera e troposfera, porque as condições particulares de propagação são bem diferentes. As camadas mais baixas da atmosfera terrestre, compreendida entre a superfície da Terra até, aproximadamente, 50 km, recebem o nome de troposfera (CAMARGO, 1999).

A radiação solar causa a fotoionização da atmosfera terrestre nas altas altitudes, criando, na atmosfera superior, regiões parcialmente ionizadas, conhecidas como ionosfera, que variam de aproximadamente, 50 a 1000 km (CAMARGO, 1999).

Segundo Klobuchar (1996), a ionosfera é mais importante fonte de erro para usuários do GNSS que requerem medidas com boa acurácia. Às vezes, os erros causados pela troposfera e ionosfera podem ser comparados, mas a variabilidade dos erros da ionosfera é muito maior que da troposfera, e também é mais difícil para se modelar. Os erros da ionosfera podem variar de poucos metros a dezenas de metros, enquanto que na troposfera os erros no zênite estão geralmente entre dois e três metros.

A ionosfera caracteriza-se como parte da atmosfera superior onde está presente um número suficiente de elétrons e íons, que afetam a propagação das ondas de rádio. O seu estado pode ser descrito através da densidade de elétrons (ηe) em unidades de elétrons por m^3. O conteúdo total de elétrons - TEC, que irá caracterizar o impacto da ionosfera na propagação das ondas de rádio, é de acordo com a Equação 1:

$$TEC = \int_r^s n_e(s)ds \tag{1}$$

A integral apresentada na Equação 1 contém o número total de elétrons livres (ηe) que estão incluídos em um cilindro com a área da seção transversal de 1 m^2, alinhado ao longo do caminho que o sinal percorre entre o receptor r e o satélite s. Em aplicações geodésicas o TEC é medido em unidades de TEC (TECU). Uma unidade de TEC (1 TECU) corresponde a 10^{16} elétrons por metro quadrado ($10^{16}/m^2$), e 0,16 m de erro nas distâncias advindas da portadora L1. Para efeito de comparação, usa-se o TEC vertical que é dado pela Equação 2:

$$VTEC = TEC \cdot \cos(z`) \tag{2}$$

onde, z` é a distância zenital do sinal transmitido com relação à vertical e é calculado no ponto em que o sinal transmitido intercepta a camada média ionosférica, segundo Camargo (1999) de acordo com a Equação 3:

$$sen(z`) = \frac{R}{R+H} \cdot sen(z) \tag{3}$$

onde:
z: distância zenital do sinal transmitido, em relação ao receptor;
R: raio médio da Terra;
H: altura da camada ionosférica em referência à superfície da Terra (variação entre 300 e 450 km).

O erro associado à ionosfera é inversamente proporcional ao quadrado da frequência e diretamente proporcional ao conteúdo total de elétrons (TEC) presentes ao longo do caminho da trajetória percorrida pelo sinal na ionosfera. O TEC varia no tempo e no espaço e é influenciado por diversas variáveis, tais como: ciclo solar, época do ano, hora do dia, localização geográfica, atividade geomagnética, segundo Camargo (1999) e Seeber (2003). Alguns modelos têm sido desenvolvidos para a correção das observáveis GPS do erro sistemático devido à ionosfera. Segundo Hofmann-Wellenhof *et al*. (2008) e Monico (2000), o exemplo mais conhecido e utilizado é o modelo de Klobuchar que corrige algo em torno de 50 a 60% do erro ionosférico.

Como a ionosfera é um meio dispersivo, esse índice de refratividade depende da frequência do sinal, afeta a modulação e a fase da portadora, fazendo com que sofram, respectivamente, um retardo e um avanço de acordo com Leick (1995). O retardo é referido, também, como atraso ionosférico e aumenta o comprimento aparente do caminho percorrido pelo sinal.

Segundo Leick (1995) o erro devido à ionosfera na distância medida pela fase da portadora e pelo código, em função do TEC e da frequência é dado pelas Equações (4) e (5):

$$I_f = -\frac{40{,}3}{f^2} \cdot TEC \tag{4}$$

$$I_c = +\frac{40{,}3}{f^2} \cdot TEC \tag{5}$$

O TEC é o principal parâmetro que descreve o efeito da ionosfera nos sinais GNSS. O entendimento do comportamento do TEC na região de interesse é importante para compreender os efeitos e as limitações impostas pela ionosfera no que concerne à qualidade do posicionamento com GNSS.

O Brasil é uma das regiões que apresentam os maiores valores do TEC, uma alta variação espacial e temporal se comparados com valores referentes às outras regiões do globo terrestre. Daí a motivação de estudar o efeito ionosférico, a partir do parâmetro TEC, uma vez que inúmeras atividades como geodésia e geodinâmica utilizam o posicionamento por satélites, beneficiando os usuários e trazendo melhorias para o posicionamento preciso com GNSS.

O objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento do erro devido à ionosfera a partir do parâmetro VTEC dos arquivos IONEX (IGS) em função dos mapas, referente aos meses de abril de 2001 e abril de 2014, na alta atividade solar em ciclos solares distintos (ciclos 23 e 24).

1.1. Arquivos IONEX (VTEC do IGS)

No ano de 1998 o IGS (*International GNSS Service*), a partir do seu Grupo de Trabalho da Ionosfera (IGS IonoWG – *Ionosphere Working Group of the IGS*), iniciou a produção de arquivos da ionosfera que disponibilizam valores de VTEC calculados usando dados coletados pela sua rede de receptores de dupla frequência.

Os arquivos são disponibilizados pelo IGS no formato IONEX (*IONosphere map EXchange format*) que fornecem valores de VTEC em uma malha com resolução espacial de 2,5º x 5º em latitude e longitude, respectivamente e resolução temporal de 2 horas (PENHA, 2009). Atualmente, o grupo de trabalho da ionosfera do IGS conta com a participação de 4 centros de análises (SCHAER e GURTNER, 1998):

- CODE (*Center for Orbit Determination in Europe* - Suíça);
- ESA (*European Space Agency* - Alemanha);
- JPL (*Jet Propulsion Laboratory* - EUA);
- UPC (*Polytechnical University of Catalonia* - Espanha).

Cada um desses centros de análise produz mapas do VTEC disponibilizados pelo IGS, cada qual com suas estratégias, e todas utilizando dados do GNSS (*Global Navigation Satellite System*) das estações ativas do IGS. Desde meados de dezembro de 2002, para cada dia, os arquivos IONEX produzidos por cada um dos centros de análise são combinados para resultar em um único arquivo IONEX, ou seja, um único arquivo global do VTEC. Estes arquivos de cada centro de análise e o arquivo combinado são disponibilizados pelo IGS, no seguinte endereço eletrônico: ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/products/ionex/.

Uma das aplicações destes arquivos IONEX do IGS é possibilitar ao usuário de receptor de uma frequência (simples frequência) uma forma de obter o valor do erro devido à ionosfera para realizar a correção de suas observáveis, e desta forma, melhorar a qualidade do seu posicionamento, isto é possível devido ao fato deste erro ser proporcional ao TEC (MATSUOKA, 2007).

1.2. Manchas solares e ciclos solares

As variações temporais, que compreendem as variações diurnas, sazonais e ciclos de longos períodos, influenciam diretamente na mudança da densidade de elétrons na ionosfera. As variações de ciclos de longos períodos na densidade de elétrons, com ciclos de aproximadamente 11 anos, são associadas às ocorrências de manchas solares, e o aumento de ionização é proporcional ao número de manchas.

Segundo Oliveira Filho e Saraiva (2000), as manchas solares são regiões mais frias e escuras, que aparecem na superfície do sol. Elas são rodeadas por regiões mais brilhantes que emitem um nível mais alto de radiação ultravioleta, e são constituídas de duas partes: a umbra, parte central mais escura, com temperatura em torno de 3800 K, e a penumbra, região um pouco mais clara e com estrutura radial em torno da umbra. Essas manchas solares tendem a se formar em grupos, e estão associados a intensos campos magnéticos no Sol. Com o aumento do numero de manchas solares, aumenta a radiação solar e ocasiona uma mudança na densidade de elétrons na ionosfera.

A Figura 1 mostra uma imagem da superfície do Sol (luz branca), onde se podem notar algumas manchas solares, que aparecem na imagem com manchas mais escuras (retângulo envolvente).

Figura 1. Imagem da superfície do Sol com as manchas solares.

Fonte: Oliveira Filho e Saraiva (2000).

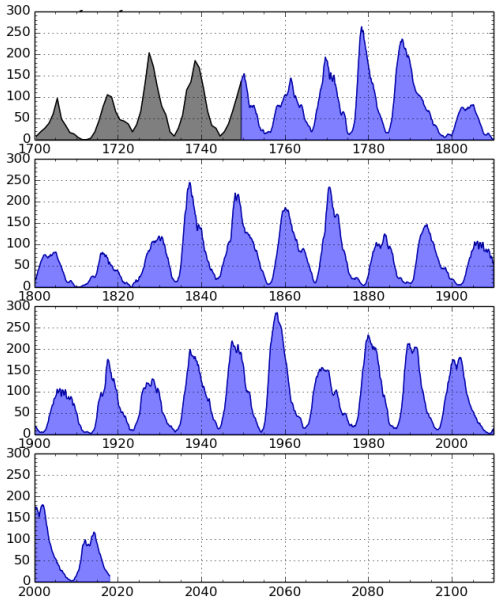
O número de manchas solares (R) pode ser calculado a partir do índice de Wolf, que é dado pela Equação 6:

$$R = k\cdot(10\cdot g+s) \quad (6)$$

onde:
g: número de grupos de manchas;
s: número de manchas observadas individualmente;
k: fator de correção (comparar resultados em locais distintos e diferentes equipamentos).

A Figura 2 apresenta o registro de ciclos solares desde 1700 até 2017, sendo estes definidos com relação ao número de manchas solares. Vale notar que de 1700 até 1750, as médias dos números de manchas solares eram anuais (em cinza), visto que de 1750 até os dias atuais (2017), a contagem do número de manchas são dadas pela média mensal (em violeta). Salienta-se que os ciclos solares variam de 11 anos aproximadamente. Atualmente a ionosfera está no término do "ciclo 24".

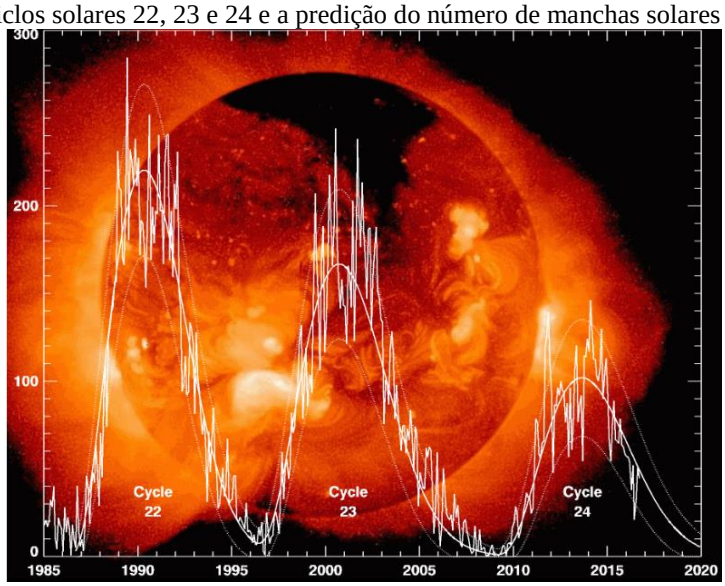
Figura 2. Número de manchas solares e ciclos solares.



Fonte: <http://sidc.oma.be/html/wolfaml.html> - acesso em 20 ago. 2018.

A Figura 3 apresenta o número de manchas solares em relação aos anos de 1985 a 2017, abrangendo todo o ciclo 22, 23 e parte do ciclo 24. No ciclo 23 o período de máxima atividade solar compreendeu os anos de 2000 e 2002. Nota-se que o ciclo 24 foi menos ativo do que o ciclo 23. A predição do número de manchas solares do ciclo 24 é indicada pela curva suavizada contínua até 2020..

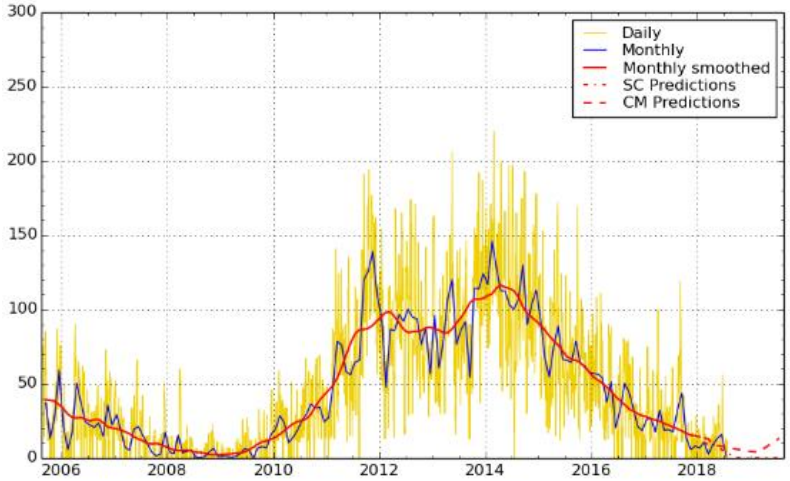
Figura 3. Ciclos solares 22, 23 e 24 e a predição do número de manchas solares do ciclo 24.



Fonte: <https://solarscience.msfc.nasa.gov/images/Cycle22Cycle23Cycle24big.gif> - acesso em 20 ago. 2018.

A Figura 4 mostra o número de manchas solares do ciclo 24 e a parte final do ciclo 23 com relação aos anos de 2006 a 2018. No ciclo 24 o período de máxima atividade solar compreendeu os anos de 2013 e 2015. A linha amarela representa os valores diários, a linha azul representa valores médios mensais e a linha vermelha apresenta uma suavização desses valores. A curva tracejada mostra uma predição do número de manchas até 2020.

Figura 4. Número de manchas solares - Ciclos 23 e 24.



Fonte: <http://sidc.oma.be/html/wolfjmms.html> - acesso em 20 ago. 2018.

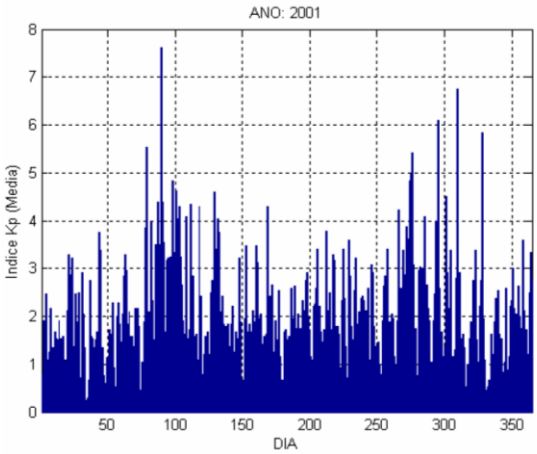
No ano de 2018, como o ciclo 24 está em uma fase de baixa atividade solar, ou seja, um declínio no número de manchas solares ocorre uma diminuição na ionização, pois esta é proporcional ao número de manchas. Assim, a densidade de elétrons da ionosfera é reduzida. Consequentemente ocorre uma diminuição do erro devido à ionosfera, pois o mesmo é diretamente proporcional ao TEC e isto implica melhorias no desempenho do posicionamento GNSS.

1.3. Índices geomagnéticos

Os índices geomagnéticos constituem uma série de dados que visam descrever em escala planetária a atividade geomagnética ou alguns de seus componentes. Segundo Fedrizzi (2003), os índices geomagnéticos mais frequentemente utilizados para determinar a intensidade e a duração das tempestades geomagnéticos são os índices: Dst (*Disturbance Storn-Time*), Kp (*Planetarische Kennziffer*) ou índice planetário e AE (*Auroral Electrojet*).

De acordo com Oliveira (2003), o índice planetário Kp é obtido à partir da média aritmética dos índices K medidos em 13 observatórios entre as latitudes de 46º e 63º N e 46º e 63º S em relação ao equador geomagnético. O índice planetário Kp reflete globalmente o grau de perturbação da componente horizontal do campo geomagnético. Seus valores variam de 0 a 9 em uma escala não linear. Porém, este índice representa melhor as perturbações do campo magnético do hemisfério norte devido à maior quantidade de observatórios magnetométricos. Na Figura 5 são mostrados os comportamentos do índice Kp para o ano de 2001, quando o ciclo solar 23 atingiu seu período de maior atividade solar.

Figura 5. Índice Kp para o ano de 2001.



Fonte: Oliveira (2003).

O índice Ap é o correspondente linear do índice Kp, cujos valores são derivados das medições feitas da variação do campo geomagnético. A atividade geomagnética é classificada de acordo com os índices Kp e Ap, como mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação da atividade geomagnética em função de Kp e Ap.

Atividade Geomagnética	Índice Kp	Índice Ap
Calma	0 - 2	< 8
Transição	3	8 -15
Ativo	4	16 -29
Tempestade fraca	5	30 - 49
Tempestade intensa	6	50 - 99
Tempestade muito intensa	7 - 9	100 - 400

Fonte: Matsuoka (2007).

Segundo Yamashita (1999), o índice Dst (dado em nanoTesla - nT) representa o invólucro das curvas de medidas magnetométricas obtidas por uma cadeia de magnetômetros localizados na região equatorial, ao longo do globo terrestre. E a partir desse parâmetro que se melhor define a tempestade geomagnética, pois, antes e após a ocorrência de uma tempestade, o índice Dst tem sempre um comportamento padrão. De acordo com a Tabela 2, a classificação de uma tempestade geomagnética é dada em função do índice Dst.

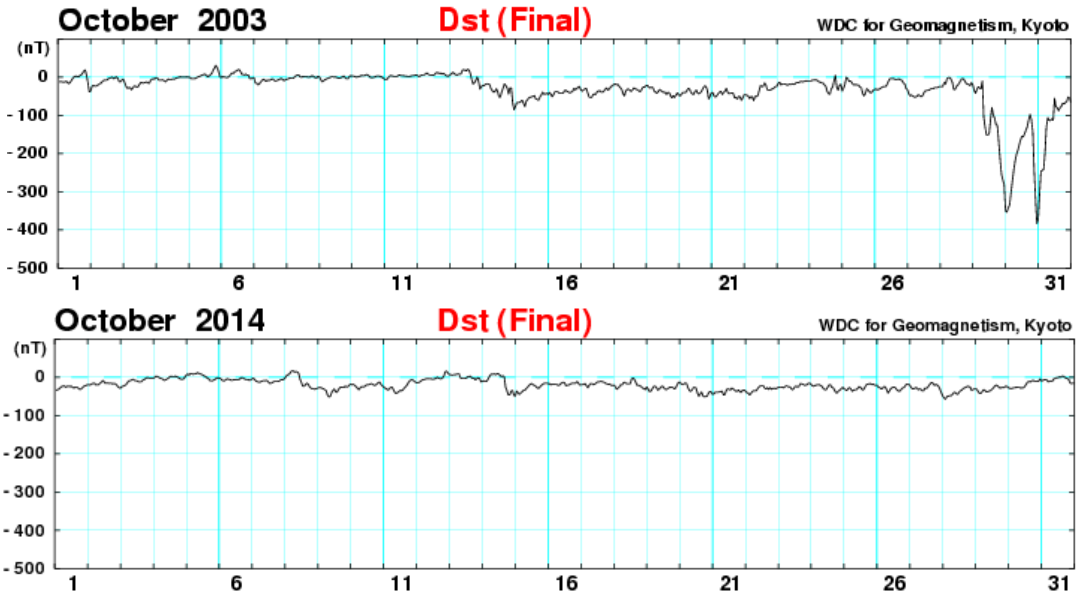
Tabela 2. Classificação de uma tempestade geomagnética.

Condição da Tempestade Geomagnética	Valor do índice Dst (nT)
Fraca	-30 a -50
Moderada	-50 a -100
Intensa	-100 a -250
Muito Intensa	< -250

Fonte: Fedrizzi (2003).

Para efeito de comparação, observa-se na Figura 6 que no gráfico de outubro de 2003 apresenta uma curva do índice Dst nos dias 28 a 31 de outubro, com uns picos nos dias 29 e 30, assim registrou-se o inicio de uma severa tempestade geomagnética. Já no mês de outubro de 2014 observa-se uma Dst fraca.

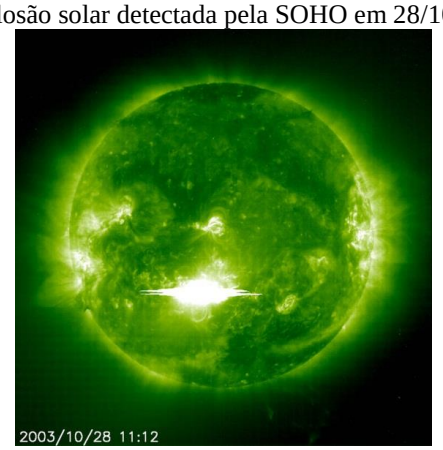
Figura 6. Comportamento do Dst para outubro 2003 e outubro de 2014.



Fonte: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_final/> - acesso em 20 ago. 2018.

A Figura 7 ilustra uma explosão solar obtida pela sonda solar SOHO em outubro de 2003, a sonda solar capturou esta imagem de uma erupção solar, a terceira mais poderosa já observada em comprimentos de onda de raios-X, quando ela explodiu do sol na terça-feira, em 28 de outubro de 2003 às 11 horas e 12 minutos TU, foi precedido por uma ejeção de massa coronal (CME – *Coronal Mass Ejection*).

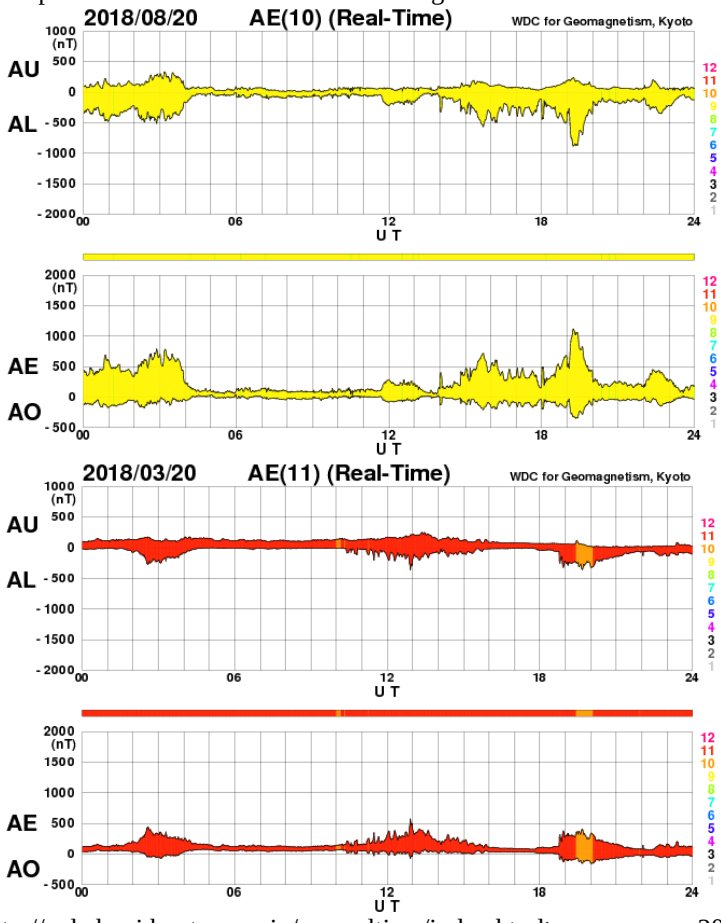
Figura 7. Explosão solar detectada pela SOHO em 28/10/2003.



Fonte: <https://www.nasa.gov/mission_pages/soho/images/index.html> - acesso em 19 ago. 2018.

O índice AE (índice do eletrojato auroral) é obtido a partir de medidas das variações da componente horizontal do campo geomagnético, coletadas em observatórios selecionados e distribuídos uniformemente ao longo da região auroral no hemisfério norte, sua intensidade é proporcional ao depósito de energia cinética das partículas que se precipitam na região auroral, conforme Yamashita (1999). Valores publicados do índice AE podem ser encontrados no seguinte endereço eletrônico: http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/Sec3.html. A Figura 8 exemplifica esses índices AE, observa-se que o número de estações usadas para derivar o índice é mostrado em cores e a escala de cores é exibida à direita da plotagem. Segundo o órgão de disponibilidade, os usuários devem observar que uma perda de apenas uma estação pode perder eventos significativos de perturbação. Os usuários também devem observar que os índices AE em tempo real podem incluir ruído e deslocamento da linha de base, já que usamos dados brutos sem verificações visuais, O órgão não tem responsabilidade causada por esses ruídos e mudança de linha de base nas estacoes AE.

Figura 8. Comportamento do índice AE em 20 de agosto 2018 e em 20 de março de 2018.



Fonte: < http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/ae_realtime/index.html> - acesso em 20 ago. 2018.

2. METODOLOGIA

Neste experimento foram elaborados mapas médios do VTEC da ionosfera para o território brasileiro referente aos meses de abril de 2001 e abril de 2014. Segundo Matsuoka (2004), de acordo com a variação sazonal, o mês de abril é um dos que apresentam maiores valores anuais do TEC, sendo este o motivo de sua escolha entre os vários meses do ano. Esses mapas foram produzidos de modo a avaliar as variações espaciais e temporais do VTEC durante um período com alta atividade solar em ciclos solares distintos.

Para a elaboração desses mapas médios foram escolhidos os seis dias de cada mês com base na atividade geomagnética (verificando-se o índice Ap diário), que correspondem os seis dias com menor atividade geomagnética de cada mês. Buscou-se estudar o comportamento do TEC em períodos com atividade geomagnética calma, a fim de evitar dias com influência de tempestades geomagnéticas. Os mapas médios do VTEC foram gerados no *software* Surfer 8.0, através dos valores de VTEC dos pontos da malha do IGS e foram utilizados os arquivos combinados do IONEX (*IONosphere map EXchange format*). Para a conclusão destes mapas foi utilizado o método de interpolação por Krigagem, devido sua dependência espacial, para uma malha de 1º de latitude x 1º de longitude. Salienta-se que, os mapas do VTEC possuem limitações nas regiões oceânicas em função do número reduzido de pontos ionosféricos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Penha (2009) chega a concluir que os maiores valores de VTEC no território brasileiro ocorre por volta das 15 horas (HL), ou seja, 18 TU, este aumento é devido à trajetória do sol. Com isso foram abordados somente os mapas das 18 TU. As Figuras 9 e 10 ilustram a variação do TEC vertical (VTEC) no território brasileiro durante os meses de abril de 2001 (ciclo solar 23) e abril de 2014 (ciclo solar 24), respectivamente.

Figura 9. Mapa médio mensal do VTEC para o Brasil (abril/2001 -18 TU).

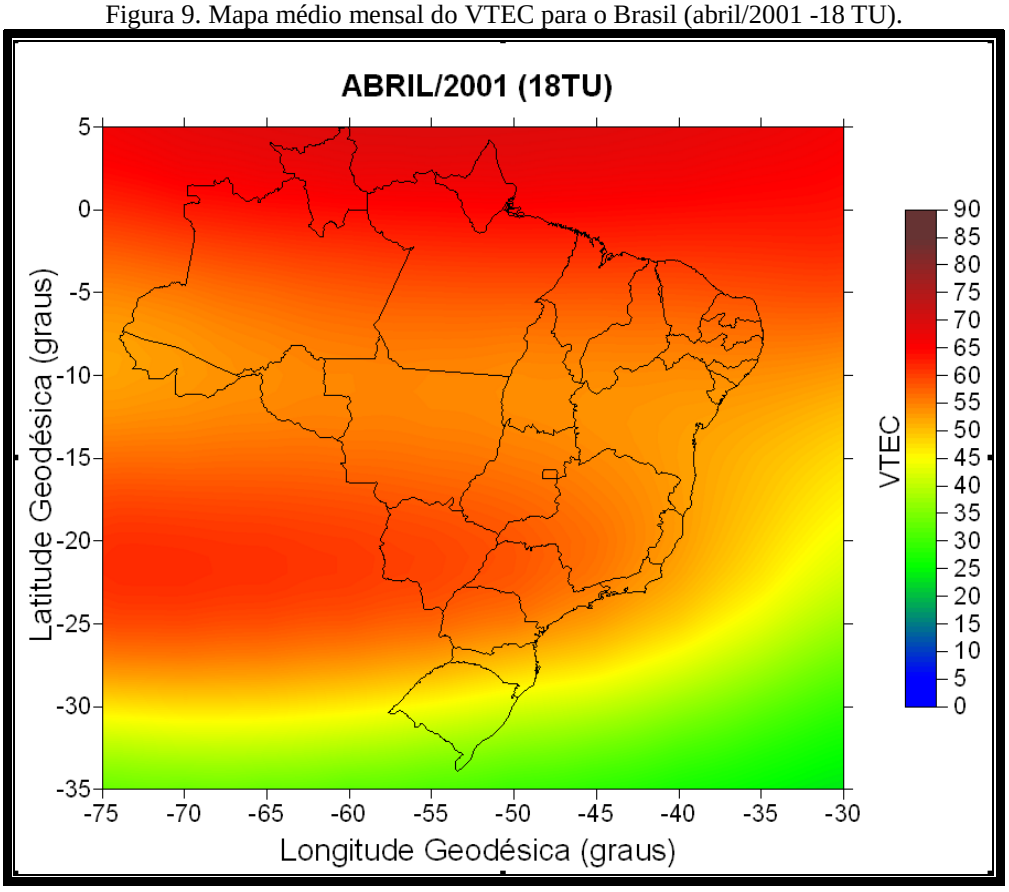
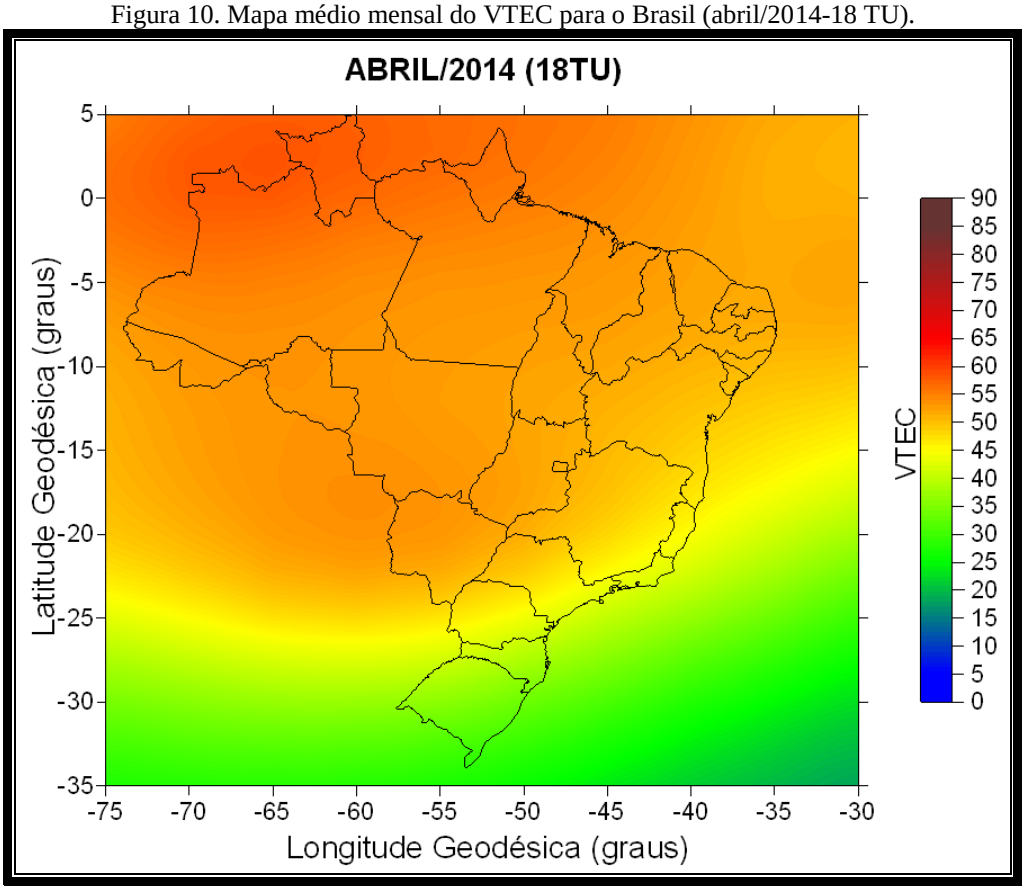


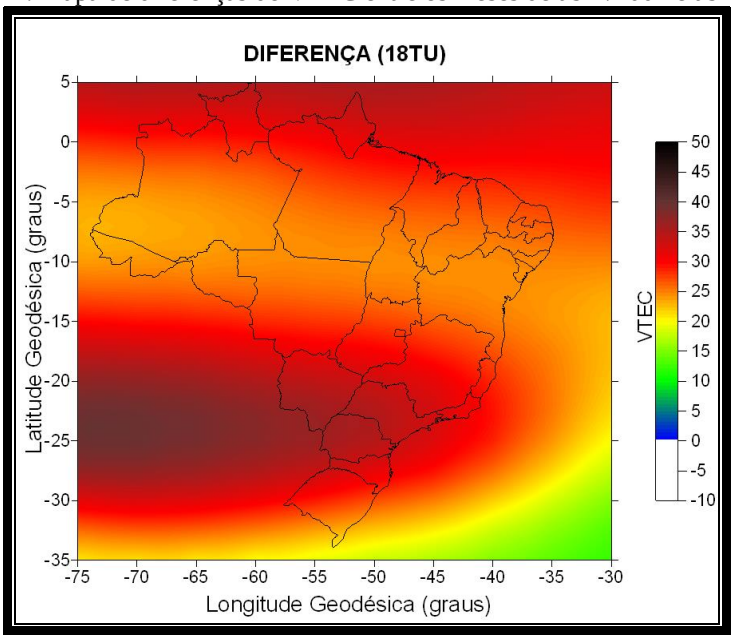
Figura 10. Mapa médio mensal do VTEC para o Brasil (abril/2014-18 TU).



Comparando as Figuras 9 e 10, pode-se verificar a diminuição dos valores do VTEC no ano de 2014 em relação ao ano de 2001, principalmente nas regiões com valores mais elevados de VTEC. No ano de 2001 obtiveram-se valores máximos próximo de 90 TECU, enquanto que no ano de 2014 os valores máximos não ultrapassaram de 55 TECU. Isto de deve a redução no número de manchas solares, com isso uma menor atividade solar.

A Figura 11 apresenta um mapa de diferenças de valores de VTEC entre os mapas dos meses de abril de 2001 e abril de 2014.

Figura 11. Mapa de diferenças do VTEC entre os meses de abril/2001 e abril/2014.



4. CONCLUSÕES

Sabe-se que, estudando o comportamento do TEC se estará estudando também o comportamento do erro devido à ionosfera nas observáveis GNSS, devido à proporcionalidade entre ambos.

Vale salientar que no ano de 2014 apresenta uma menor atividade solar em relação ao ano de 2001, ou seja, apresentando valores de VTEC menores. Desta forma, no ano de 2014 apresenta um melhor desempenho do posicionamento com GNSS devido à redução do número de manchas solares e o ciclo 24 possuírem uma menor atividade solar que o ciclo 23.

Devido o TEC ser proporcional ao erro devido à ionosfera na distância entre o satélite e a antena receptora, a diminuição no primeiro implicará diretamente o mesmo no segundo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMARGO, P. O. **Modelo regional da ionosfera para uso em posicionamento com receptores GPS de uma frequência**. 1999. 191p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR. 1999.

FEDRIZZI, M. **Estudo do efeito das tempestades magnéticas sobre a ionosfera utilizando dados do GPS**. 2003. 223p. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos - SP. 2003.

HOFFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS - Global Navigation Satellite System: GPS, Glonass, Galileo and more**. Springer-Verlag Wien, New York, 2008. 516 p.

KLOBUCHAR, J. A. **Ionospheric effects on GPS**. Global Positioning System: Theory and Applications. Cambridge: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996. v.1, p.485-515.

LEICK, A. **GPS Satellite surveying**, John Wiley & Sons, 2nd ed., Orono, Maine, 1995. 560p.

MATSUOKA, M. T.; CAMARGO, P. O.; DAL POZ, W. R. **Declínio do número de manchas solares do ciclo solar 23: redução da atividade ionosférica e melhora da performance do posicionamento com GPS**. Boletim de Ciências Geodésicas, sec. Artigos, v.10, nº 2, 2004, p.141-157.

MATSUOKA, M. T. **Influência de diferentes condições da ionosfera no posicionamento por ponto com GPS: avaliação na região brasileira**. 2007. 263p. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente - SP. 2007.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR - GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Ed. Unesp, 2000. 287p.

OLIVEIRA, A. B. V. **Uso do GPS para o estudo da Anomalia Equatorial**. 2003. 167p. Tese de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São Jose dos Campos - SP. 2003.

OLIVEIRA FILHO, K. S. O.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e Astrofísica**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Astronomia – Instituto de Física. 2000. 708p.

PENHA, J. W. **Avaliação da variação do TEC no território brasileiro utilizando dados do IGS no período de 2004 a 2008**. 2009. 110 p. Dissertação (Mestrado em Informações Espaciais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2009.

SCHAER, S; GURTNER, W. **IONEX: The IONosphere Map EXchange Format Version 1**. Proceedings of the IGS AC Workshop, Darmstadt, Germany, 1998.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, methods and applications**. Berlin-New York: Walter de Gruyter, 2003. 589p.

YAMASHITA, C. S. **Efeito das tempestades magnéticas intensas na ionosfera de baixa latitude**. 1999. 75p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos - SP. 1999.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

CONTROLE VERTICAL DE MARÉGRAFO EM TRAMANDAÍ (RS) - REDE ALTIMÉTRICA LOCAL PARA APOIO AO MONITORAMENTO DO NÍVEL DO MAR

MAURÍCIO KENJI YAMAWAKI
FELIPE GEREMIA NIEVINSKI

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Instituto de Geociências - IGEO
Departamento de Geodésia
Porto Alegre, RS
kenji.yamawaki@gmail.com, felipe.nievinski@ufrgs.br

RESUMO - A determinação do nível médio dos mares é um dos maiores desafios para geociências. Medições maregráficas tradicionais são custosas e necessitam de infraestrutura específica para serem realizadas. Este trabalho tem o objetivo de determinar uma rede altimétrica local para apoio à medição maregráfica e realizar controle vertical do marégrafo que encontra-se na plataforma de pesca em Tramandaí – RS, onde estão sendo realizados estudos para desenvolvimento de levantamentos maregráficos por refletometria GNSS. Para execução da rede foram aplicadas técnicas de levantamentos, como nivelamento geométrico e rastreio por GNSS. Além dos levantamentos geodésicos, foram adquiridos dados preliminares através de consulta a órgãos como IBGE, Forças Armadas e prefeituras, onde foram obtidas informações relevantes para conclusão do projeto. O processamento de dados do nivelamento geométrico foi realizado através de ajustamento de observações com uso de software de implementação matemática (Octave) e os dados de GNSS processados com software comercial (Topcon Tools), além de controle de qualidade através de comparação com levantamento independente. Concluindo todas as etapas, foi produzido banco de dados com informações geradas neste projeto, contendo dados necessários para utilização da rede em projetos e estudos futuros na região.

ABSTRACT – Mean sea level determination is one of the biggest challenges in geosciences. Traditional tide gauge measurement is expensive and need specific infrastructure to be performed. This project has as objective the determination of a local height network to support tide measuring and give vertical control of tide gauge located on Tramandaí's (RS), were studies are being carried out for development of tide gauge survey by GNSS reflectometry. Techniques as geometric leveling and GNSS surveying were used for the determination of the height network vertices. In addition to the geodetic surveys, preliminary data were acquired through consultation on public organizations as IBGE, Brazilian Army and town halls. Data processing of geometric leveling was accomplished by adjusting observations using mathematical implementation software (Octave) and GNSS data processed with commercial software (Topcon Tools), plus quality control by comparison with independent surveying. Completing all the steps, a database was produced with information generated in this project, containing needed data to use the network in projects and future studies in the region.

1 INTRODUÇÃO

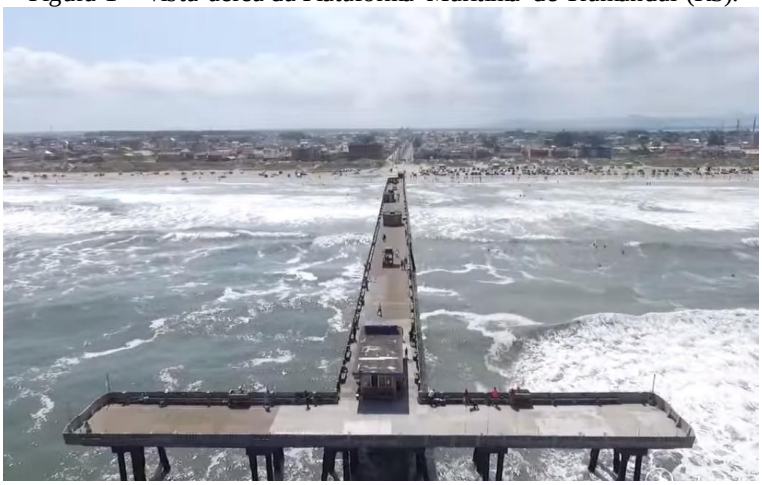
A determinação do nível médio dos mares é um dos maiores desafios para geociências. Na Geodésia, medições maregráficas servem como Datum vertical para todo território nacional. Na Oceanografia, dados de maré ajudam a compor as variáveis necessárias para produção de planejamento urbano e a delimitação de áreas de risco em regiões costeiras.

Na oceanografia há a necessidade de trabalhar com informações históricas para composição dos dados necessários para realização do estudo de comportamentos climáticos regionais. Considerando a vulnerabilidade das estações maregráficas a possível recalque da estrutura de concreto, bem como subsidência e soerguimento regionais, foi vislumbrada a necessidade de preservar o referencial altimétrico utilizado nas medições através do transporte deste referencial para um marco mais seguro.

Este trabalho visa auxiliar a manter a continuidade das observações maregráficas, oferecendo uma rede altimétrica local para controle vertical de medições presentes e futuras na Plataforma Marítima do município de Tramandaí (RS), exibida na Figura 1. A plataforma de Tramandaí foi escolhida por possuir estação maregráfica automatizada, equipada

com sensor do tipo radar, instalado pelo Instituto Oceanográfico da FURG como parte do Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira (SiMCosta). Há planos de instalação de outro marégrafo como sensor ultrassônico pelo Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO) da UFRGS. Além disso, como parte de projetos em andamento no Departamento de Geodésia da UFRGS, pretende-se instalar receptor/antena GNSS geodésicos para controle vertical de movimentos do marégrafo. Tudo isso necessita de interligação altimétrica de precisão, considerando a possível variação no nível do mar da ordem de mm/ano a cm/ano.

Figura 1 – Vista aérea da Plataforma Marítima de Tramandaí (RS).



Fonte: Fernando Pitol.

Figura 2 – Estação maregráfica do SiMCosta em Tramandaí (RS).

Fonte: Autores.

2 METODOLOGIA

2.1 Reconhecimento de Campo

Para o planejamento inicial, foram realizados estudos preliminares da região a ser estudada, observando elementos de logística e elementos pré-existentes na região que poderiam auxiliar trabalhos em campo. Portanto, foram verificadas diversas referências de nível (RN) próximos à região para escolha da melhor opção para o transporte de coordenada. Dentre as referências de nível disponibilizadas no banco de dados geográficos do IBGE, foram observados marcos de RN no município vizinho de Osório, há mais de 18 km da área de estudo, portanto inacessível na prática. Consultando demais fontes de dados, foram encontradas RN mais próxima à área de estudo, sendo uma delas situada no município de Imbé, localizada a aproximadamente 3 km da plataforma, situada nas dependências de terreno em litígio, sob domínio da antiga Superintendência de Portos e Hidrovias (SPH) (antiga DEPREC). Porém, esta RN não está homologada no IBGE, sendo resultado de análise maregráficas local por cerca de um mês há mais de 50 anos. Ademais, posteriormente foi descoberto que a RN nas dependências da SPH tinha sido destruída e a estação maregráfica desativada. Desta forma foi necessário realizar busca de outro referencial de nível para a rede. A Figura 3 apresenta fotografia da estação antes e depois de ser desativada.

Figura 3 – Dependências da SPH que abrigavam RN e estação maregráfica; antes (acima) e depois (abaixo) de ser desativada

Fonte: Google StreetView e Autores

Visando localizar elementos essenciais para determinação da rede altimétrica local, foi realizado levantamento de informações nos órgãos oficiais locais, como prefeituras e a Marinh. Durante o reconhecimento de campo, foram encontrados dois marcos geodésicos no terreno pertencente à Transpetro (Petrobras Transporte S.A.), onde também encontra-se o farol da Marinha. Foi decidido realizar o transporte de coordenada destes marcos até o marégrafo. Por se localizarem no interior de terreno protegido (cercado e vigiado), estes marcos fornecem maior segurança para a rede, visto que há a menor chance de ocorrerem obras e vandalismo no local. Em contato com a Transpetro, foram obtidas informações da planta do terreno, com informações planimétricas, sem informar valores de altitude dos elementos.

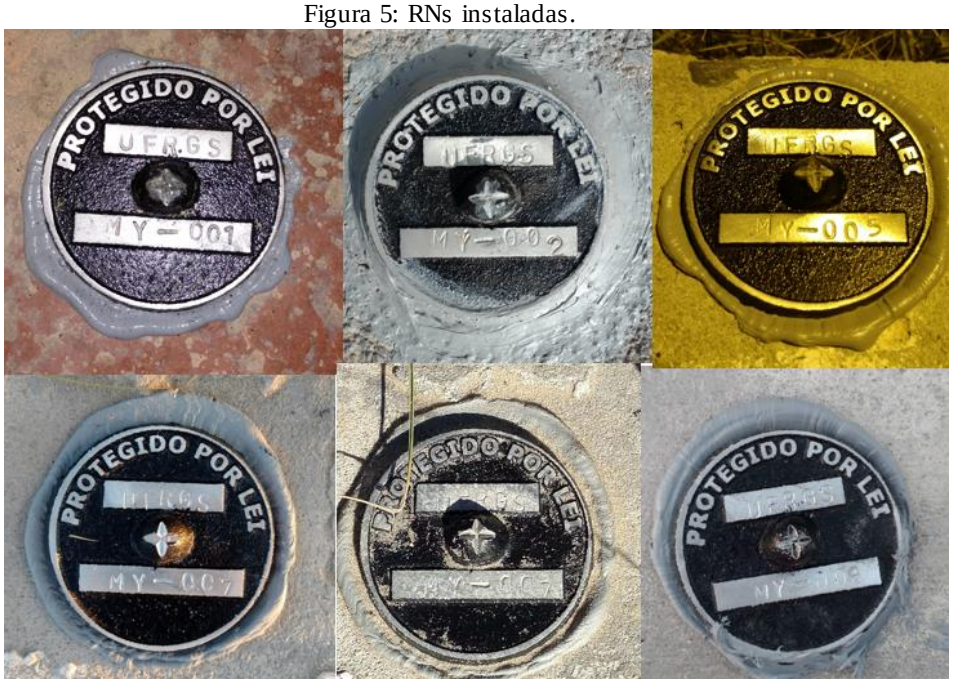
Figura 4: RN da Transpetro.

Crédito: Autores.

2.2 Materialização da Rede Altimétrica Local

Para materialização dos vértices da rede altimétrica local, foram instaladas diversas plaquetas (Figura 5). Duas foram fixadas nas vias de acesso à plataforma, no canteiro central da Rua Protásio Alves, no trecho entre a Avenida Beira mar e Rua Três de Outubro; mais duas foram fixadas ao longo da plataforma, sendo uma junto ao marégrafo e outra próximo ao portão de entrada da plataforma; uma quinta plaqueta foi fixada próximo ao terreno da Transpetro. Para identificação, foi gravado "UFRGS" e a codificação do vértice da rede em cada plaqueta.

Figura 5: RNs instaladas.



Fonte: Autores.

Para maior estabilidade dos vértices materializados, as chapas foram instaladas em elementos estáveis, como estruturas de concreto, e na falta desses, no meio-fio das calçadas. Para fixação das plaquetas, foi realizada perfuração da estrutura base com furadeira sem fio, suficientemente profunda para encaixe do pino, e para maior estabilidade foi aplicado adesivo de alvenaria no orifício da instalação. A localização dos vértices da rede está apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Localização dos vértices da rede.

Fonte: Autores

2.3 Nivelamento Geométrico

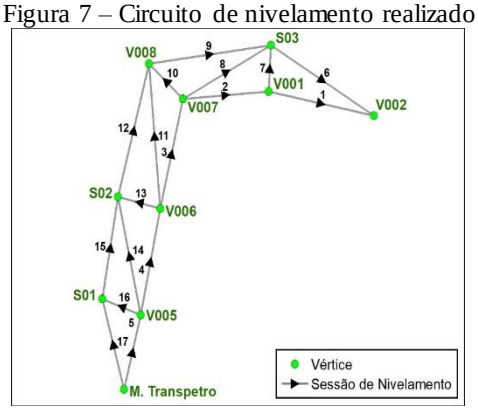
A determinação da coordenada vertical dos pontos da rede altimétrica local foi realizada por transporte de coordenada altimétrica a partir do marco que se encontra no terreno da Transpetro. O levantamento foi realizado com uso de nível digital de leitura via código de barras, que oferece grande vantagem em relação à leitura visual, por ser automatizada e também armazenar leituras na memória do equipamento. Tais características reduzem o tempo necessário para conclusão do transporte de nível, bem como aumentam a precisão e confiabilidade, ao diminuir os erros aleatórios e grosseiros, respectivamente.

O nivelamento foi realizado partindo do vértice do marégrafo, que representa a plaqueta instalada próxima à estação maregráfica existente na plataforma, passando por todos os vértices materializados, até o marco da Transpetro. A cada seção de nivelamento, foi realizado o contranivelamento equivalente de forma simultânea afim de facilitar a logística da atividade; porém, devido à problemas de logística e planejamento, nesta primeira ocasião foi possível apenas a realização de nivelamento e contranivelamento do transporte de nível.

Com o objetivo de produzir coordenadas altimétricas de melhor confiabilidade, robusta contra erros grosseiros, foi realizado um segundo nivelamento geométrico. Desta vez, partiu-se do marco da Transpetro até o vértice do marégrafo. Além disso, o circuito de nivelamento neste caso foi baseado na Figura 7, que envolve múltiplas visadas a cada vértices da rede principal.

Para determinação da altitude do marégrafo presente na plataforma, foi realizada medição do desnível entre a plaqueta mais próxima (V002) ao topo do dispositivo.

Figura 7 – Circuito de nivelamento realizado



Fonte: O Autores

Figura 8 – Parte do nivelamento realizado para travessia da praia.

Fonte: Autores.

2.4 Processamento dos Dados

Para processamento dos dados obtidos a partir do nivelamento geométrico, foi aplicado ajustamento de observações utilizando método dos mínimos quadrados, com o software Octave. Primeiramente, as informações obtidas foram organizadas em planilha eletrônica, separando as observações por estação e discriminando observações de ré e vante. Com as leituras tabeladas, foi realizado o cálculo dos desníveis de cada lance de nivelamento; posteriormente, a partir destas observações foi calculado o desnível de cada seção de nivelamento do circuito. Com todas observações e distâncias horizontais, foi possível realizar o ajustamento de observações, resultando nas altitudes dos vértices da rede bem como nas suas precisões e confiabilidades externas, além de demais subprodutos do ajustamento, que possibilitam realizar o controle de qualidade dos dados obtidos. Para detalhes, ver em Yamawaki (2018).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aqui focaremos nas coordenadas altimétricas, determinadas por nivelamento. Coordenadas planimétricas, determinadas por GNSS, estão detalhadas em Yamawaki (2018).

3.1 Coordenadas Altimétricas

Processando os dados obtidos por nivelamento geométrico, foram obtidas as seguintes altitudes dos vértices da rede, sendo o valor de altitude do marco Transpetro e o os únicos determinados por levantamento por GNSS.

Tabela 3 – Coordenadas altimétricas da rede

ELEMENTO	ALTITUDE (m)
Marco Transpetro	7,751
V001	6,198
V002	9,210
V005	7,420
V006	7,132
V007	7,940
V008	7,968
Marégrafo Plataforma	10,609

A partir da MVC dos parâmetros, obtida no ajustamento de observações, foram obtidas as precisões das altitudes calculadas. Neste caso, deve-se atentar ao fato desta precisão ser considerada apenas para coordenada altimétrica relativa entre os elementos da rede e o marco de referência, isto é, esta precisão está associada apenas ao nivelamento geométrico.

Tabela 4 – Precisão altimétrica dos vértices de rede

ELEMENTO	PRECISÃO (mm)
V001	1,4
V002	1,6
V005	0,5
V006	1,0
V007	1,2
V008	1,2

3.2 Controle de Qualidade

O controle de qualidade posicional da rede altimétrica local foi obtido através de testes estatísticos a partir de dados obtidos no ajustamento de observações para determinação dos valores de altitude dos vértices. Para realização do teste individual e alguns outros testes aplicados neste trabalho, primeiramente foi determinado o resíduo de cada observação; em seguida, foi calculado o valor médio quadrático dos resíduos (RMQ), que apresentou o seguinte valor (sem considerar o peso das observações):

$$RMQ = 0{,}4853\ mm$$

Considerando a ponderação das observações aplicadas no ajustamento, tem-se o seguinte valor do fator de variância a posteriori:

$$\hat{\sigma}_0^2 = 0{,}79177$$

Que ao extrair a raiz quadrada deste valor, foi obtido o fator de precisão a posteriori para amostra:

$$\hat{\sigma}_0 = 0{,}6269$$

Tal valor foi empregado para escalonar as precisões dos parâmetros, após realização do teste global abaixo.

3.2.1 Teste Global

Neste teste estatístico do ajustamento de observações é realizada a análise de relação entre variância priori (σ_0^2) e variância posteriori ($\hat{\sigma}_0^2$). A comparação entre os valores de σ_0^2 e $\hat{\sigma}_0^2$ pode ser um indicador da qualidade do ajustamento (MATSUOKA, 2008). Para análise da discrepância entre as variâncias, é aplicado teste de hipótese baseado na distribuição qui-quadrado para verificar a significância a um certo nível de confiança. Portando, deve-se trabalhar com duas hipóteses:

1) Variância posteriori e variância priori estatisticamente iguais;

$$Ho: \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2 \quad (1)$$

2) Variância posteriori e variância priori diferentes;

$$Ha: \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2 \tag{2}$$

Para testar se a hipótese nula é rejeitada ou não, a um nível de significância α, compara-se o valor calculado por:

$$T = \left(\frac{\sigma_0^2}{\hat{\sigma}_0^2}\right)(n-u) = \frac{V^T PV}{\sigma_0^2} \tag{3}$$

Com o valor teórico da distribuição $\chi^2_{n-u,\alpha}$ (MATSUOKA, 2008), sendo:

n: número de observações;
u: número de parâmetros;
V: vetor dos resíduos das observações;
P: matriz peso das observações;

A hipótese nula é rejeitada se:

$$\chi^2_{n-u,1-\alpha/2} < T < \chi^2_{n-u,\alpha/2} \tag{4}$$

A relação entre variância a posteriori ($\hat{\sigma}_0^2$) e variância a priori (σ_0^2) obtida, assumindo que foi adotado um valor de ($\sigma_0^2 = 1$), aplicando um nível de confiança de 99%, resultou em:

$$T = 0{,}79177$$

Sendo que os valores de limite bicaudal para este grau de liberdade são:

$$LI = 0{,}16805$$

$$LS = 2{,}7444$$

Como pode ser observado, tem-se o valor da relação entre variâncias entre os dois valores de significância bicaudal para distribuição qui-quadrado, assim não excluindo a hipótese nula.

3.3.2 Teste Individual

Com resíduo determinados, foi possível calcular os valores do teste individual (*data snooping*), que possibilitou detectar erro grosseiro na amostra, causado por erro de digitação dos dados obtidos em campo. Neste caso, o erro pôde ser corrigido com facilidade, ao buscar o valor correto nos arquivos digitais gerados pelo equipamento (nível digital), sem necessidade de excluir a observação do ajustamento.

4 CONCLUSÕES

Embora técnicas de levantamentos aplicados na topografia, como o nivelamento geométrico, sejam ciências consolidadas há muito, deve-se lembrar que sua aplicação não pode ser subestimada, visto que, técnicas de levantamento mais simples, como os métodos diretos, tendem a ser mais precisos e mais baratos dependendo do escopo do projeto.

O objetivo principal deste trabalho foi realizado, auxiliando no avanço dos estudos em maregrafia na área de estudo. Através de determinação da rede altimétrica local, fornecendo referencial altimétrico único para medições na área de estudo, possibilitando a manutenção de coordenada altimétrica dos equipamentos lá instalados, visto que, a movimentação da plataforma pode afetar as medições a longo prazo. Para trabalhos futuros, deve-se levar em consideração que, a rede produzida não está referenciada ao datum oficial brasileiro, impossibilitando a correlação das medições maregráfica apoiada à rede determinada neste trabalho. Deve-se levar em conta que o uso do MAPGEO para determinação da ondulação geoidal para região estudada é desaconselhada pelo IBGE, pois em regiões costeiras não há pontos de checagem o suficiente para garantir sua confiabilidade, portanto deve-se estudar métodos para transporte de coordenada altimétrica para região estudada.

Afim de verificar a qualidade estrutural da plataforma, em trabalhos futuros, deverá ser refeito o nivelamento geométrico realizado neste trabalho, com o objetivo de averiguar a existência de desnível na estrutura em um período longo entre observações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Engª Manuella Anaís Rodrigues Fagundes e ao acadêmico Douglas Bueno Leipelt pelo auxílio no levantamento. Esse trabalho foi financiado em parte pelo CNPq (projeto 457530/2014-6 e) e Fapergs (26228.414.42497.26062017).

REFERÊNCIAS

MONICO, João Francisco Galera. *Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações*. São Paulo: Editora UNESP, 2007.

GEMAEL, Camil. *Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas*. Curitiba: Ed. UFPR, 1994.

ANA. *Orientações para Elaboração do Relatório de Instação de Estações Hidrométricas*. . Distrito Federal: Agência Nacional de Águas, dez. 2014.

MATSUOKA, MARCELO TOMIO; MONICO, JOÃO FRANCISCO GALERA. Confiabilidade Interna e Externa Durante a Etapa de Planejamento do Levantamento: Exemplo em uma Rede de Nivelamento. II SIMGEO p. 10, 2008, disponível em: https://www3.ufpe.br/cgtg/SIMGEOII_CD/Organizado/geo/145.pdf

IBGE. *Recomendações para Levantamentos Relativos Estaticos - GPS*. . Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, abr. 2008.

IBGE :: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm>. Acesso em: 17 abr. 2018.

IBGE. *Resolução da Presidência do IBGE nº 22 (21/07/1983) - Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em Território Brasileiro*. . Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 21 jul. 1983.

Accuracy Analysis and Evaluation of Elevation and Coordinate Difference Measurement Systems. In: OGUNDARE, J. O. (Ed.). .**Precision Surveying**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2015. p. 189–208.

PBMC, 2016: Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6.

ROFATTO, Vinicius Francisco; MATSUOKA, Marcelo Tomio; KLEIN, Ivandro. DESIGN OF GEODETIC NETWORKS BASED ON OUTLIER IDENTIFICATION CRITERIA: AN EXAMPLE APPLIED TO THE LEVELING NETWORK. Boletim de Ciências Geodésicas p. 19, 2018.

Standards and Specifications for Precision Surveys. In: OGUNDARE, J. O. (Ed.). . **Precision Surveying**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc, 2015. p. 47–86.

GHILANI, Charles D. *Adjustment Computations: Spatial Data Analysis*. Edição: 5 ed. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons, 2010.

US DEPARTMENT OF COMMERCE, NOAA. *National Geodetic Survey - Operations Publications*. Disponível em: <https://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/pub_ops.shtml>. Acesso em: 19 abr. 2018.

ISO 17123-2 Optics and optical instruments — Field procedures for testing geodetic and surveying instruments — Part 2: Levels. . [S.l: s.n.]. , 1 dez. 2001

MIGUEZ, Belen Martin; TESTUT, Laurent; WÖPPELMANN, Guy. The Van de Casteele Test Revisited: An Efficient Approach to Tide Gauge Error Characterization. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 25, n. 7, p. 1238–1244, jul. 2008.

Correio do Povo | Notícias | Ressaca do mar surpreende frequentadores de Tramandaí. Disponível em: <http://www.correiodopovo.com.br/Noticias/Geral/2016/10/601564/Ressaca-do-mar-surpreende-frequentadores-de-Tramandai>. Acesso em: 18 abr. 2018.

YAMAWAKI, M. K. Controle vertical de marégrafo em Tramandaí (RS) - rede altimétrica local para apoio ao monitoramento do nível do mar. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Cartográfica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018. [Orientador: Prof. Dr. Nievinski, Felipe Geremia]

ESPACIALIZAÇÃO DOS VALORES DE PDOP PARA REGIÃO BRASILEIRA: COMPARAÇÃO ENTRE SINGLE E MULTI GNSS

LORAM SIQUEIRA
JOÃO FRANCISCO GALERA MONICO
GABRIEL OLIVEIRA JEREZ
FABIANO PEIXOTO FREIMAN

Universidade Estadual Paulista - Unesp
Faculdade de Ciência e Tecnologia - FCT
Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Presidente Prudente, SP
loram.fct@gmail.com, galera@fct.unesp.br, gabrielojerez@gmai.com, fabianofreiman@gmail.com

RESUMO – A performance do GNSS (Global Navigation Satellite System) é frequentemente descrita pelo uso da diluição da precisão (DOP), a qual é uma função do número e geometria dos satélites utilizados na determinação das coordenadas do usuário. Os valores de DOP podem ser utilizados para o planejamento de trabalhos de campo e para escolha do melhor conjunto de satélites disponíveis para um determinado número de canais. Este trabalho foi desenvolvido como parte das atividades do IGMA (International GNSS Monitoring Assessment) *trial project* para a avaliação da performance do GPS e Galileo a partir do parâmetro de *Position Dilution of Precision* (PDOP). A partir do script desenvolvido foram calculados os valores de PDOP para a região sul-americana utilizando os arquivos de navegação diários disponibilizados pelo MGEX (Multi-GNSS Experiment) em intervalos de 5 minutos e uma máscara de elevação de 10°. Valores médios diários para cada ponto do grid foram calculados assim como seu desvio padrão durante o dia. Os valores do desvio padrão para ambos os sistemas e da porcentagem de variação dos valores entre GPS e GPS e Galileo foram interpolados e apresentados graficamente. Uma melhoria na ordem de 20% foi obtida para o uso dos dois sistemas combinados em relação ao uso somente do GPS.

ABSTRACT – The GNSS (Global Navigation Satellite System) performance is often described by the use of dilution of precision (DOP), which is a function of the number and geometry of the satellites used to determine the user's coordinates. DOP values can be used to plan field work and to choose the best set of satellites available for a given number of channels in the receiver. This work was developed as part of the IGMA (International GNSS Monitoring Assessment) trial project to assess GPS and Galileo for the Position Dilution of Precision (PDOP) performance. Using a python scrip, the PDOP values for the South American region were calculated using the daily navigation files provided by the MGEX (Multi-GNSS Experiment) in 5 minute intervals and a 10 ° elevation mask. Daily mean values for each grid point were calculated as well as their standard deviation during the day. The values of the standard deviation for both systems and the percentage of variation of the values between GPS and GPS and Galileo were interpolated and presented graphically. An improvement of the order of 20% was obtained for the use of the two combined systems in relation to the use of GPS only.

1 INTRODUÇÃO

O GNSS fornece cobertura global para a determinação da posição de um usuário sobre ou próximo a superfície terrestre. A dificuldade está na determinação das coordenadas do usuário com alta precisão em tempo real devido as interferências sofridas pelo sinal e pela distribuição geométrica dos satélites GNSS utilizados (LEICK; RAPOPORT; TATARMIKOV, 2014).

Durante sua transmissão, as ondas eletromagnéticas podem ser afetadas por múltiplas fontes em seu caminho. Algumas das principais fontes de interferência são o não sincronia entre o relógio do satélite e do receptor, refração dos componentes da atmosfera (ionosfera e troposfera), erro das efemérides, multicaminho, atraso de grupo e ruídos relativos ao receptor. O conjunto de todos os erros sofridos em unidades métricas é denominado UERE (*User Equivalente Range Error*), a tabela 1 apresenta alguns valores comumente observados para as principais componentes do UERE (SWASZEK; HARTNETT; SEALS, 2017).

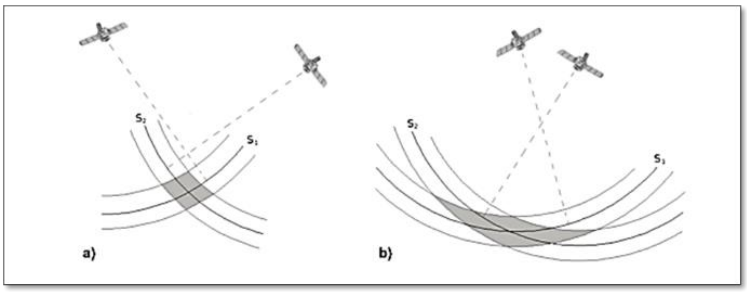
Tabela 1 – Magnitude dos principais elementos do UERE

Fonte de erro	**Contribuição (1σ – metros)**
Efemérides	0.2 – 1.0
Relógio do satélite	0.2 – 1.9
Ionosfera	0 - 5
Troposfera	0.2
Multicaminho	0.2 – 1.0

A distribuição geométrica é representada pela diluição da precisão (DOP). A geometria dos satélites é variável com o tempo devido ao movimento relativo dos satélites em relação ao usuário (MONICO, 2008). Satélites afastados apresentam uma boa característica geometria e por isso indicam uma melhor solução das coordenadas do usuário enquanto satélites próximos uns aos outros irão afetar a qualidade da posição negativamente (figura 1). Nos primórdios da navegação por satélite a diluição da precisão era um fator crítico para o planejamento de campo devido ao número limitado de satélites. A partir de 1995 com dois sistemas completamente operacionais (GPS e GLONNAS) o PDOP passou a apresentar valores baixos que indica uma boa qualidade na determinação da posição do usuário (HOFMANN-WELLENHOF; HERBERT; WASLE, 2007).

Figura 1: Posição relativa e diluição da precisão: (a) geometria com baixo valor DOP, e (b) Geometria com alto valor DOP. A região sombreada é a região de incerteza
Fonte : Adaptado de Ebner et al. (2008)

Nos últimos anos, o GNSS tem passado por grandes mudanças com a modernização do GLONNAS e a



implementação de dois novos sistemas (Galileo e BeiDou) (MONTENBRUCK et al., 2017). A expectativa de quatro sistemas operacionais abriu caminhos para novas aplicações da navegação por satélite assim como uma revisão sobre tópicos já abordados para apenas um sistema e agora passam a ser abordados no contexto de múltiplos sistemas (multi-GNSS). A diluição da precisão é um desses tópicos; amplamente utilizada para a avaliação da qualidade do posicionamento tem ganhado novas aplicações (TAHSIN et al., 2015). Han et al (2014) apresenta a utilização dos valores de PDOP para seleção do melhor conjunto de satélites para um determinado número canais disponíveis em dois casos: o receptor sobre a superfície terrestre e com o receptor em um satélite em uma constelação Walker-δ. Biswas; Qiao e Dempster (2017) apresenta as aplicações dos valores PDOP para analisar aa qualidade da aplicação de diferentes filtros de Kalman para obter as coordenadas de veículos espaciais. Chen (2015), Milbert (2008) e Won et al (2014) apresentam as aplicações de valores ponderados durante o cálculo do PDOP. O IGMA *trial project* desenvolvido pelo IGS com objetivo o desenvolvimento de produtos multi-GNSS tem como um de seus parâmetros de interesse a diluição da precisão na posição, sendo neste artigo apresentados os resultados iniciais para a semana teste (02 a 09/07/2017) proposta.

1.2 Diluição da precisão

O PDOP pode ser entendido como o inverso do volume do tetraedro formado pelos satélites utilizados no ajustamento para determinação das coordenadas (MONICO, 2008). O PDOP apresenta uma característica geométrica: quanto maior o volume do tetraedro melhor o PDOP e por consequência menor o desvio padrão das coordenadas ajustadas. Apesar de ser um conceito já explorado desde o início da história do posicionamento por satélite, a modernização do GNSS tem aberto novas aplicações para este parâmetro, pois a inclusão de novos satélites irá sempre diminuir o valor do PDOP (TENG; WANG; HUANG, 2016) Devido a geometria relativa dos satélites em relação ao receptor, a precisão nas medidas de pseudodistância irão ser transportadas para cada uma das quatro componentes (x, y, z e dt). Existem diferentes tipos de diluição de precisão; que podem ser definidos como: geométrico (GDOP), posicional (PDOP), horizontal (HDOP), vertical (VDOP) e de tempo (TDOP).

Para calcular-se os diferentes valores da diluição da precisão, deve-se entender como as coordenadas do usuário são obtidas a partir das observações GNSS. Para o posicionamento por ponto simples (PPS), um receptor irá determinar suas coordenadas tridimensionais e o erro de seu relógio utilizando o ajustamento das observações de pseudodistância quando mais de quatro satélites estiverem (MONICO,2008).

O posicionamento por ponto, também referenciado como posicionamento por ponto simples (SPP), utiliza somente um receptor e dados de pseudodistância. Sua grande aplicabilidade está na área de navegação e aplicações como: cálculo de rotas de carro, carros outonamos, aplicativos de celular e etc. A equação (1) apresenta a forma não linear incluindo os erros sistemáticos para o receptor *r*, satélite *s* e frequência *f* (TEUNISSEN; MONTENBRUCK, 2017).

$$PD(t) = \rho_r^s + T_r^s + c\left[dt_r + d_{r,f}^s + \Delta d_{r,f}^s\right] - c[dt^s - d_j^s] + I_r^s + e_r^s(t) \quad (1)$$

PD_r^s Pseudo distância observada (m)
ρ_r^s Distância geométrica receptor-satélite (m) no instante da transmissão do sinal no satélite
T_i^j Atraso troposférico (m)
c Velocidade da luz (m/s)
dt_r Erro do relógio do receptor em relação ao tempo GPS (s)
dt^s Erro do relógio do satélite em relação ao tempo GPS (s)
$d_{r,f}^S$ Tendência do código para o receptor (s)
d_j^S Tendência do código para o satélite (s)
Δd_i^j Tendência intercanais para fase (s)
I_r^s Atraso ionosférico (m)
e_r^s Random code noise (m)

O modelo para o cálculo das correções para as coordenadas iniciais é ajustado a partir da equação 2 (MONICO, 2008).

$$L = AX,$$

$$L = \begin{bmatrix} \rho_r^1 - \rho_{r0}^1 \\ \rho_r^2 - \rho_{r0}^2 \\ \vdots \\ \rho_r^n - \rho_{r0}^n \end{bmatrix}; A = \begin{bmatrix} \frac{(X^1 - X_{r0})}{\rho_{r0}^1} & \frac{(Y^1 - Y_{r0})}{\rho_{r0}^1} & \frac{(Z^1 - Z_{r0})}{\rho_{r0}^1} & 1 \\ \frac{(X^2 - X_{r0})}{\rho_{r0}^2} & \frac{(Y^2 - Y_{r0})}{\rho_{r0}^2} & \frac{(Z^2 - Z_{r0})}{\rho_{r0}^2} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{(X^n - X_{r0})}{\rho_{r0}^n} & \frac{(Y^n - Y_{r0})}{\rho_{r0}^n} & \frac{(Z^n - Z_{r0})}{\rho_{r0}^n} & 1 \end{bmatrix} e\ X = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ cdt_r \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$X^n, Y^n\ e\ Z^n$ – Coordenadas geocêntricas do n-ésimo satélite;
ρ_{r0}^n – Distância aproximada entre o n-ésimo satélite e o receptor;
ρ_r^n – Distância geométrica entre o n-ésimo satélite e o receptor;
$X_{r0}, Y_{r0}\ e\ Z_{r0}$ – Coordenadas iniciais aproximados para o o receptor;
$\Delta x, \Delta y\ e\ \Delta z$ – Correções para as coordenadas iniciais.

Aplicando o método dos mínimos quadrados (MMQ) para os *n* satélites disponíveis no instante da observação. L é o vetor de observações, A é a matriz de derivadas parciais, W é a matriz peso e X o vetor de correções a ser ajustado. Para o PPS , usualmente, todos os satélites são considerados com a mesma influência sobre resultado final, sendo assim a matriz peso (P) será a identidade (I) (GEMAEL; MACHADO; WANDRESEN, 2015).

$$X = -(A^T A)^{-1} A^T L. \quad (3)$$

Para o ajustamento da equação 3 a matriz variância-covariância dos parâmetros ajustados (Σ_X) será (MONICO, 2008):

$$\Sigma_X = \sigma_{UERE}^2 (A^T A)^{-1} = \sigma_{UERE}^2 \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} & \sigma_{xt} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} & \sigma_{yt} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} & \sigma_{zt} \\ \sigma_{tx} & \sigma_{ty} & \sigma_{tz} & \sigma_{tt} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

a diagonal da matriz $Q = (A^T A)^{-1}$ de dimensões 4x4 irá fornecer os valores da diluição da precisão.

$$GDOP = \sqrt{\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz} + \sigma_{tt}} \quad (5)$$

$$PDOP = \sqrt{\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}} \quad (6)$$

$$TDOP = \sqrt{\sigma_{tt}}. \quad (7)$$

Os valores apresentados acima são relacionados a um sistema geocêntrico, quando um sistema local (topocêntrico, com coordenadas norte - N, este - E e altura - U) é utilizado a matriz cofatora deve ser também transformada. A partir da lei para propagação das covariâncias as matrizes de rotação da equação 7 (SEEBER, 2003):

$$R = [n\ u\ t]^T$$

$$n = \begin{bmatrix} -\operatorname{sen}(\varphi)\cos(\lambda) \\ -\operatorname{sen}(\varphi)\cos(\lambda) \\ \cos(\varphi) \end{bmatrix} \quad e = \begin{bmatrix} -\operatorname{sen}(\lambda) \\ \cos(\lambda) \\ 0 \end{bmatrix} \quad u = \begin{bmatrix} \cos(\varphi)\cos(\lambda) \\ \cos(\varphi)\cos(\lambda) \\ sen(\varphi) \end{bmatrix}, \tag{8}$$

a matriz de rotação aplicada a $(A^T A)^{-1}$ irá fornecer as componentes em um sistema local:

$$Ql = RQR^T = \begin{bmatrix} \sigma_{nn} & \sigma_{ne} & \sigma_{nh} & \sigma_{nt} \\ \sigma_{en} & \sigma_{ee} & \sigma_{eh} & \sigma_{et} \\ \sigma_{hn} & \sigma_{he} & \sigma_{hh} & \sigma_{ht} \\ \sigma_{tn} & \sigma_{te} & \sigma_{th} & \sigma_{tt} \end{bmatrix}, \tag{9}$$

a partir da matriz *Ql* são obtidos os valores de VDOP e HDOP:

$$HDOP = \sqrt{\sigma_{nn} + \sigma_{ee}} \tag{10}$$

$$PDOP = \sqrt{\sigma_{hh}}, \tag{11}$$

os valores obtidos podem então ser relacionados a qualidade da estimativa das componentes espaciais e temporal. A tabela 2 apresenta os valores comumente adotados na literatura para os limiares da diluição da presição.

Tabela 2 – Valores de DOP em relação a qualidade da estimativa das variáveis

Valores	**Contribuição (1σ – metros)**
1	Ideal
1 – 2	Excelente
2-5	Bom
5-10	Moderado
10 - 50	Ruim

2 METODOLOGIA

Seguindo as normativas proposta pelo IGMA – *trial project* criou-se uma grade regular com espaçamento de 5°x5° (variação fixa da latitude e longitude em graus) com a latitude variando de 10° a -45° e a longitude de -75° a -25°, o mapa da região de estudo está apresentado na figura 2. Para cada ponto do grid foi calculado os valores de PDOP utilizando-se um intervalo de tempo de 5 minutos entre os dias 183 e 189 de 2017. Utilizou-se os arquivos de efemérides transmitidas disponibilizados no repositório do MGEX disponível em ftp://ftp.cddis.eosdis.nasa.gov/gnss/data/campaign/mgex/daily/rinex3/2017/brdm. A partir desses arquivos foram calculadas as coordenadas (X, Y e Z) de todos os satélites dos sistemas GPS e Galileo.

Para cada ponto (X, Y e Z) mostrado na figura 2 foram calculados a elevação (E) e o azimute (Z) de cada satélite de ambos os sistemas. Os valores de elevação se encontram no intervalo de -90° a 90°, ângulos negativos indicam que o satélite está abaixo da linha do horizonte. O azimute está entre 0° e 360° e irá indicar a direção do satélite em relação ao norte. Os satélites com elevação superior ou igual a 5° foram selecionados, a matriz A foi definida seguindo a equação 2 e o valor de PDOP foi obtido com a equação 6 a parti da matriz Q. Este processo foi realizado para todos os pontos para todas as épocas e os resultados finais gravados em arquivos diários com a primeira época as 00:00 e a última as 23:45. Foram calculados também a média de satélites disponíveis, a média dos valores de PDOP para cada ponto do grid para o dia referente ao arquivo e o desvio padrão dos valores de PDOP. Para o Galileo em épocas onde não houveram o mínimo de quatro satélites utilizou-se o valor de -999999.999, somente épocas com valores validos foram utilizadas para o cálculo do PDOP médio do ponto.

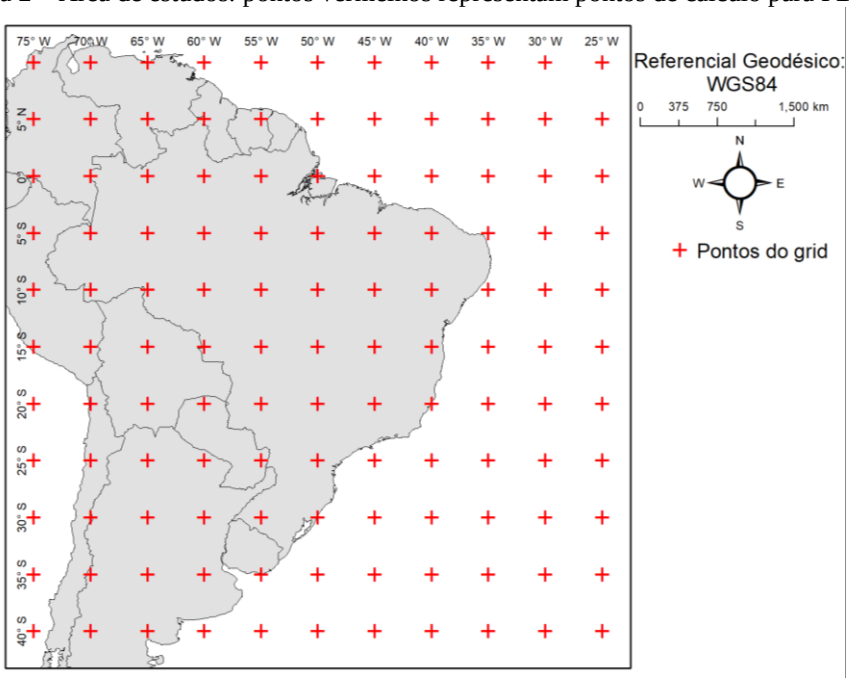
Utilizando-se o método geostatistico de krigagem ordinária foram obtidos os mapas para valores médios e de desvio padrão de PDOP para GPS e GPS+Galileo no software ArcGIS 10.5 *student license*. Devido à falta de valores

validos para algumas épocas não foram obtidos os mesmos mapas para o sistema Galileo. A partir dos arquivos diários foram criados três sequencias de mapas. O primeiro mapa foi obtido a partir dos mapas de valores médio, utilizando a relação:

$$Melhorria\ \% = \frac{PDOP_{GPS} - PDOP_{GPS+Galileo}}{PDOP_{GPS}}, \quad (12)$$

e os valores indicam a melhoria em porcentagem nos valores de PDOP a partir da inclusão do Galileo em relação a utilização somente do GPS. A segunda sequência de mapas apresenta os valores diários do desvio padrão na estimativa do PDOP utilizando somente GPS, e a terceira sequencia mostra este mesmo resultado para a utilização do GPS e Galileo combinado. Valores médios de melhoria para toda a região foram obtidos a partir de uma média geral das médias de cada ponto.

Figura 2 – Área de estudos: pontos vermelhos representam pontos de cálculo para PDOP.



Fonte: Autor (2018)

3 RESULTADOS E DISCUÇÕES

A tabela 2 apresenta os valores médios de PDOP, o desvio padrão e a o número médio de satélites visíveis para todos os dias abordados. Para o Galileo os valores apresentados são altos variando entre 4.552 a 17.028 e com o desvio padrão entre 6.021 a 151.606, os quais apresentam uma relação direta com o número médio de satélites visíveis durante o dia e ao fato de que para a data em questão a constelação contava com 17 satélites em operação. Para o GPS os valores são mais constantes com o PDOP variando entre 1.816 a 1.817 e o desvio padrão entre 0.337 a 0.338 pois para o GPS o sistema está com sua constelação completa. Para o uso combinado de ambos os sistemas os valores são ainda menores; com o PDOP entre 1.388 a 1.417 e o desvio padrão entre 0.173 a 0.196.

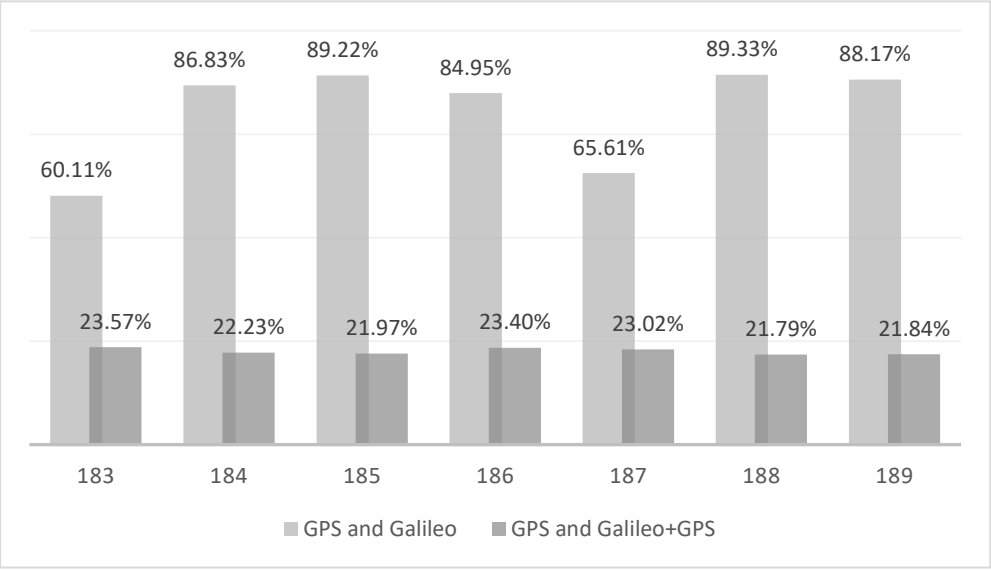
Tabela 3- Valores médios diários de PDOP e satélites visíveis (elev. 5°) para a região da figura 2.

DOY - 2017	Sistema	Valores médios de PDOP	Desvio Padrão	Quantidade média de satélites visíveis
183	Galileo	4.552	6.021	5.785
184	Galileo	13.800	147.100	5.228
185	Galileo	16.843	140.330	4.999
186	Galileo	12.070	95.647	5.604
187	Galileo	5.280	17.011	5.476

188	Galileo	17.028	130.652	5.015
189	Galileo	15.363	151.606	5.355
183	GPS	1.816	0.337	9.664
184	GPS	1.817	0.338	9.664
185	GPS	1.816	0.338	9.664
186	GPS	1.816	0.338	9.664
187	GPS	1.816	0.338	9.665
188	GPS	1.817	0.337	9.662
189	GPS	1.818	0.340	9.663
183	GPS +Galileo	1.388	0.179	15.460
184	GPS +Galileo	1.413	0.183	14.891
185	GPS +Galileo	1.417	0.173	14.664
186	GPS +Galileo	1.391	0.177	15.267
187	GPS +Galileo	1.398	0.196	15.141
188	GPS +Galileo	1.421	0.173	14.679
189	GPS +Galileo	1.421	0.191	15.019

A figura 3 apresenta a melhoria em porcentagem para os valores médios regionais entre Galileo e) e GPS e GPS+Galileo. Para o primeiro caso os valores variam entre 60.11 e 89.33% mostrando uma significativa melhora para a região quando se utiliza um sistema completo como o GPS. Na segunda comparação os valores variam entre 21.79 a 23.57% mostrando que a adição de um outro sistema, mesmo incompleto, influencia significativamente os valores de PDOP.

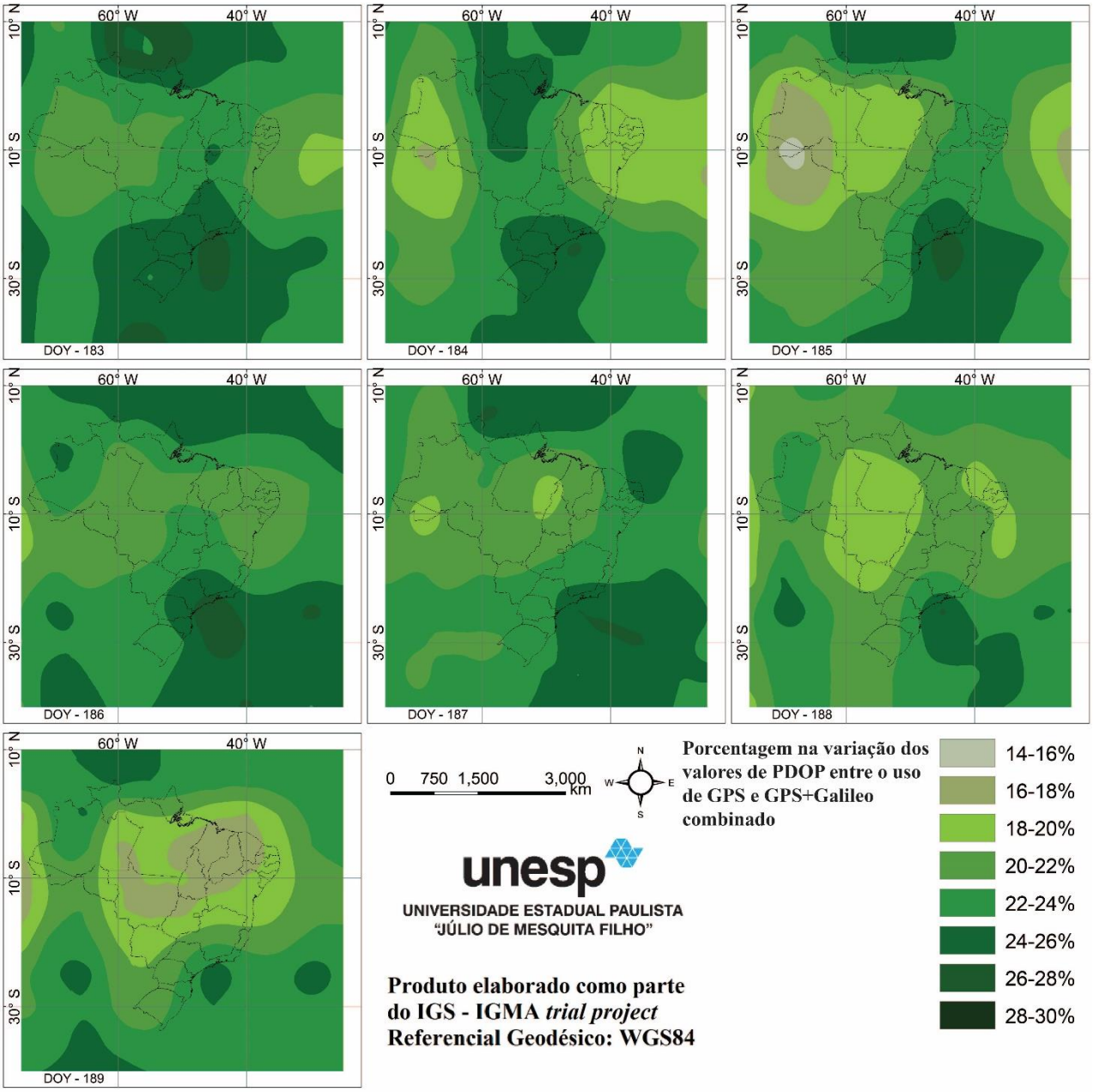
Figura 3 – Área de estudos: pontos vermelhos representam pontos de cálculo para PDOP.



Fonte: Autores (2018)

A espacialização da melhoria nos valores calculados de PDOP em relação ao uso do GPS e o uso combinado GPS+Galileo esta apresentada na figura 4. O resultado foi obtido a partir de mapas médios diários de PDOP e representam uma média da melhoria. Em relação ao uso do GPS somente o PDOP para GPS+Galileo obteve melhoras variando de 14 a 30% , calculados de acordo com a equação 12. Para os 7 dias a região próxima ao equador apresentou melhoria na ordem dos 28% enquanto para 6 dos 7 dias as menores porcentagens foram obtidas sobre a região brasileira.

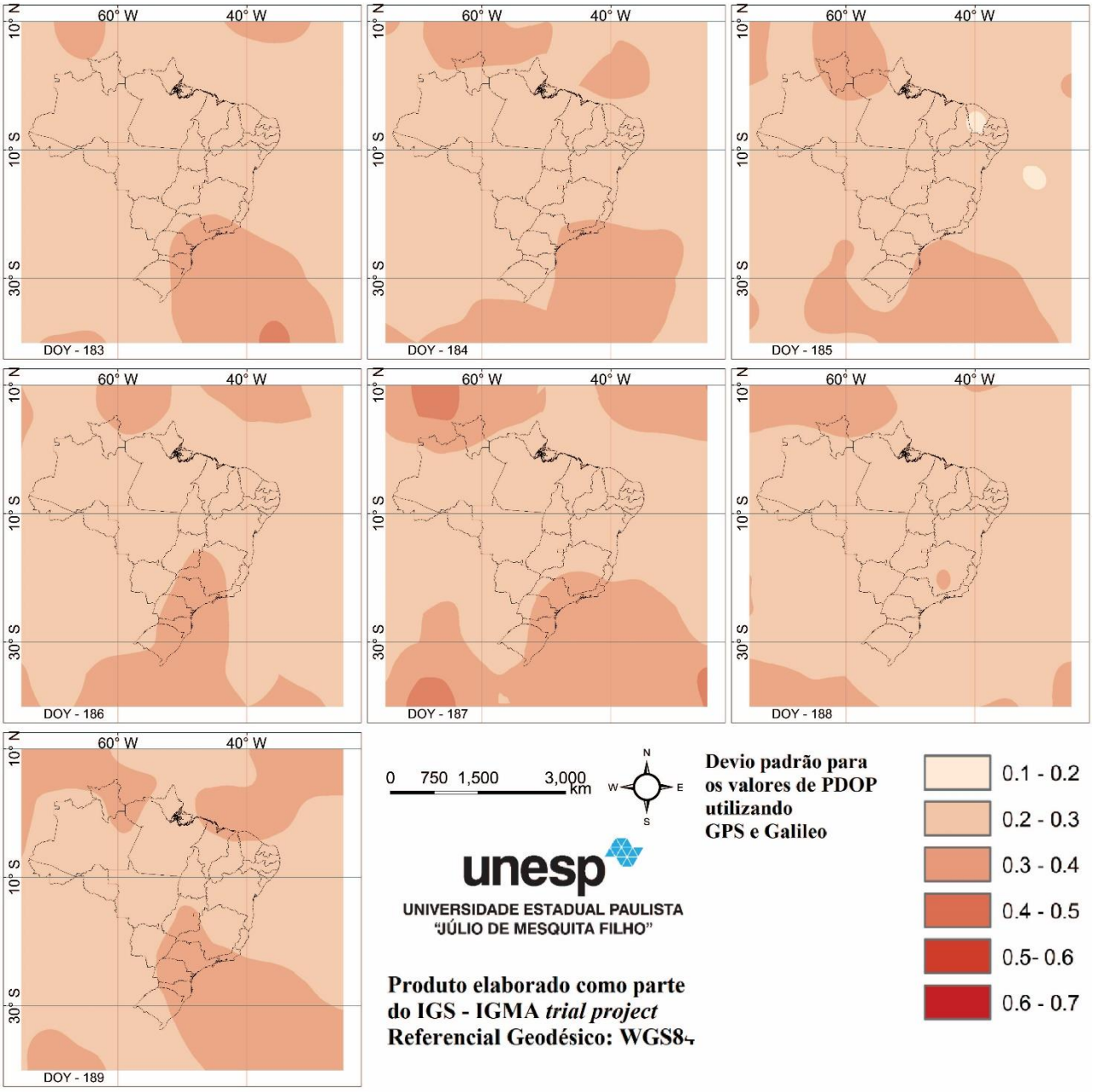
Figura 4 – Distribuição espacial para a variação percentual nos valores diários médios de PDOP para o uso de GPS e GPS+Galileo combinado entre os dias 02 a 08/07/2017 para a região brasileira.



Fonte: Autores (2018)

Os mapas na figura 5 apresentam os valores diários de desvio padrão para o PDOP calculado utilizando a combinação das constelações GPS e Galileo. Os valores variam entre 0.1 a 0.4 em unidades de diluição da precisão, o que indica uma variação baixa durante o dia nos valores de PDOP. O mapa da figura 6 apresenta os valores diários de desvio padrão para o PDOP calculado utilizando somente o GPS. Os valores para a utilização somente do sistema GPS são maiores, porem sofrem pouca variação temporal.

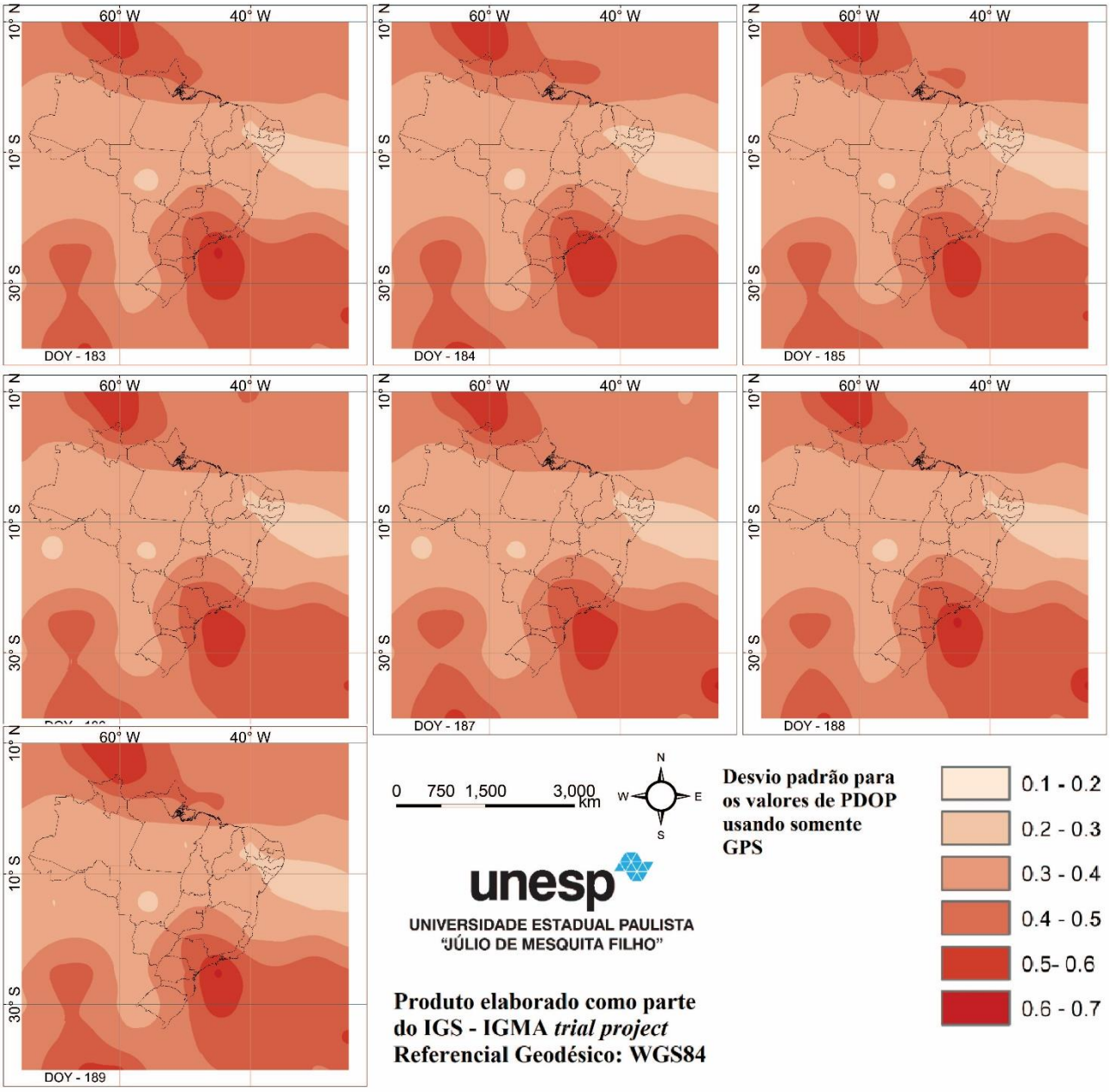
Figura 5 – Distribuição espacial dos valores de desvio padrão diários para PDOP calculado utilizando a combinação das constelações GPS e Galileo entre os dias 02 a 08/07/2017 para a região brasileira.



Fonte: Autores (2018)

Não foi possível realizar a comparação para o desvio padrão obtido com o uso apenas do Galileo, o sistema está incompleto, gerando inúmeras lacunas devido a não disponibilidade de pelo menos 4 satélites. Os valores de desvio padrão apresentados para constelação na tabela 2 mostram a incompatibilidade do desvio padrão médio da região para o Galileo quando comparado com o GPS.

Figura 5 – Distribuição espacial dos valores de desvio padrão diários para PDOP calculado utilizando somente GPS entre os dias 02 a 08/07/2017 para a região brasileira



Fonte: Autores (2018)

3 CONCLUSÕES

O IGMA – *trial project* é uma iniciativa que visa desenvolver atividades de monitoramento continuo do GNSS. Em sua primeira fase uma semana teste foi escolhida para que os centros de analise participantes do projeto pudessem desenvolver suas atividades inicias. A Unesp iniciou suas atividades a partir da ferramenta unesPDOP que utilizando arquivos de efemérides transmitidas diárias disponibilizados pelo MGEX calcula os valores de PDOP para uma grade regular abrangendo toda região brasileira. As comparações entre a utilização de sistemas isolados (GPS e Galileo) e a combinação de sistemas (GPS+Galileo) mostrou um ganho significativo com uma melhoria nos valores de PDOP variando entre 14 a 30%. Resultados que avaliem o desempenho somente do sistema Galileo ainda não são possíveis devido ao fato do sistema não estar operando com a capacidade completa.

A espacialização do desvio padrão dos valores calculados de PDOP mostra que apesar de serem maiores, na ordem de 0.1 a 0.7, a utilização do GPS é extremamente consistente em sua variação no tempo. Para a combinação GPS+Galileo os valores são consideravelmente menores, ficando entre 0.1 e 0.4, entretanto são mais variáveis e menos previsíveis.

Atividades de monitoramento devem continuar sendo realizadas para avaliar a influência dos novos satélites Galileo até que o mesmo esteja completamente operacional.

REFERÊNCIAS

BISWAS, S. K.; QIAO, L.; DEMPSTER, A. G. Effect of PDOP on performance of Kalman Filters for GNSS-based space vehicle position estimation. **GPS Solutions**, v. 21, n. 3, p. 1379–1387, 2017.

CHEN, C. S. Weighted geometric dilution of precision calculations with matrix multiplication. **Sensors (Switzerland)**, v. 15, n. 1, p. 803–817, 2015.

EBNER, A. et al. On the attainable accuracy of multi-system GNSS positioning in high-multipath urban environments. 2008.

GEMAEL, C.; MACHADO, A. M. L.; WANDRESEN, R. **Introdução ao ajustamento das observações: aplicações geodésicas**. 2° ed. Curitiba: Ed. UFPR, 2015.

HAN, S. et al. Minimum of PDOP and its applications in inter-satellite links (ISL) establishment of Walker constellation. **Advances in Space Research**, v. 54, n. 4, p. 726–733, 2014.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; HERBERT, L.; WASLE, E. **GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo, and more**. [s.l.] Springer Science & Business Media, 2007.

MILBERT, D. Dilution of precision revisited. **Navigation, Journal of the Institute of Navigation**, v. 55, n. 1, p. 67–81, 2008.

LEICK, A.; RAPOPORT, L.; TATARMIKOV, D. **GPS SATELLITE SURVEYING**. 4. ed. 2014.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS**. 2. ed. São Paulo - SP: Editora Unesp, 2008.

MONTENBRUCK, O. et al. The Multi-GNSS Experiment (MGEX) of the International GNSS Service (IGS) – Achievements, prospects and challenges. **Advances in Space Research**, v. 59, n. 7, p. 1671–1697, 2017.

SEEBER, G. **Satellite geodesy : foundations,methods, and applications**. New York: Walter de gruyter, 2003.

SWASZEK, P. F.; HARTNETT, R. J.; SEALS, K. C. Lower Bounds on DOP. **THE JOURNAL OF NAVIGATION The Royal Institute of Navigation**, v. 70, p. 1041–1061, 2017.

TAHSIN, M. et al. Analysis of DOP and its preciseness in GNSS position estimation. **2nd International Conference on Electrical Engineering and Information and Communication Technology, iCEEiCT 2015**, n. May, p. 21–23, 2015.

TENG, Y.; WANG, J.; HUANG, Q. Mathematical minimum of Geometric Dilution of Precision (GDOP) for dual-GNSS constellations. **Advances in Space Research**, v. 57, n. 1, p. 183–188, 2016.

TEUNISSEN, P. J. G.; MONTENBRUCK, O. **Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems**. [s.l.] Spring Nature, 2017.

WON, D. H. et al. Weighted DOP with consideration on elevation-dependent range errors of GNSS satellites. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 61, n. 12, p. 3241–3250, 2012.

ESTIMATIVA DO DESVIO-PADRÃO DO GRADIENTE IONOSFÉRICO VERTICAL PARA O AEROPORTO INTERNACIONAL DE RECIFE/PE

VINÍCIUS AMADEU STUANI PEREIRA [1]
JOÃO FRANCISCO GALERA MONICO [1,2]
PAULO DE OLIVEIRA CAMARGO [1,2]

Universidade Estadual Paulista – UNESP, Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT, Presidente Prudente/SP
[1] Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas
[2] Departamento de Cartografia
vi_stuani@hotmail.com, {galera.monico; paulo.camargo}@unesp.br

RESUMO – A avaliação do *CONUS* (*Conterminous United States*) *Threat Model* para GBAS (*Ground-Based Augmentation System*) no Brasil é uma necessidade, devido à aquisição de um GBAS SLS-4000 da Honeywell pelo DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo) em 2011. Sendo o equipamento certificado para operação nos Estados Unidos por meio do modelo de risco, é necessário verificar se os valores dos parâmetros são válidos para o Brasil. Dentre os parâmetros de integridade transmitidos pelo GBAS tem-se o desvio-padrão do gradiente ionosférico vertical (σ_{vig}), o qual é utilizado para calcular os níveis de proteção horizontal e vertical da aeronave durante a aproximação precisa. O limiar de 4 mm/km, definido no sistema, atende todas as condições ionosféricas atuantes nos Estados Unidos, considerando todos os satélites GPS (*Global Positioning System*) e independente da distância entre o GBAS e a aeronave. Para o uso desse sistema no Brasil, sujeito a diversas condições ionosféricas, torna-se necessário estimar o σ_{vig} para as regiões de interesse. Assim, visando uma futura instalação de um GBAS no aeroporto internacional de Recife/PE, foram estimados e analisados valores de σ_{vig} para cada satélite GPS e para intervalos de distância entre o GBAS e a aeronave, com o intuito de verificar se os satélites GPS atendem o limiar do CONUS.

ABSTRACT – The evaluation of the CONUS (Conterminous United States) Threat Model for GBAS (Ground-Based Augmentation System) in Brazil is a necessity due to the acquisition of a Honeywell GBAS SLS-4000 by DECEA (Department of Airspace Control) in 2011. Since the equipment is certified for operation in the United States through the threat model, it is necessary to verify that the parameter values are valid for Brazil. Among the integrity parameters transmitted by the GBAS is the standard deviation of the vertical ionospheric gradient (σ_{vig}), which is used to calculate the horizontal and vertical protection levels of the aircraft during the precise approach. The 4 mm/km threshold, defined in the system, meets all ionospheric conditions operating in the United States, considering all Global Positioning System (GPS) satellites and regardless of the distance between the GBAS and the aircraft. For the use of this system in Brazil, subject to several ionospheric conditions, it is necessary to estimate σ_{vig} for the regions of interest. Thus, aiming at a future installation of a GBAS at the Recife/PE International Airport, σ_{vig} values were estimated and analyzed for each GPS satellite and for distance intervals between the GBAS and the aircraft, in order to check if the GPS satellites meet the CONUS threshold.

1 INTRODUÇÃO

Vários métodos de posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*) podem ser utilizados na navegação aérea visando auxiliar as fases de aproximação e pouso preciso. Entre eles destacam-se o SBAS (*Satellite-Based Augmentation System*) e o GBAS (*Ground-Based Augmentation System*).

A respeito do GBAS, o mesmo tem a capacidade de corrigir a maioria dos erros inerentes a observável pseudodistância a partir do DGNSS (*Differential GNSS*), desde que a camada ionosférica apresente um comportamento similar na região do aeroporto. Todavia, em função do ciclo de manchas solares, do fluxo de ionização solar, da atividade geomagnética, hora local e localização geográfica, a ionosfera pode sofrer fortes perturbações, proporcionando um risco à integridade do GBAS, uma vez que podem ser diferentes os efeitos ionosféricos em pequenas distâncias.

Assim, estudos dos erros sistemáticos devido à camada ionosférica no GBAS têm sido amplamente realizados, por exemplo: Kim et al. (2015), Srinivas et al. (2014), Yoon e Lee (2014), Kim et al. (2014), Wang et al. (2014), Jung e Lee (2012), Lee et al. (2011a), Lee et al. (2011b), Datta-Barua et al. (2010), Jan (2010), Ene (2009), Mayer et al.

(2009), Pullen et al. (2009), Datta-Barua (2008), Lee et al. (2007), Ene et al. (2005), Lee (2005), Luo et al. (2005) e Luo et al. (2003).

Nesse sentido, modelos de risco ionosférico que visam determinar a máxima decorrelação ionosférica espacial existente entre a estação GBAS e a aeronave que se aproxima num aeroporto foram desenvolvidos ou avaliados, principalmente para o hemisfério norte, em particular para o território dos Estados Unidos, onde se destaca o *CONUS (Conterminous United States) Threat Model*. Nessa área o comportamento da ionosfera é mais estável em comparação, por exemplo, com o Brasil, que está localizado na região ionosférica tropical, que apresenta condições ímpares em relação ao restante da Terra, tais como: Anomalia de Ionização Equatorial (AIE), bolhas ionosféricas, irregularidades ionosféricas, cintilação ionosférica e Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS).

A demanda de voos nacionais e internacionais no Brasil, juntamente com a implantação de um GBAS SLS-4000 da empresa norte-americana Honeywell por meio do DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo), em 2011, no aeroporto internacional Tom Jobim (Galeão – Rio de Janeiro/RJ), despertou para a necessidade de estudos sobre modelo de risco para o ambiente brasileiro.

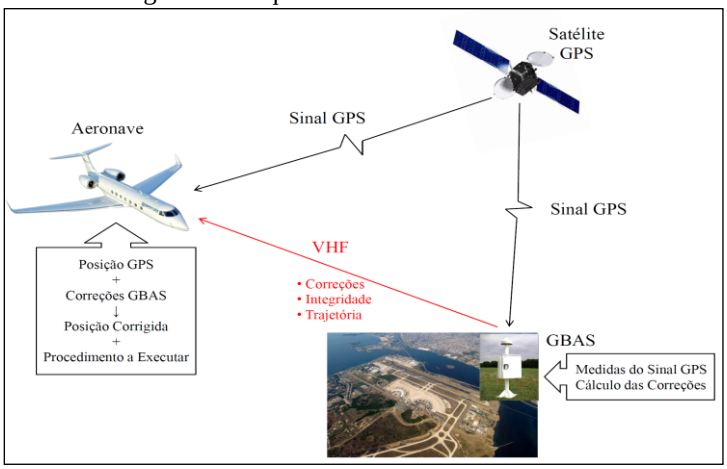
Uma vez que o equipamento é, originalmente, certificado para operação apenas nos Estados Unidos, qualquer instituição que queira fazer o uso desse modelo de GBAS deve estimar os parâmetros do *CONUS Threat Model* para a região de interesse, e verificar se valores atendem os limiares estabelecidos. Entre os diversos parâmetros de integridade transmitidos pelo GBAS tem-se o desvio-padrão do gradiente ionosférico vertical (σ_{vig}), utilizado para determinar os níveis de proteção horizontal (HPL – *Horizontal Protection Level*) e vertical (VPL – *Vertical Protection Level*) da aeronave durante a aproximação precisa. Expresso em mm/km (ou também em m/m), um valor de 4 mm/km para o desvio-padrão é o suficiente para atender todas as condições ionosféricas atuantes no modelo do CONUS, considerando todos os satélites GPS (*Global Positioning System*) e invariavelmente da distância entre a estação GBAS e a aeronave (LEE et al., 2007),

Assim, visando uma futura instalação de um GBAS no aeroporto internacional de Recife/PE – "Gilberto Freyre", de código ICAO (*International Civil Aviation Organization*) SBRF, o trabalho visa apresentar a estimativa e análise de valores de σ_{vig} para cada satélite GPS disponível e para intervalos de distância de 50 em 50 km entre o GBAS e a aeronave, com o intuito de verificar se os satélites GPS atendem o limiar do CONUS de 4 mm/km.

2 GBAS

GBAS foi desenvolvido para ser utilizado nas aproximações de precisão, em princípio para CAT-I, mas com pretensão de atingir CAT-II e CAT-III. As aproximações de precisão são realizadas por aeronaves equipadas com receptor GNSS, o qual faz uso de mensagens transmitidas via VHF (*Very High Frequency*) de uma estação GBAS instalada próxima à pista de um aeroporto, mensagens essas contendo correções diferenciais de pseudodistância (Tipo 1), parâmetros de integridade (Tipo 2) e trajetórias de aproximação precisa (Tipo 4). A Figura 1 ilustra, de maneira simplificada, a arquitetura de um sistema GBAS.

Figura 1 – Arquitetura de um sistema GBAS.



Fonte: Adaptado de Pereira (2014).

As correções diferenciais são determinadas utilizando-se um conjunto de estações de referência equipadas com receptores de simples frequência (L1), instaladas em pontos de coordenadas conhecidas, servindo assim para a redução dos erros sistemáticos e a consequente garantia de precisão requerida para a operação CAT-I. Destaca-se que o GBAS faz o uso somente da portadora L1, pois, por razões de segurança, a utilização da portadora L2 não é autorizada pela ICAO na navegação aérea, devido o sistema GPS não garantir a integridade do sinal nessa portadora para fins de

navegação (ICAO, 2013). Tang et al. (2009), por outrora, apresentam os resultados de alguns testes realizados com a determinação da posição a partir das frequências L1 e L2, os quais mostraram uma melhora no posicionamento, mas também indicaram um maior índice de ruído no sinal devido a portadora L2. No entanto, a modernização do sistema GPS com a disponibilização da portadora L5 pelos satélites do bloco IIF permite minimizar o erro introduzido pela ionosfera. De acordo com Circiu et al. (2014), a utilização de sinais das portadoras L1 e L5 no GBAS poderá melhorar consideravelmente a correção dos efeitos da ionosfera por meio da combinação *ion-free* ou pela filtragem da pseudodistância pela fase da portadora.

Visando garantir a integridade, o GBAS faz o uso de quatro estações de referência para a aplicação do DGNSS, quando o mínimo necessário é de apenas uma estação. O cálculo das correções diferenciais é realizado para as quatro estações e a correção final transmitida consiste da média dos valores obtidos. Caso alguma estação apresentar um valor de correção discrepante da média, essa medida é descartada do cálculo final.

Paralelamente as correções de posição, o GBAS calcula e transmite parâmetros de integridade, os quais permitem determinar o HPL e o VPL. Dentre os dois níveis de proteção o VPL é considerado o mais crítico para o pouso de aeronaves, devido a componente vertical do posicionamento pelo GPS ser a mais afetada pelos erros sistemáticos, e devido também à necessidade do conhecimento da altitude com alta acurácia. As mensagens Tipo 2 contêm ainda a localização das estações de referência com as respectivas configurações e dados que permitem calcular a correção troposférica para o sinal GPS.

Por fim, o GBAS também transmite as mensagens Tipo 4, que contêm informações a cerca do procedimento de pouso que a aeronave deve executar. Essa mensagem pode apresentar um ou mais conjunto de dados com diversos procedimentos que dão suporte a mais de uma pista de pouso e, inclusive, para mais de um aeroporto. Para cada procedimento são também transmitidos os valores de HAL (*Horizontal Alert Limit*) e VAL (*Vertical Alert Limit*).

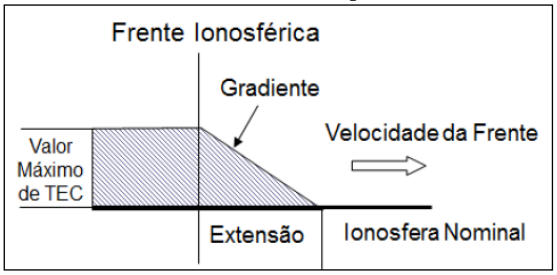
Para que o sistema GBAS atenda os requisitos de desempenho de navegação estabelecidos pela ICAO (HPL < HAL e VPL < VAL), limites devem ser impostos na variação dos erros ionosféricos entre a aeronave que se aproxima e as estações de referência, de modo a minimizar a perda de disponibilidade (DATTA-BARUA et al., 2002).

Com o intuito de estimar esses limites, a configuração do GBAS que deve ser modelada é aquela em que as estações de referência e o receptor da aeronave rastreiem simultaneamente uma determinada quantidade mínima de satélites, cujos sinais sejam submetidos a atrasos devido à ionosfera. No entanto, esses atrasos não são iguais quando as linhas de visadas forem diferentes. Em contrapartida, na medida em que a aeronave se aproxima das estações de referência, a diferença entre os erros ionosféricos tende a ser reduzida (DATTA-BARUA et al., 2002). Dada à problemática, pesquisadores da Universidade de Stanford/EUA desenvolveram um modelo de risco ionosférico, denominado *CONUS Threat Model*, a fim de estimar a máxima decorrelação espacial existente entre o atraso (erro) proporcionado de um satélite a uma estação de referência e o atraso do sinal desse mesmo satélite ao receptor da aeronave. Tal estimativa deve considerar uma determinada distância limite máxima, de modo a representar a pior situação e definir os limites de erros tolerados para a estimativa da qualidade do posicionamento da aeronave nas fases de aproximação e pouso (DATTA-BARUA et al., 2010).

3 MODELO CONUS DE RISCO IONOSFÉRICO

No modelo CONUS de risco ionosférico a AIE e as irregularidades ionosféricas são modeladas como uma "frente de onda" ou "frente ionosférica", que se deslocam com uma determinada velocidade horizontal de modo a produzir gradientes de erro ionosférico (MAYER et al., 2009). A representação de uma frente ionosférica é apresentada na Figura 2, sendo os parâmetros do modelo dado por: gradiente ionosférico, velocidade e extensão da frente ionosférica e valor máximo de atraso ionosférico.

Figura 2 – Representação de uma frente ionosférica e os parâmetros do modelo de risco ionosférico.



Fonte: Adaptado de Luo et al. (2005).

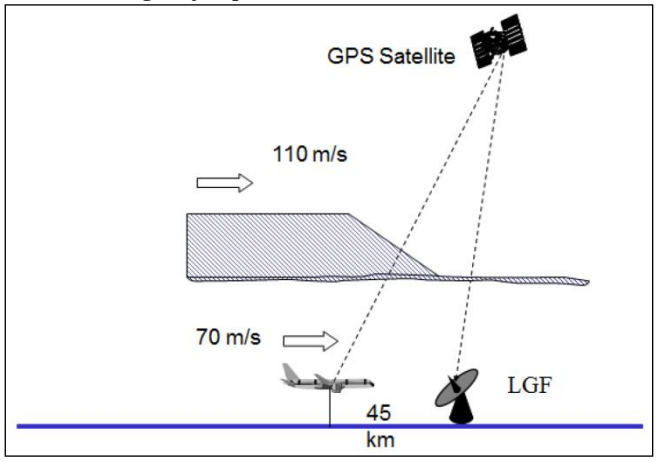
Os limites desses parâmetros são determinados por meio do processamento de um conjunto de dados que contemplam dias em que há fortes perturbações na densidade de elétrons da camada ionosférica. Os resultados obtidos são apresentados em função do ângulo de elevação dos satélites para o caso dos gradientes ionosféricos, em termos de

valor máximo e de valor mínimo para a extensão e velocidade e, conforme já relatado, o próprio valor máximo de atraso ionosférico, não havendo variação temporal para os valores obtidos.

As frentes ionosféricas podem ser classificadas como em movimento ou estacionárias. Durante uma aproximação precisa, a velocidade da aeronave em relação à velocidade da frente ionosférica determinará se a frente está se movendo de forma lenta ou rápida (SRINIVAS et al., 2014). A vantagem de uma frente se mover rapidamente é que as irregularidades e anomalias ionosféricas podem ser detectadas com mais facilidade.

Luo et al. (2003) estudaram diferentes cenários em termos de configuração espacial e avaliaram o caso de uma tempestade geomagnética ocorrida em 2000, em que concluíram que a pior configuração para o deslocamento da frente ionosférica se dá quando ela se aproxima por de trás e com velocidade superior a da aeronave, antes de ser detectada pelos receptores das estações de referência do sistema GBAS (Figura 3).

Figura 3 – Pior configuração para o deslocamento de uma frente ionosférica.



Fonte: Adaptado de Luo et al. (2003).

Num modelo de risco objetiva-se determinar os máximos gradientes ionosféricos existentes entre uma estação de referência e uma aeronave, com o intuito de representar o pior cenário em termos de erros ionosféricos. A metodologia para a determinação dos parâmetros do modelo de risco ionosférico pode ser encontrada em Pereira et al. (2017), Srinivas et al. (2014), Bumrungkit et al. (2014), Mayer et al. (2009) e Ene et al. (2005).

Para verificar se os limites dos parâmetros do modelo de risco podem ser utilizados numa região, uma das possibilidades existentes consiste no uso de uma densa rede de estações de monitoramento contínuo dos sinais GNSS, pois, dentre uma das alternativas de desenvolvimento do modelo tem-se a que utilize pares de estações (*station-pair method*), onde uma estação do par simula uma estação GBAS e a outra uma aeronave. Outra alternativa é a utilização de simuladores GNSS, sendo necessário nesse caso o conhecimento *a priori* das condições ionosféricas atuantes na região do GBAS.

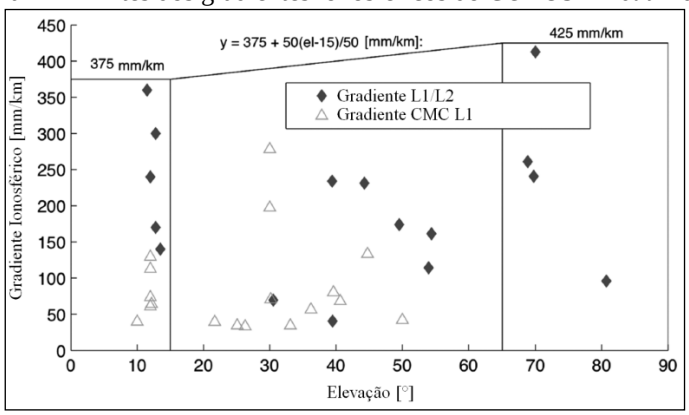
Para o desenvolvimento do *CONUS Threat Model* foram utilizados dados GPS de dupla frequência de estações da rede CORS (*Continuously Operating Reference Station*) referentes a 10 dias entre os anos de 2000 e 2004. Os limites e variações dos parâmetros do modelo são apresentados na Tabela 1. Já a Figura 4 mostra os limites dos gradientes ionosféricos em forma de gráfico.

Tabela 1 – Limites e variações dos parâmetros do *CONUS Threat Model*.

Parâmetro	**Limite ou Variação do Parâmetro**	
Gradiente Ionosférico Máximo	Elevação < 15°	375 mm/km
	15° < Elevação < 65°	375 + 50*(Elevação – 15°)/50 mm/km
	Elevação > 65°	425 mm/km
Velocidade da Frente Ionosférica	0 – 750 m/s	
Extensão da Frente Ionosférica	25 – 200 km	
Valor Máximo de Atraso Ionosférico	50 m	

Fonte: Datta-Barua et al. (2010).

Figura 4 – Limites dos gradientes ionosféricos do *CONUS Threat Model.*



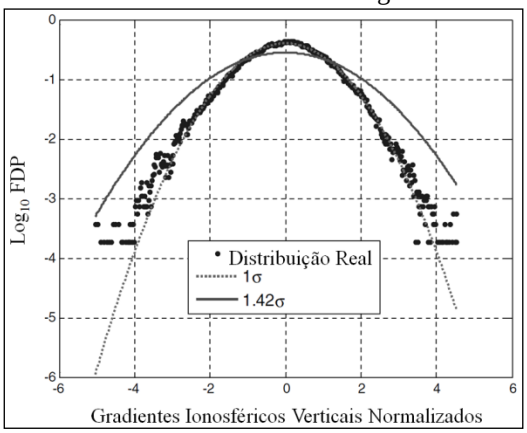
Fonte: Adaptado de Datta-Barua et al. (2010).

4 ESTIMATIVA DO DESVIO-PADRÃO DO GRADIENTE IONOSFÉRICO VERTICAL

Kolb et al. (2005) e Datta-Barua et al. (2002), após analisarem dados de gradientes ionosféricos verticais para regiões da Alemanha e dos Estados Unidos, respectivamente, obtiveram o valor de 1 mm/km (1σ) para σ_{vig} em dias nominais ou "calmos". Entretanto, esse valor não é rigoroso o suficiente para garantir que os níveis de proteção atendam os requisitos de navegação aérea devido à dois motivos: primeiro, o método descrito para o cálculo dos níveis de proteção assume média zero e distribuição gaussiana para a decorrelação espacial ionosférica, sendo que os gradientes ionosféricos não apresentam, necessariamente, média zero e distribuição normal; segundo, num GBAS não se consegue distinguir condições ionosféricas nominais de anômalas em tempo real. Dessa forma é necessário que o valor de σ_{vig} transmitido contemple todas as condições ionosféricas (LEE et al., 2007).

Nesse cenário, Lee et al. (2007) desenvolveram um método para estimar o desvio-padrão do gradiente vertical de forma mais rigorosa, denominado de *Sigma Overbounding Method*. O método consiste em analisar as funções de densidade de probabilidade (FDP) de gradientes ionosféricos verticais normalizados, obtidos para dias com atividades ionosféricas fracas e intensas, com o objetivo de obter um fator de inflação (f – também denominado de fator de escala) que, após multiplicar a distribuição gaussiana 1σ, obtém uma distribuição que se adeque de fato a real distribuição dos gradientes. Os passos do método são descritos a seguir: os gradientes verticais são divididos em intervalos (blocos) de acordo com as distâncias das estações que formam os pares, ou seja, em intervalos de 0-50 km, 50-100 km, 100-150 km, 150-200 km, 200-250 km e outros, por exemplo; a média (μ_{vig}) e o desvio-padrão (σ_{vig}) dos gradientes ionosféricos verticais são então calculados para cada intervalo, e utilizados para normalizar os gradientes de cada bloco; assim, com base na FDP dos gradientes ionosféricos verticais normalizados, determina-se o fator de inflação (f) para cada intervalo utilizando conceitos de assimetria e curtose. A Figura 5 apresenta o exemplo de uma FDP de gradientes ionosféricos verticais normalizados da região norte-americana para o dia 2 de julho de 2000.

Figura 5 – FDP de gradientes ionosféricos verticais normalizados da região dos Estados Unidos para 2 de julho de 2000.



Fonte: Adaptado de Lee et al. (2007).

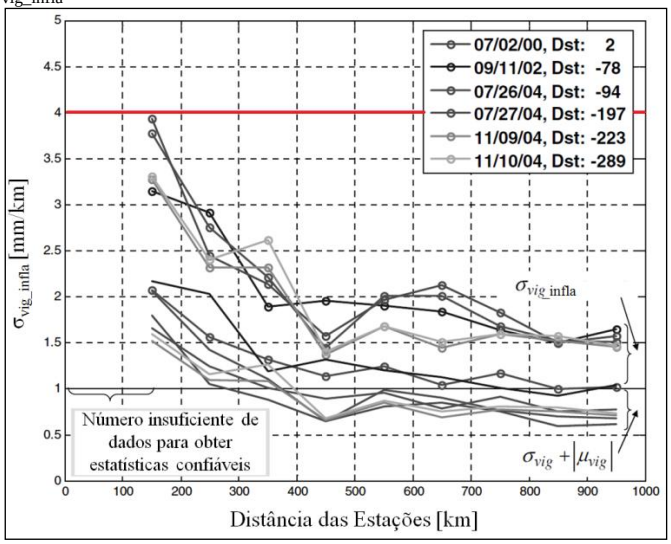
A partir da Figura 5 observa-se que a real distribuição dos dados não possuem caldas gaussianas. Dessa forma a distribuição gaussina N(0,1σ) deve ser multiplicada pelo fator de inflação de 1,42 para que as caldas da distribuição real sejam contempladas (LEE et al., 2007).

Por fim, o "σ_{vig} inflacionado" (σ_{vig_infla}) é calculado para cada intervalo utilizando a seguinte equação (LEE et al., 2007):

$$\sigma_{vig_infla} = \left|\mu_{vig}\right| + f \cdot \sigma_{vig} \quad (1)$$

Valores de σ_{vig_infla} obtidos para o *CONUS Threat Model*, referentes aos dias ionosféricos nominais e anômalos, são apresentados na Figura 6.

Figura 6 – Valores de σ_{vig_infla} do *CONUS Threat Model* referentes aos dias ionosféricos nominais e anômalos.



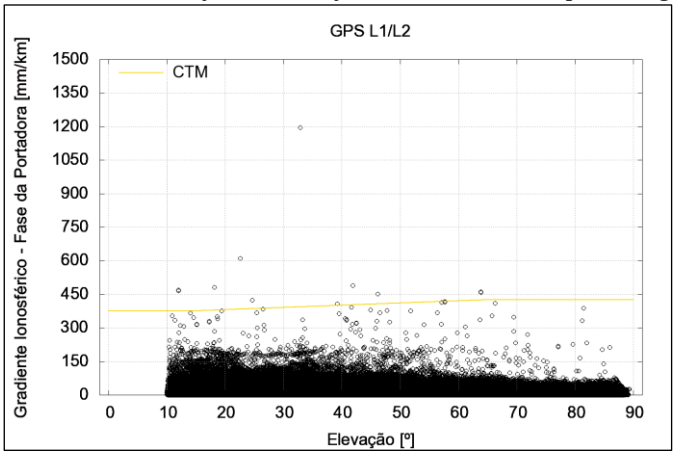
Fonte: Adaptado de Lee et al. (2007).

Os resultados indicam que um σ_{vig_infla} de 4 mm/km (linha vermelha) é suficiente para atender todas as condições ionosféricas atuantes no *CONUS Threat Model* (LEE et al., 2007).

5 VALORES DE σ_{vig} PARA A REGIÃO DO AEROPORTO SBRF

A partir das estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS) disponíveis na região do aeroporto internacional de Recife, e considerando 307 dias compreendidos entre os anos de 2000 e 2016 (contemplando os ápices dos ciclos solares 23 e 24), um raio de busca de 500 km em relação ao aeroporto e uma distância máxima de 400 km para a formação dos pares de estações, foram estimados os gradientes ionosféricos para cada par formado a partir do procedimento descrito por Pereira et al (2017). Tais estimativas consideraram apenas medidas de fase nas portadoras L1 e L2 dos satélites GPS e uma máscara de elevação de 10°. Os gradientes obtidos para as 307 datas em função da elevação dos satélites são apresentados na Figura 7, onde CTM corresponde ao limite do *CONUS Threat Model*.

Figura 7 – Gradientes ionosféricos em função da elevação dos satélites GPS para a região do aeroporto SBRF.

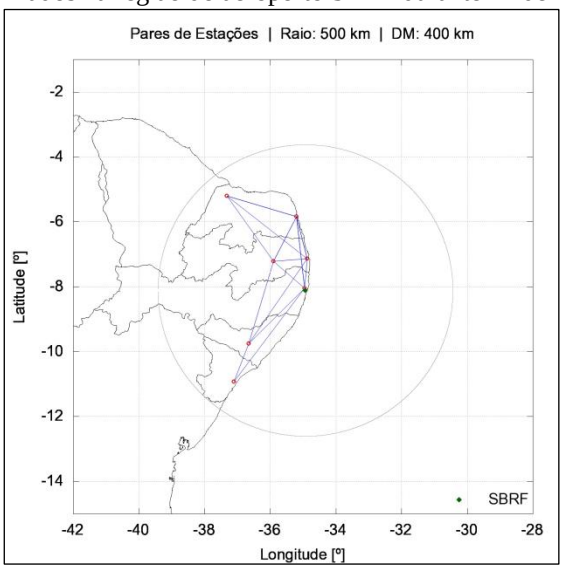


Analisando a Figura 7 nota-se que os valores obtidos superam o limite do *CONUS Threat Model*, para a região de Recife, em qualquer valor de elevação, o que inviabiliza em um primeiro momento a utilização no GBAS no aeroporto.

Uma vez determinados os gradientes, foram calculados a média (μ_{vig}), o desvio-padrão (σ_{vig}) e o desvio-padrão inflacionado (σ_{vig_infla}) para cada satélite GPS (combinação L1/L2), para cada bloco de distância entre as estações do par e para cada dia de dados processado. Com o intuito de exemplificar os resultados, é apresentado na Figura 8 apenas os valores para o outono do ápice do ciclo solar 24, que correspondem aos dias 27 e 28 de fevereiro e 1 e 2 de março de 2014. Salienta-se que são apresentados apenas os valores de μ_{vig} (azul), σ_{vig} (vermelho) e σ_{vig_infla} (verde) dos blocos 100-150 km, 150-200 km e 200-250 km, pois há somente pares de estações com distâncias dessas magnitudes. A Figura 9 mostra a disposição dos pares formados na região para o período de dias em questão.

Figura 8 – Valores de μ_{vig}, σ_{vig} e σ_{vig_infla} para os satélites GPS obtidos a partir da combinação L1/L2, para os blocos 100-150 km, 150-200 km e 200-250 km na região do aeroporto SBRF.

Figura 9 – Pares de estações formados na região do aeroporto SBRF durante 27 de fevereiro a 2 de março de 2018.



Analisando os σ_{vig} apresentados na Figura 8 tem-se que grande maioria dos satélites proporcionaram valores inferiores a 4 mm/km, valor esse que atende as condições ionosféricas identificadas no *CONUS Threat Model*, o qual é utilizado pelo GBAS da Honeywell. Um provável motivo para o baixo valor de desvio-padrão está na escassez de estações e no elevado comprimento das linhas das estações disponíveis (Figura 9), uma vez que a região encontra-se próxima ao equador magnético e sob os efeitos da AIE, que teoricamente proporciona elevados gradientes na direção norte-sul.

Em relação aos valores de σ_{vig_infla} tem-se que os mesmos condizem melhor com as condições ionosféricas que atuam na região. Os desvios-padrões oscilaram em torno de 15 mm/km, resultados bem superiores aos 4 mm/km do modelo norte-americano, o que evidencia a completa distinção das condições ionosféricas dos dois países. Entretanto, alguns satélites também proporcionaram valores de σ_{vig_infla} inferior a 4 mm/km, conforme apresenta a Tabela 2.

Tabela 2 – Satélites GPS que proporcionaram σ_{vig_infla} inferior a 4 mm/km durante 27 de fevereiro a 2 de março de 2014.

Dia	Distância: 100-150 km	Distância: 150-200 km	Distância: 200-250 km
27/02/2014	G12: 2,137 mm/km G15: 0,366 mm/km G17: 1,514 mm/km	G02: 3,586 mm/km G10: 3,439 mm/km G28: 3,542 mm/km	-
28/02/2014	G17: 1,635 mm/km G26: 3,809 mm/km	G02: 3,306 mm/km G11: 3,525 mm/km G20: 1,827 mm/km	G04: 3,169 mm/km G08: 3,260 mm/km G09: 2,880 mm/km G16: 3,610 mm/km G17: 2,568 mm/km G26: 3,723 mm/km G28: 2,126 mm/km
01/03/2014	G15: 1,930 mm/km G17: 2,116 mm/km G28: 1,773 mm/km	G18: 0,274 mm/km	G07: 3,052 mm/km G18: 3,886 mm/km
02/03/2014	G08: 1,950 mm/km	G02: 1,941 mm/km G04: 3,960 mm/km G10: 2,444 mm/km	-

Assim, uma possibilidade para um futuro uso do GBAS na região do aeroporto internacional de Recife consiste na aplicação da técnica *Screening*, que consiste em utilizar apenas os satélites que proporcionam desvios-padrões menores que o limiar do CONUS. Entretanto, ressalva-se que a técnica deve ser utilizada apenas quando há um número suficiente de satélites com baixos valores de desvio-padrão, sendo que a exclusão dos satélites com altos desvios-padrões deve ser controlada, com o objetivo de não ocasionar uma degradação na geometria dos satélites. Outra possibilidade é realizar a ponderação das observáveis no modelo estocástico para a determinação de HPL e VPL, atribuindo pesos inversamente proporcionais aos valores de σ_{vig_infla}.

6 CONCLUSÕES

A estimativa do desvio-padrão do gradiente ionosférico vertical para cada satélite GPS visível na região do aeroporto internacional de Recife, a partir do emprego de medidas de fase nas portadoras L1 e L2, mostrou-se uma técnica válida. Tal estimativa representa a transmissão da real decorrelação ionosférica existente no momento da aproximação e pouso preciso das aeronaves, ao contrário da atual configuração do GBAS que consiste na transmissão de um único valor de σ_{vig} para todos os satélites, que teoricamente contempla todas as possíveis perturbações ionosféricas.

Os gradientes ionosféricos obtidos, para o período de anos considerado, superaram o limite do *CONUS Threat Model*, o que inviabiliza o uso do GBAS na região de Recife em um primeiro momento. Entretanto, ao analisar os valores de σ_{vig} e σ_{vig_infla} de cada satélite verificou-se que alguns não apresentaram valores superiores ao limiar de 4 mm/km. Portanto, ao se utilizar da técnica *Screening* ou da ponderação das observáveis no modelo estocástico, é provável que o GBAS possa ser empregado nas aproximações e pousos na região. Experimentos utilizando os valores dos desvios-padrões e com vistas à determinação de HPL e VPL são necessários para a certificação ou não do funcionamento do GBAS no aeroporto.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem à FAPESP pela bolsa de doutorado (proc. n° 2015/20522-7), ao INCT GNSS-NavAer (CNPq – proc. n° 465648/2014-2, FAPESP – proc. n° 2017/50115-0 e CAPES – proc. n° 88887. 137186/2017-00) pelo ambiente à pesquisa e às bolsas PQ (CNPq – proc. n° 309832/2016-0 e n° 307417/2017-4).

REFERÊNCIAS

BUMRUNGKIT, A.; RUNGRAENGWAJIAKE, S.; SUPNITHI, P.; SIANSAWASDI, N. Drift velocity estimation of ionospheric disturbance using GPS observations. In: THE 4th JOINT INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY, ELECTRONIC AND ELECTRICAL ENGINEERING, 2014, Chiang Rai. **Electronic proceedings…**Chiang Rai, 5-8 mar. 2014. doi: 10.1109/JICTEE.2014.6804061

CIRCIU, M. S.; FELUX, M.; REMI, P.; YI, L.; BELABBAS, B. PULLEN, S. Evaluation of dual frequency GBAS performance using flight data. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL TECHNICAL MEETINGS OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 2014. **Electronic proceedings…** ITM2014, 2014.

DATTA-BARUA, S. **Ionospheric threats to the integrity of airborne GPS users**. 2008. 144 p. Dissertation (PhD in Philosophy) – Department of Aeronautics and Astronautics, Stanford University, USA.

DATTA-BARUA, S.; LEE, J.; PULLEN, S.; LUO, M.; ENE, A.; QIU, D.; ZHANG, G.; ENGE, P. Ionospheric threat parameterization for local area Global-Positioning-System-Based aircraft landing systems. **Journal of Aircraft**, v. 47, n. 4, p. 1141-1151, 2010. doi:10.2514/1.46719

DATTA-BARUA, S.; WALTER, T.; PULLEN, S.; LUO, M.; BLANCH, J.; ENGE, P. Using WAAS ionospheric data to estimate LAAS short baseline gradients. In: NATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 2002, San Diego. **Electronic proceedings…**San Diego, Jan. 2002. p. 523-530.

ENE, A. **Utilization of modernized Global Navigation Satellite Systems for aircraft-based navigation integrity**. 2009. 220 p. Dissertation (PhD in Philosophy) – Department of Aeronautics and Astronautics, Stanford University, USA.

ENE, A.; QIU, D.; LUO, M.; PULLEN, S.; ENGE, P. Comprehensive ionosphere storm data analysis method to support LAAS threat model development. In: NATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 2005, San Diego. **Electronic proceedings…**San Diego, Jan. 2005. p. 110-130.

ICAO. International Civil Aviation Organization. **Global Navigation Satellite System (Gnss) Manual 2nd Edition (Doc 9849)**. 2013b. Disponível em: <http://www.icao.int/airnavigation/Lists/T_Documents/DispForm.aspx?ID=63>. Acesso em: 15 dez. 2016.

JAN, S. S. Vertical guidance performance analysis of the L1-L5 dual-frequency GPS/WASS user avionics sensor. **Sensors**, v. 10, p. 2609-2625, 2010. doi:10.3390/s100402609

JUNG, S.; LEE, J. Long-term ionospheric anomaly monitoring for Ground Based Augmentation Systems. **Radio Science**, v. 47, RS4006, 2012. doi:10.1029/2012RS005016

KIM, J.; LEE, S. W.; LEE, H. K. An annual variation analysis of the ionospheric spatial gradient over a regional area for GNSS applications. **Advances in Space Research**, v. 54, p. 333-341, 2014.

KIM, M.; CHOI, Y.; JUN, H. S.; LEE, J. GBAS ionospheric threat model assessment for category I operation in the Korean region. **GPS Solutions**, v. 19, n. 3, 2015. doi:10.1007/s10291-014-0404-6

KOLB, P. F.; CHEN, X.; VOLLATH, U. A new method to model the ionosphere across local area networks. In: PROCEEDINGS OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 2005, Alexandria. **Proceedings...** Alexandria: [s.n.], 2005. p. 705-711.

LEE, J. **GPS-Based aircraft landing systems with enhanced performance: beyond accuracy**. 2005. 146 p. Dissertation (PhD in Philosophy) – Department of Aeronautics and Astronautics, Stanford University, USA.

LEE, J.; DATTA-BARUA, S.; ZHANG, G.; PULLEN, S.; ENGE, P. Observations of low-elevation ionospheric anomalies for Ground-Based Augmentation of GNSS. **Radio Science**, v. 46, RS6005, 2011a. doi:10.1029/2011RS004776

LEE, J.; PULLEN, S.; DATTA-BARUA, S.; ENGE, P. Assessment of ionosphere spatial decorrelation for Global Positioning System-Based aircraft landing systems. **Journal of Aircraft**, v. 44, n. 5, p. 1662-1669, 2007. doi:10.2514/1.28199

LEE, J.; SEO, J.; PARK, Y. S.; PULLEN, S.; ENGE, P. Ionospheric threat mitigation by geometry screening in Ground-Based Augmentation Systems. **Journal of Aircraft**, v. 48, n. 4, p. 1422–1433, 2011b. doi:10.2514/1.C031309

LUO, M.; PULLEN, S.; DATTA-BARUA, S.; ZHANG, G.; WALTER, T.; ENGE, P. LAAS study of slow-moving ionosphere anomalies and their potential impacts. In: 18th INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION, 2005, Long Beach. **Electronic proceedings…** Long Beach: ION/GNSS, Sep. 2005. p. 2337-2349.

LUO, M.; PULLEN, S.; DENNIS, J.; KONNO, H.; XIE, G.; WALTER, T.; ENGE, P.; DATTA-BARUA, S.; DEHEL, T. LAAS ionosphere spatial gradient threat model and impact of LGF and airborne monitoring. In: ION GPS/GNSS, 2003, Portland. **Electronic proceedinds…**Portland: ION/GNSS, Sep. 2003. p. 2255-2274.

MAYER, C.; BELABBAS, B.; JAKOWSKI, N.; MEURER, M.; DUNKEL, W. Ionosphere threat space model assessment for GBAS. In: ION/GNSS, 2009, Savannah. **Electronic proceedinds…**Savannah: ION/GNSS, 2009. p. 1091-1099.

PEREIRA, L. M. **Efeitos da ionosfera sobre o desempenho do sistema GBAS no espaço aéreo brasileiro**. Trabalho da Disciplina de Geofísica Espacial – Curso de Pós-Graduação em Geofísica Espacial, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

PEREIRA, V. A. S.; MONICO, J. F. G.; CAMARGO, P. O. Procedimento geral para o desenvolvimento de modelo de risco ionosférico para GBAS e principais modelos existentes. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA & II JORNADAS LUSÓFONAS – CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 2017, Presidente Prudente. **Anais eletrônicos...** Presidente Prudente: Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, 24-26 jul. 2017. p. 563-570.

PULLEN, S.; PARK, Y. S.; ENGE, P. Impact and mitigation of ionospheric anomalies on Ground-Based Augmentation of GNSS. **Radio Science**, v. 44, RS0A21, 2009. doi:10.1029/2008RS004084

SRINIVAS, V. S.; SARMA, A. D.; REDDY, A. S.; REDDY, D. K. Investigation of the effect of ionospheric gradients on GPS signals in the context of LAAS. **Progress In Electromagnetics Research B**, v. 57, p.191-205, 2014.

TANG, H.; WALTER, T.; BLANCH, J.; ENGE, P.; CHAIN, F. C. Flight test data validation of dual-frequency GPS measurement error characteristics. In: ION/GNSS, 2009, Savannah. **Electronic proceedings…**Savannah: ION/GNSS, 2009. p. 1637-1644.

WANG, Z.; MACABIAU, C.; ZHANG, J.; ESCHER, A. C. Prediction and analysis of GBAS integrity monitoring availability at LinZhi Airport. **GPS Solutions**, v. 18, p. 27-40, 2014. doi:10.1007/s10291-012-0306-4

YOON, M.; LEE, J. Medium-scale travelling ionospheric disturbances in the Korean Region on 10 November 2004: potential impact on GPS-Based Navigation Systems. **Space Weather**, v. 12, p. 173–186, 2014. doi:10.1002/2013SW001002

ESTUDO COMPARATIVO DE ALTITUDES NORMAIS EM REDE DE NIVELAMENTO

ALYSSON RAFAEL GOMES SENA
CAIQUE DE FRANÇA ALMEIDA
RAUL CAMILO FARIAS RODRIGUES
WENDSON DE OLIVEIRA SOUZA

Universidade Federal do Piauí - UFPI
Centro de Tecnologia - CT
Departamento de Transportes, Teresina, PI
{alysson.senna, kaik_almeida_b13}@hotmail.com, raulcamilof@gmail.com, wendsonsouza@ufpi.edu.br

RESUMO – O conhecimento de pontos de coordenadas geodésicas dotadas de altitudes se reveste de grande importância no campo do desenvolvimento científico e das infraestruturas civis. Informações geoespaciais vinculadas a um referencial altimétrico subsidiam parâmetros envolvidos no estudo da Terra. Investigações em geociências e obras de engenharia demandam por grandezas físicas relacionadas ao campo gravitacional terrestre. O uso de métodos clássicos do tipo nivelamento geométrico se faz presente nos dias atuais e possui precisão requerida à Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) – empregada no Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) na determinação geoidal. Esta pesquisa tem por objetivo analisar de forma comparativa altitudes normais calculadas e corrigidas em relação às ajustadas via técnica de ajustamento de observações. O estudo de caso contempla a rede altimétrica do *campus* universitário Ministro Petrônio Portella da Universidade Federal do Piauí (UFPI) vinculada à estação de Referência de Nível (RN) 1660P do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE). Para isso, são empregados: nivelamento geométrico, compensação do erro de fechamento e método paramétrico de ajustamento. Os resultados revelam diferença de até 15 mm em comparação com altitudes ajustadas.

ABSTRACT – The knowledge of points of geodesic coordinates with altitudes is of great importance in the field of scientific development and civil infrastructures. Geospatial information linked to an altimetric framework subsidizes parameters involved in the study of Earth. Investigations in geosciences and engineering works demand for physical quantities related to the terrestrial gravitational field. The use of classical geometric leveling methods is present in the present day and has precision required to the High Accuracy Altimetry Network (RAAP) - used in the Brazilian Geodetic System (SGB) in the geoidal determination. The aim of this research is to compare, in a comparative way, normal altitudes calculated and corrected in relation to those adjusted through the technique of adjustment of observations. The case study contemplates the altimetric network of the university *campus* Minister Petrônio Portella of the Federal University of Piauí (UFPI) linked to the Reference Level station (RN) 1660P of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). For this, the following are employed: geometric leveling, compensation of the closing error and parametric method of adjustment. The results show a difference of up to 15 mm in comparison with adjusted altitudes.

1 INTRODUÇÃO

As ciências geodésicas por meio de metodologias e instrumentos de medição fornecem informações geoespaciais preponderantes ao entendimento da dinâmica da Terra e ao gerenciamento territorial. A Geodésia, em especial, ao longo do tempo se ocupa em dimensionar e delinear a superfície terrestre via elementos geométricos e grandezas físicas a partir da execução de levantamentos geodésicos.

O posicionamento preciso na superfície terrestre de pontos de coordenadas associados a um Referencial Geodésico é fator essencial para o campo do desenvolvimento científico e das infraestruturas civis. Em relação à altimetria, o conhecimento de pontos de coordenadas geodésicas dotadas de altitudes se reveste de grande importância em investigações geocientíficas (levantamento gravimétrico, mapeamento geofísico, estudo geodinâmico); e em obras de engenharia (saneamento, portos, estradas, aeroportos, barragens).

A altimetria possui vínculo numa superfície de referência física da Terra, denominada de geoide – superfície equipotencial definida de maneira clássica pelo Nível Médio do Mar (NMM) supostamente em repouso e prolongado para os continentes, tida como a forma mais próxima da Terra (GEMAEL, 1999). Nessa situação a altitude ortométrica é definida pela separação da superfície terrestre em relação ao geoide, contada por este ao longo da vertical do lugar.

A partir do Relatório do Reajustamento da Rede Altimétrica com Números Geopotenciais (IBGE, 2018) verifica-se modernização das Referências de Nível (RRNN) pela incorporação da informação gravimétrica aos desníveis nivelados e reajustamento da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) em termos de números geopotenciais. Isso visa à obtenção de altitudes com maior significado físico.

Na impossibilidade do conhecimento da gravidade média na vertical para a maioria das estações altimétricas e, por conseguinte, da altitude ortométrica rigorosa, a ciência geodésica propõe variações e simplificações da definição formal de altitude ortométrica, baseadas em aproximações do valor médio da gravidade. Com isso, há adoção da altitude normal – medida ao longo da linha vertical normal, isto é, ortogonal às superfícies equipotenciais do campo normal. Por não considerar o campo real, a altitude normal não se refere rigorosamente ao geoide, mas sim a uma superfície próxima a ele, denominada quase-geoide (IBGE, 2018).

Na atualidade o uso de métodos tradicionais como nivelamento geométrico se faz presente no estabelecimento de RRNN empregadas no Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) na determinação altimétrica. Isso permite que todas as altitudes a ela ligadas estejam relacionadas numa superfície vertical comum.

Entre os métodos encontrados na literatura (hidrostático, barométrico, trigonométrico) o nivelamento geométrico é o que apresenta maior precisão. O qual possibilita a determinação de altitudes de forma precisa face ao aparato instrumental (nível digital). Que ao realizar leitura em mira de código de barra é capaz de efetuar medição no centésimo do milímetro. Quanto à precisão do nivelamento, tal equipamento pode alcançar valores no décimo do milímetro para 1 (um) km de duplo nivelamento. Sendo classificado como de precisão muito alta, conforme a NBR 13.133 (1994).

O nivelamento, ou levantamento para fins altimétrico, caracteriza-se pela obtenção de desnível entre estações niveladas. Uma vez realizado esse procedimento, a etapa seguinte visa empregar métodos de compensação e ajustamento de observações na determinação de altitudes ajustadas, relacionadas numa Referência de Nível (RN) conhecida. Ao fazer isso, emergem-se possibilitas comparativas de discrepância das altitudes corrigidas.

Esta pesquisa tem por objetivo analisar de forma comparativa altitudes normais obtidas via compensação do erro de fechamento e técnica de ajustamento de observações. O estudo de caso é a rede altimétrica do *campus* universitário Ministro Petrônio Portella da Universidade Federal do Piauí (UFPI) vinculada à estação de Referência de Nível (RN) 1660P do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE). Para isso são empregados na área de estudo: nivelamento geométrico, compensação do erro de fechamento e método paramétrico de ajustamento. Os resultados revelam diferença de até 15 mm em comparação com altitudes ajustadas.

2 REDE DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

Em redes geodésicas de primeira ordem, do tipo RAAP, é utilizado nivelamento geométrico. Esse método proporciona diferença de distância vertical entre pontos da superfície terrestre por intermédio de leituras correspondentes a visadas horizontais, obtidas com um nível, em miras colocadas verticalmente nos referidos pontos (NBR 13133, 1994). A instalação do nível a igual distância horizontal das miras neutraliza a influencia da curvatura terrestre e da refração (GEMAEL, 1999). O nível realiza visadas horizontais dirigidas a miras (ré e vante) graduadas e verticalmente instaladas nos pontos a serem nivelados. O desnível é o resultado da subtração das leituras da mira de ré pela mira de vante, empregado na determinação de ponto de altitude desconhecida, Equação (1):

$$H_B = H_A + \left(L_r^A - L_v^B\right) \tag{1}$$

Onde:

H_A: ponto A de altitude conhecida; H_B: ponto B de altitude desconhecida; L_r^A: leitura da mira de ré no ponto A; e L_v: leitura da mira de vante no ponto B.

2.1 Tolerância para o erro de fechamento

O caminhamento fechado em redes geodésicas permite avaliar o erro de fechamento e indicar a qualidade do nivelamento. Nesse caso, realiza-se um nivelamento de ida, até o ponto final, e em seguida nivelamento de volta, até o ponto inicial (nivelamento e contranivelamento). O erro de fechamento (e_f) consiste na diferença entre as altitudes de saída e de chegada, Equação (2):

$$e_f = H_{Calculado} - H_{Conhecido} \tag{2}$$

Para a avaliação do erro de fechamento em um nivelamento geométrico faz-se necessário que ele seja menor do que o valor de tolerância indicado na Equação (3):

$$T = k\sqrt{d} \tag{3}$$

Em que:

T: tolerância do erro de fechamento do nivelamento geométrico; k: constante adotada em função da precisão considerada para o nivelamento geométrico; e d: comprimento total do percurso nivelado em km.

2.1 Compensação do erro de fechamento

Consiste em compensar as medições realizadas, ou seja, visa modificar os desníveis parciais calculados, dividindo o valor do erro de fechamento sobre cada um deles. A compensação (C_H) é o oposto do erro de fechamento, portanto, $C_H = -e_f$. Alguns métodos existentes são (SILVA; SEGATINA, 2015):

2.1.1 Método do número de desníveis

Trata-se de dividir o valor da compensação por (*n*) e somar o resultado em cada desnível, Equação (4):

$$C_{H_i} = \frac{C_H}{n} \tag{4}$$

Sendo:

C_{H_i}: valor da compensação parcial do desnível (*i*); C_H: valor total a ser compensado; e n: quantidade de desníveis medidos.

2.1.2 Método dos pesos das distâncias

Considera-se que quanto maior à distância, maior deve ser o erro do desnível medido, Equação (5):

$$C_{H_i} = C_H \frac{d_i}{\sum d} \tag{5}$$

Sendo:

C_{H_i}: valor da compensação parcial do desnível (*i*); C_H: valor total a ser compensado; d_i: distância aproximada do desnível; e $\sum d$: soma de todas as distâncias.

2.1.3 Método dos pesos dos desníveis

Neste caso, a compensação é aplicada, a cada desnível, em função do seu valor e em função da soma de todos os desníveis, Equação (6):

$$C_{H_i} = C_H \frac{|\Delta H_i|}{\sum |\Delta H|} \tag{6}$$

Sendo:

C_{H_i}: valor da compensação parcial do desnível (*i*); C_H: valor total a ser compensado; ΔH_i: valor do desnível; e $\sum \Delta H$: soma de todas os desníveis parciais.

2.2 Propagação das covariâncias

A formulação clássica da lei de propagação dos erros para o caso de uma função de variável aleatória com *n* variáveis independentes (GEMAEL, 1994) aplicada na Equação (1) resulta, Equação (7):

$$\sigma^2_{H_B} = \sigma^2_{H_A} + \sigma^2_{L_r^A} + \sigma^2_{L_v^B} = \sigma^2_{H_A} + \sigma^2_{\Delta H_{AB}} \tag{7}$$

Onde:

$\sigma^2_{H_B}$: variância da altitude do ponto B desconhecida; $\sigma^2_{H_A}$: variância da altitude do ponto A conhecida; $\sigma^2_{L_r^A}$: variância da leitura da mira de ré no ponto A; e $\sigma^2_{L_r^B}$: variância da leitura da mira de vante no ponto B; e $\sigma^2_{\Delta H_{AB}}$: variância do desnível entre os pontos A e B.

2.3 Método paramétrico de ajustamento de observações

Neste método o modelo matemático de ajustamento das observações ajustadas (L_a) é função (linear ou não linear) dos parâmetros ajustados (X_a) (GEMAEL, 1994), Equação (8):

$$L_a = F(X_a) \tag{8}$$

Considerando L_a igual ao vetor das observações (L_b) mais o vetor dos resíduos (V); e X_a igual ao vetor dos valores aproximados (X_o) mais o vetor das correções aos parâmetros (X), a Equação (8) resulta, Equação (9):

$$L_b + V = F(X_o + X) \tag{9}$$

Como a maioria das operações de ajustamento envolve relações funcionais entre observáveis e parâmetros não lineares, emprega-se o desenvolvimento em série de Taylor na linearização do segundo membro da Equação (9), Equação (10):

$$L_b + V = F(X_o + X) = F(X_o) + \left.\frac{\partial F}{\partial X_a}\right|_{X_a = X_o} \cdot X = L_o + AX \tag{10}$$

Onde:

L_o: vetor dos parâmetros aproximados; e A: matriz das derivadas parciais.

Fazendo $L = L_o - L_b$, obtém-se o modelo matemático linearizado, Equação (11):

$$V = L + AX \tag{11}$$

No qual o vetor das correções aos parâmetros resulta, Equação (12):

$$X = -\left(A^T PA\right)^{-1} A^T PL \tag{12}$$

Sendo:

P definida como a matriz dos pesos, Equação (13):

$$P = \sigma_o^2 \sum\nolimits_{L_b}^{-1} \tag{13}$$

Onde:

$\sum_{L_b}^{-1}$: matriz variância covariância das observações; e σ_o^2 : variância de referência a priori.

A qualidade do ajustamento envolve estimativa do fator de variância a posteriori $(\hat{\sigma}_o^2)$ em comparativo com a variância de referência a priori (σ_o^2), Equação (14):

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{V^T PV}{n-u} \tag{14}$$

Onde:
n: número de equações de observação; e u: número de parâmetros.

Essa comparação é feita por meio de teste estatístico de hipótese, baseado na distribuição de qui-quadrado $\left(\chi^2\right)$ para constatar se a discrepância é significativa a certo nível de confiança $\left(\alpha\right)$. Logo, testa-se a hipótese básica $\left(H_o : \sigma_o^2 = \hat{\sigma}_o^2\right)$ contra a hipótese alternativa $\left(H_1 : \sigma_o^2 \neq \hat{\sigma}_o^2\right)$. O valor calculado $\left(\chi^{*2} = \frac{\hat{\sigma}_o^2}{\sigma_o^2}(n-u)\right)$ é comparado com valores teóricos. Assim, a hipótese básica não é rejeitada se: $\chi^{*2} < \chi^2_{(n-u),1-\frac{a}{2}}$. Em seguida determina-se a matriz variância covariância dos parâmetros ajustados, Equação (15):

$$\Sigma_{X_a} = \hat{\sigma}_o^2 \cdot \left(A^T PA\right)^{-1} \tag{15}$$

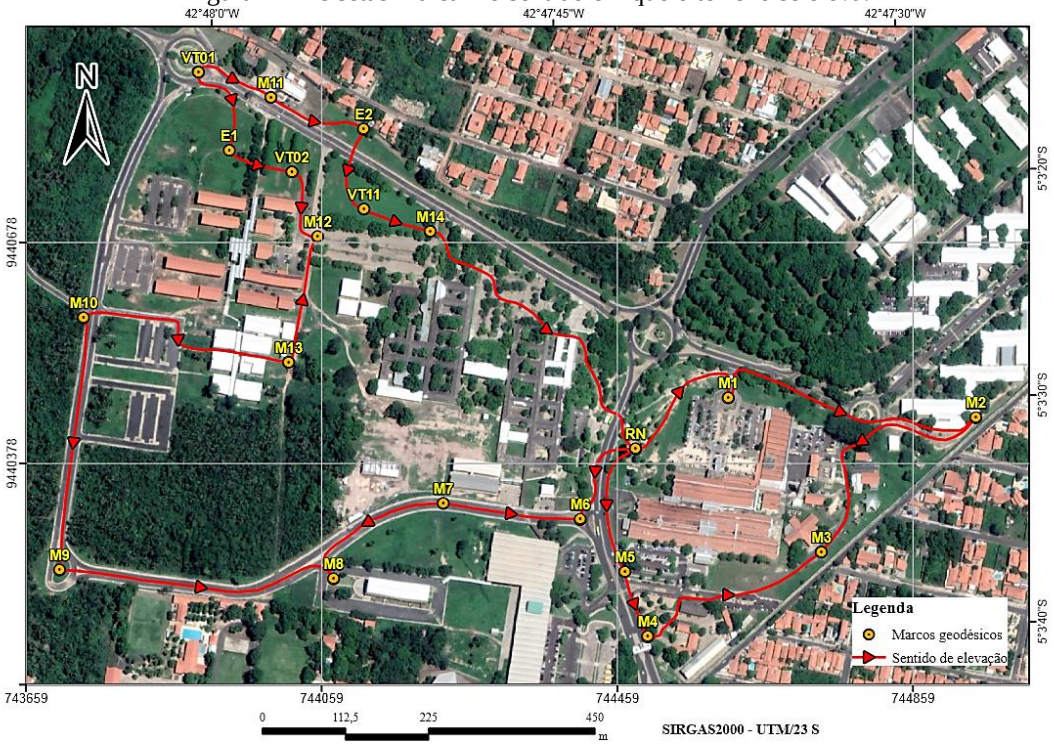
3 MATERIALIZAÇÃO DA REDE ALTIMÉTRICA

A necessidade da implantação da rede altimétrica na UFPI sede justifica-se no apoio imediato as obras de engenharia que a universidade realiza na expansão do perímetro urbano com a construção de novos laboratórios, prédios, salas de aula, auditórios, bibliotecas, mobilidade, restaurante universitário, ou seja, por mais áreas edificadas. A viabilidade da rede altimétrica advém da parceria do Departamento de Transportes (DT) e a Prefeitura Universitária mediante processo N° 23111.025509/2015-06. Além das benfeitorias, a rede altimétrica permite potencializar estudos técnico-científicos em ações voltadas ao ensino, pesquisa e extensão acadêmica.

3.1 Área de estudo

O *campus* universitário Ministro Petrônio Portella da UFPI foi utilizado como área de estudo, sediado no município de Teresina-PI. A concepção da rede altimétrica originou-se a partir da implantação de 19 (dezenove) marcos geodésicos, padrão IBGE, de formato tronco piramidal. A Figura 1 evidencia a distribuição dos marcos geodésicos.

Figura 1 – As setas indicam o sentido em que o terreno se eleva.



3.2 Materiais empregados

A pesquisa contou com a utilização dos seguintes materiais e recurso computacional:
01 (um) nível digital Ruide modelo DL-201 de precisão igual a 1mm por 1 km de duplo nivelamento; 01 (um) um tripé de madeira de pernas extensíveis; 01 (uma) mira em invar de código de barra; 02 (duas) balizas; e 01 (uma) licença do *FreeMat* versão 4.2.

3.2 Medição e processamento

A rede altimétrica foi estabelecida por (02) dois circuitos (C.I e C.II) independentes ao longo do *campu*s universitário. O caminhamento da rede foi desenvolvido com origem de saída igual ao de chegada conectado à estação RN1660P de altitude normal (73,6552 ± 0,086) m, pertencente à rede altimétrica do SGB.

O nivelamento geométrico envolveu o método das visadas iguais na finalidade de eliminar (ou minimizar) o efeito da influência da curvatura terrestre e da refração. Foram efetuadas medições na mira de invar com equidistância menor que 65 m e 1,50 m acima do solo.

Para o controle das leituras realizadas nas miras de invar, foram realizadas 03 (três) medições em cada visada (ré e vante). Essas medições foram comparadas e admitiu-se diferença de leitura inferior a 0,0002 m. A precisão das leituras (ré e vante) foi determinada pela média aritmética das três medições, isso possibilitou determinar a precisão dos desníveis ($\sigma_{\Delta H}$) via propagação das variâncias, Tabela 1.

Tabela 1 – Dados coletados no campo.

Circuito	Elevação		Desnível		Distância
	De	**Para**	ΔH_i (m)	$\pm \sigma_{\Delta H_i}$ (m)	d_i (m)
C.I	M1	RN	1,5345	0,0004	0,181188
	M2	M1	2,9469	0,0006	0,336958
	M3	M2	0,7633	0,0004	0,311529
	M3	M4	1,2882	0,0009	0,298609
	M4	M5	1,2972	0,0004	0,097725
	M5	RN	2,6656	0,0004	0,163377
			$\sum \Delta H = 10{,}4956$		$\sum d = 1{,}38939$
C.II	M6	RN	1,4307	0,0002	0,126178
	M6	M7	3,7226	0,0006	0,198952
	M8	M7	0,0510	0,0008	0,192860
	M8	M9	6,7338	0,0008	0,378560
	M9	M10	0,0937	0,0013	0,354947
	M13	M10	3,7533	0,0010	0,322570
	M12	M13	0,0996	0,0005	0,185961
	M12	VT02	1,9183	0,0001	0,106533
	VT02	E1	0,9756	0,0004	0,090667
	E1	VT01	1,1423	0,0005	0,133450
	M11	VT01	1,0761	0,0004	0,100017
	E2	M11	1,1216	0,0005	0,134887
	VT11	E2	0,7031	0,0004	0,115810
	M14	VT11	0,6265	0,0003	0,097578
	RN	M14	5,7074	0,0005	0,454104
			$\sum \Delta H = 29{,}1554$		$\sum d = 2{,}99307$

A rede de nivelamento se estendeu no domínio da UFPI por cerca de 4,4 km ao longo dos circuitos fechados. Para tolerância do erro de fechamento foi adotado valor igual a $12mm\sqrt{k}$. Onde: k representa a extensão nivelada $\left(\sum d_{(km)}\right)$, medida em único sentido. Esse valor fundamenta-se na NBR 13.133 (1994) referente à classe IN Geom. De acordo com essa norma foi obtido erro de fechamento dentro da tolerância estabelecida para cada circuito, $\left(C.I = 0{,}0063 < 0{,}014\right)$ m e $\left(C.II = 0{,}017 < 0{,}021\right)$ m.

3.3 Altitudes calculadas, corrigidas e ajustadas

Após o nivelamento (ao longo dos circuitos) apresentarem erro de fechamento menor que a tolerância permitida, em seguida foram determinadas altitudes calculadas e corrigidas pela compensação do erro de fechamento em função dos métodos: (i) do número de desníveis; (ii) dos pesos das distâncias; e (iii) dos pesos dos desníveis, Tabela 2.

Tabela 2 – Resultado das altitudes calculadas e corrigidas.

Marcos	**Altitudes calculadas** H_i (m)	**Altitudes corrigidas** $\left(H_c = H_i + C_{H_i}\right)$(m)		
		(i) $C_{H_i} = \frac{C_H}{n}$	(ii) $C_{H_i} = C_H \frac{d_i}{\sum d}$	(iii) $C_{H_i} = C_H \frac{\lvert\Delta H_i\rvert}{\sum\lvert\Delta H\rvert}$
M1	75,190	75,189	75,189	75,189
M2	78,137	78,136	78,135	78,135
M3	78,900	78,899	78,899	78,898
M4	77,612	77,611	77,611	77,610
M5	76,314	76,313	76,314	76,314
M6	75,086	75,085	75,085	75,085
M7	71,363	71,362	71,362	71,361
M8	71,414	71,413	71,413	71,414
M9	64,681	64,680	64,679	64,677
M10	64,587	64,586	64,585	64,587
M11	65,480	65,479	65,478	65,478
M12	68,440	68,439	68,439	68,440
M13	68,340	68,339	68,339	68,339
M14	67,931	67,930	67,930	67,930
E1	65,546	65,545	65,545	65,545
E2	66,601	66,600	66,600	66,600
VT01	64,404	64,403	64,403	64,403
VT02	66,521	66,520	66,520	66,521
VT11	67,304	67,303	67,303	67,304

Nos resultados da Tabela 2 verifica-se consistência entre os métodos utilizados com pequenas diferenças nas altitudes corrigidas. A partir da precisão das leituras de ré e vante determinou-se a precisão das altitudes calculadas via propagação das variâncias, ou seja: $\sigma_{H_i} = \pm 0{,}086$ m. Esse valor representa a própria incerteza do RN1660P conectado nos circuitos (C.I e C.II), e sendo o mesmo valor para todas as altitudes calculadas do nivelamento.

Para o cálculo das altitudes ajustadas empregou-se o método de ajustamento paramétrico. Na situação de ajustamento, a rede altimétrica constitui-se pela combinação dos dois circuitos perfazendo um total de 21 sessões. Dessa forma, o modelo de ajustamento envolveu 21 equações de observações a 19 parâmetros (incógnitas), em que a altitude da RN1660P foi considerada fixa. Os valores dos parâmetros aproximados foram assumidos $\left(X_o = 0\right)$. Fazendo com que: $\left(L = F\left(X_o\right) - L_b = -L_b\right)$.

Os valores das diferenças de nível (ΔH) registrados na Tabela 1 são utilizados para expressar as equações de condição, Equação (16):

$$
\begin{aligned}
&1): M1 - RN - 1{,}5345 - v_1 = 0 && 2): M2 - M1 - 2{,}9469 - v_2 = 0\\
&3): M3 - M2 - 0{,}7633 - v_3 = 0 && 4): M3 - M4 - 1{,}2882 - v_4 = 0\\
&5): M4 - M5 - 1{,}2972 - v_5 = 0 && 6): M5 - RN - 2{,}6656 - v_6 = 0\\
&7): M6 - RN - 1{,}4307 - v_7 = 0 && 8): M6 - M7 - 3{,}7226 - v_8 = 0\\
&9): M8 - M7 - 0{,}0510 - v_9 = 0 && 10): M8 - M9 - 6{,}7338 - v_{10} = 0\\
&11): M9 - M10 - 0{,}0937 - v_{11} = 0 && 12): M13 - M10 - 3{,}7533 - v_{12} = 0\\
&13): M12 - M13 - 0{,}0996 - v_{13} = 0 && 14): M12 - VT02 - 1{,}9183 - v_{14} = 0\\
&15): VT02 - E1 - 0{,}9756 - v_{15} = 0 && 16): E1 - VT01 - 1{,}1423 - v_{16} = 0\\
&17): M11 - VT01 - 1{,}0761 - v_{17} = 0 && 18): E2 - M11 - 1{,}1216 - v_{18} = 0\\
&19): VT11 - E2 - 0{,}7031 - v_{19} = 0 && 20): M14 - VT11 - 0{,}6265 - v_{20} = 0\\
&21): RN - M14 - 5{,}7044 - v_{21} = 0
\end{aligned}
\tag{16}
$$

Substituindo a altitude normal da RN1660P (73,6552 m) na Equação (16), a forma matricial do modelo matemático linearizada resulta, Equação (17):

$$
\underbrace{\begin{bmatrix} v_1\\ v_2\\ v_3\\ v_4\\ v_5\\ v_6\\ v_7\\ v_8\\ v_9\\ v_{10}\\ v_{11}\\ v_{12}\\ v_{13}\\ v_{14}\\ v_{15}\\ v_{16}\\ v_{17}\\ v_{18}\\ v_{19}\\ v_{20}\\ v_{21} \end{bmatrix}}_{V} =
\underbrace{\begin{bmatrix}
1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
-1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1\\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{bmatrix}}_{A}
\underbrace{\begin{bmatrix} M_1\\ M_2\\ M_3\\ M_4\\ M_5\\ M_6\\ M_7\\ M_8\\ M_9\\ M_{10}\\ M_{11}\\ M_{12}\\ M_{13}\\ M_{14}\\ E_1\\ E_2\\ VT_1\\ VT_2\\ VT_{11} \end{bmatrix}}_{X} -
\underbrace{\begin{bmatrix} 75{,}1897\\ 2{,}9469\\ 0{,}7633\\ 1{,}2882\\ 1{,}2972\\ 76{,}3208\\ 75{,}0859\\ 3{,}7226\\ 0{,}0510\\ 6{,}7338\\ 0{,}0937\\ 3{,}7533\\ 0{,}0996\\ 1{,}9183\\ 0{,}9756\\ 1{,}1423\\ 1{,}0761\\ 1{,}1216\\ 0{,}7031\\ 0{,}6265\\ -67{,}9478 \end{bmatrix}}_{L}
\tag{17}
$$

Os procedimentos de ajustamento foram executados em rotina computacional do *FreeMat* versão 4.2. No qual, foi considerado fator de variância a priori $\left(\sigma_o^2 = 1\right)$, e matriz dos pesos como inverso da distância da sessão em quilômetros. O ajustamento envolveu 2 graus de liberdade, e resultou em estimativa do fator de variância a posteriori

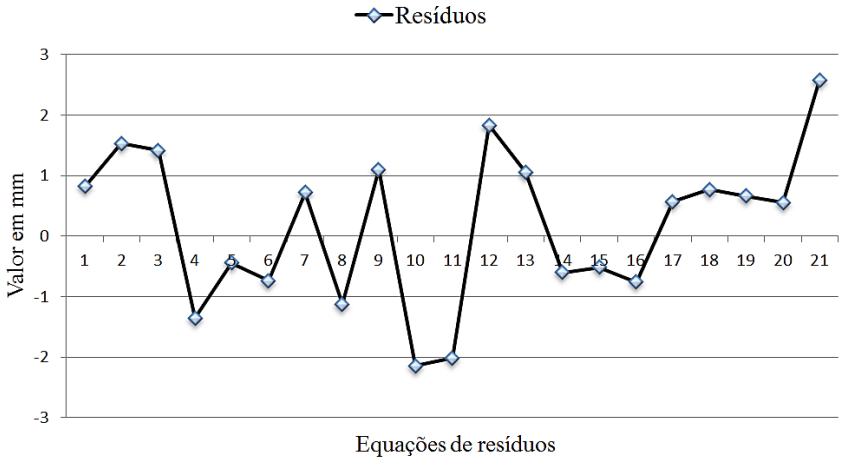
$\left(\hat{\sigma}_o^2 = 6{,}3\times10^{-5}\right)$, não sendo rejeitada pelo teste estatístico de hipótese básica ao nível de significância $\left(\alpha = 5\%\right)$. O teste qui-quadro calculado foi menor que o valor tabelado, respectivamente: $\left(\chi^{*2} = 1{,}25\times10^{-4}\right) < \left(\chi^2_{(2;0{,}975)} = 7{,}38\right)$. Sendo aceito para o limite superior da distribuição qui-quadrado. Em seguida determinou-se $\left(\Sigma_{X_a}\right)$. Na Tabela 3 estão registradas: as altitudes ajustadas e suas precisões.

Tabela 3 – Resultado das altitudes ajustadas.

Marcos	**Altitudes ajustadas**	
	H (m)	$\pm\sigma_{\Delta H}$ (m)
M1	75,191	0,003
M2	78,139	0,005
M3	78,904	0,005
M4	77,617	0,004
M5	76,320	0,003
M6	75,087	0,003
M7	71,365	0,004
M8	71,417	0,005
M9	64,686	0,006
M10	64,594	0,007
M11	65,492	0,006
M12	68,450	0,007
M13	68,349	0,007
M14	67,945	0,005
E1	65,557	0,007
E2	66,614	0,006
VT01	64,415	0,006
VT02	66,532	0,007
VT11	67,318	0,005

Em relação aos resíduos, o ajustamento resultou em pequenas discrepâncias nas observáveis de diferenças de nível ao longo das 21sessões, cujo valor máximo foi igual a 2,58 mm, Figura 2.

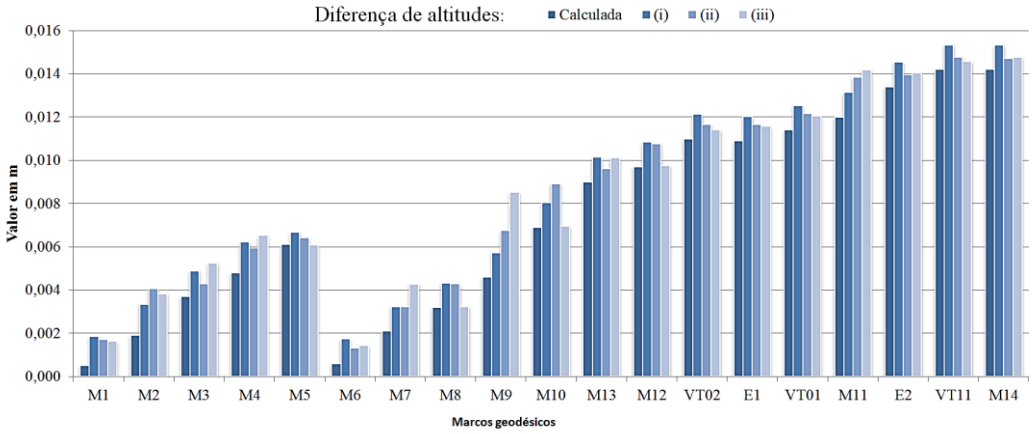
Figura 2 – Gráfico dos resíduos.



4 CONCLUSÕES

O desenvolvimento desta pesquisa apontou para investigações comparativas a partir das altitudes ajustadas em relação às calculadas e às corrigidas ((i), (ii), (ii)), diferença de até 15 mm. Essa diferença pode ter sido provocada pela propagação de erro do nivelamento no sentido de caminhamento dos marcos geodésica ao longo dos circuitos (*C.I* e *C.II*), isto é, os valores tendem a aumentar à medida que se afastam da Referência de Nível (RN1660P), via Figura 3:

Figura 3 – Gráfico da diferença de altitudes.



Evidencia-se na Figura 3 que as altitudes corrigidas (pela compensação do erro de fechamento) em função dos métodos ((i) do número de desníveis, (ii) dos pesos das distâncias e (iii) dos pesos dos desníveis) apresentaram valores de diferença de altitudes superior as altitudes calculadas, em referência as altitudes ajustadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores externam seus agradecimentos à Prefeitura universitária e ao Departamento de Transportes (DT) do Centro de Tecnologia (CT), ambos da UFPI, pelos marcos geodésicos, equipamentos e acessórios envolvidos nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR. 13133. **Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 1994.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Editora da UFPR, 1994. 319p.

GEMAEL, C. **Introdução à geodésia física. Curitiba**. Editora da UFPR, 1999. 304p

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Relatório: **Reajustamento da Rede Altimétrica com Números Geopotenciais REALT-2018.** Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_altimetrica/relatorio/relatorio_REALT_2018.pdf> Acesso em: 23 set. 2018.

SILVA, I; SEGANTINE, P. C. L. **Topografia para engenharia: teoria e prática de geomática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 412p

ESTUDOS PLANIMÉTRICOS POR TOPOGRAFIA CONVENCIONAL E AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES EM POLIGONAL FECHADA

BRUNO LIMA BARROS
AGEU MORAIS DE OLIVEIRA GOMES
WENDSON DE OLIVEIRA SOUZA

Universidade Federal do Piauí - UFPI
Centro de Tecnologia - CT
Departamento de Transportes, Teresina, PI
brunolyma@hotmail.com, ageumrs@gmail.com, wendsonsouza@ufpi.edu.br

RESUMO – Este trabalho tem por objetivo estudar de forma analítica e comparativa a aplicação dos métodos de *Bowditch* e do ajustamento paramétrico, voltados à compensação de erros em poligonal fechada. Tais métodos possibilitam ajustes de observações. No entanto, o método paramétrico permite estimar a variância dos parâmetros ajustados de uso na investigação da qualidade posicional. Para isso emprega-se ajustamento de injunções (absoluta e relativa) a partir de pontos de coordenadas de controle; com poligonal levantada por Estação Total em observáveis planas (angular e linear). Os resultados evidenciam diferença mínima em pontos de coordenadas obtidas pelos métodos mencionados. A utilização do método de *Bowditch* se apresenta adequada no transporte de coordenadas planas, de erros compensados na poligonal. Esse método, porém, caracteriza-se limitado para trabalhos que exigem avaliação completa em observáveis e parâmetros. Visto que não oportuniza estudos estatísticos e representação da qualidade geométrica, ou seja, teste de hipótese e elipse dos erros. Diante disso, pode ser útil a combinação do método de *Bowditch* com a lei de propagação das covariâncias.

ABSTRACT – The aim of this work is to study the application of Bowditch methods in an analytical and comparative way and parametric adjustment, in order to compensate the errors in closed polygonal. Such methods make it possible to adjust observations. However, the parametric method allows to estimate the variance of the adjusted parameters of use in the investigation of positional quality. For this purpose, we use the adjustment of injunctions (absolute and relative) from points of control coordinates; with polygonal raised by Total Station in flat observables (angular and linear). The results show a minimum difference in points of coordinates obtained by the mentioned methods. The use of the Bowditch method is adequate in the transport of plane coordinates, of compensated errors in the traverse. This method, however, is limited for works that require complete evaluation in observables and parameters. Since it does not offer statistical studies and representation of the geometric quality, that is, hypothesis test and ellipse of errors. In view of this, the combination of the Bowditch method with the law of covariance propagation may be useful.

1 INTRODUÇÃO

A NBR 13.133 (1994) define o levantamento topográfico pelo conjunto de operações topográficas clássicas, destinado à determinação das posições planimétrica e/ou altimétrica dos pontos, que vão permitir a representação do terreno a ser levantado topograficamente a partir do apoio topográfico. Esse apoio ocorre por meio de um conjunto de pontos (planimétrico ou planialtimétrico) materializados no terreno que dão suporte ao levantamento topográfico.

Na execução de operações topográficas são efetuadas medições de grandezas angulares e/ou lineares envolvidas na determinação de pontos de coordenadas planimétricas por meio de métodos clássicos, do tipo: poligonação, triangulação, trilateração, irradiação, interseção, resseção e outros. Entre os métodos citados, a poligonação tem uso recorrente no estabelecimento de uma rede topográfica de apoio para levantamento e implantação de obras de engenharia; mapeamento cadastral; georreferenciamento de imóveis rurais; monitoramento geodésico.

De certa forma, a poligonação foi impulsionada com o advento da Estação Total, instrumento eletrônico que concilia medições e cálculos de ângulos e distâncias de modo integrado. As medições simultâneas (angulares e lineares) viabilizaram de maneira significativa a aplicação desse instrumento em poligonal aberta e/ou fechada para a implantação de pontos de apoio.

Em campo, o levantamento consiste em determinar novos pontos de coordenadas por meio do estabelecimento de uma poligonal geometricamente fechada a partir de vértices de coordenadas pertencentes à rede geodésica do Sistema Geodésico Brasileiro (SIRGAS2000 – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, em sua realização do ano de 2000), ou por intermédio de pontos de coordenadas pelo GNSS (*Global Navigation Satellite System*).

Após a execução de um levantamento topográfico a etapa seguinte fundamenta-se em realizar cálculos necessários na obtenção de pontos de coordenadas planas. Porém, direções angulares e distâncias horizontais observadas em poligonais, naturalmente são eivadas de erros (instrumental, acidental, ambiental). Os erros inviabilizam o correto fechamento geométrico de poligonais. A solução recai em ajustar erros cometidos em observáveis.

O método de *Bowditch* é um dos mais praticados na topografia clássica para compensar erros retidos em medição utilizados por usuários e profissionais envolvidos com levantamentos de poligonais. Na determinação de coordenadas são utilizados cálculos topométricos. Os valores geométricos medidos sobre o terreno são projetos em um plano topográfico local. Admite-se que as observações têm peso igual e sem correlação. Há uma uniformidade em medições com precisão equivalente nos levantamentos angulares e lineares, que produz resultados satisfatórios.

O método de ajustamento paramétrico se utiliza de observações indiretas para estimar grandezas incógnitas (parâmetros) que se vinculam às observações por meio de relações funcionais. Com isso, se busca depurar as observações eivadas de erros de medidas que as acompanham, isto é, ajustá-las em companhia de parâmetros (quando existem) a um modelo matemático adequado (GEMAEL, 1994).

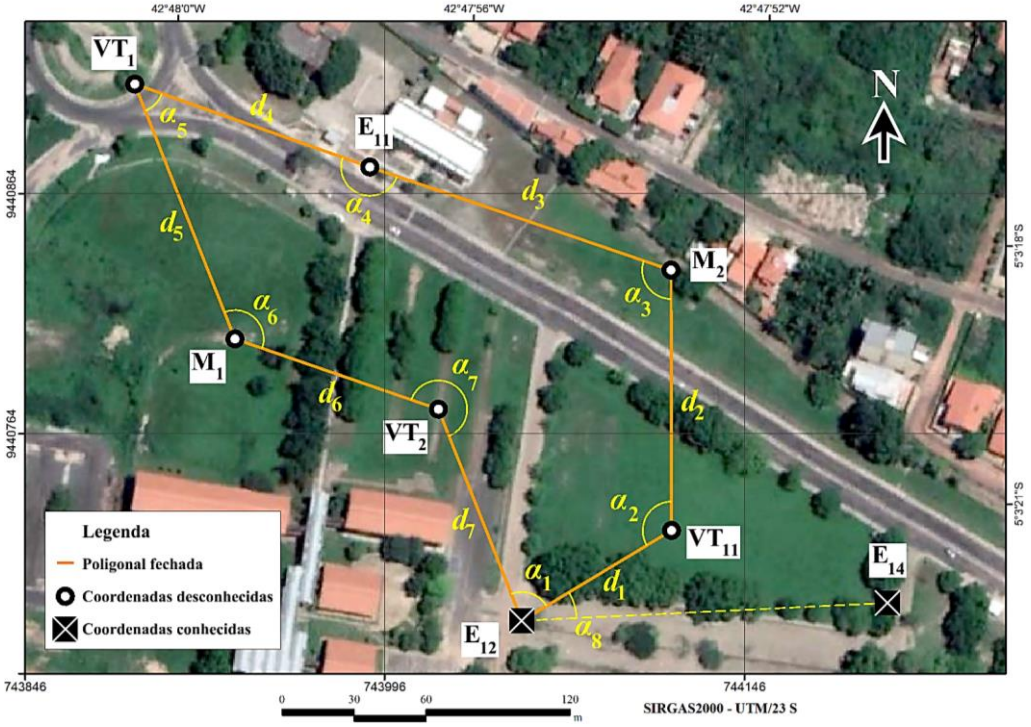
No ajustamento de poligonais é conveniente utilizar injunções absolutas referentes a fixar posição via um par de coordenadas; fixar rotação mediante uma direção; e fixar escala a uma distância. Em circunstâncias em que os valores fixos possuam erros (incertezas) admite-se injunções relativas. De modo geral, o ajustamento conduzirá a um resultado único e que represente maior confiança as grandezas medidas; e com estimativa da precisão da solução adotada.

Na atualidade são encontrados vários métodos para ajustar erros de medidas às observáveis angulares e lineares em poligonais. Este trabalho tem por objetivo analisar de forma analítica e comparativa os resultados obtidos da execução dos métodos de *Bowditch* e do ajustamento paramétrico com injunções (absoluta e relativa), aplicados ao levantamento topográfico de uma poligonal fechada constituída de sete vértices como estudo de caso.

2 LEVANTAMENTO E METODOS DE AJUSTES DA POLIGONAL

A poligonal foi estabelecida por 07 (sete) marcos geodésicos de formato tronco piramidal, padrão IBGE de Referência de Nível (RN), no *campus* Ministro Petrônio Portella da UFPI, área de estudo, sediado no município de Teresina-PI. O caminhamento da poligonal foi desenvolvido em sentido anti-horário na obtenção de ângulos internos. Para o controle (angular e linear) da poligonal foram adotados 02 (dois) pontos de coordenadas SIRGAS2000 - UTM (Universal Transversa de Mercator): E_{12} (744052,701 ± 0,003; 9440683,394 ± 0,003) m e E_{14} (744207,720 ± 0,004; 9440692,827 ± 0,004) m, sendo desconsiderada a influência do desvio da vertical no ambiente de trabalho, Figura 1.

Figura 1 – Distribuição dos vértices na poligonal fechada.



As observações planas (direção angular e distância) foram realizadas em posição direta e inversa por Estação Total, Ruide RTS-822R3, de precisão angular (2") e linear (2 mm + 2 ppm). Isso possibilitou a determinação de 08 (oito) ângulos (sete internos e um externo) e o comprimento de 07 (sete) lados da poligonal, Tabela 1.

Tabela 1 – Observações compatibilizadas de campo

Ângulo horizontal horário		**Distância horizontal (m)**	
α_1	78° 51' 18"	d_1	76,416
α_2	119° 36' 14"	d_2	107,280
α_3	111° 30' 14"	d_3	133,438
α_4	179° 17' 10"	d_4	100,408
α_5	50° 29' 39"	d_5	113,121
α_6	128° 31' 41"	d_6	89,898
α_7	231° 43' 48"	d_7	96,971
α_8	27° 41' 56"	-	-

O uso da poligonação tem sido relevante em aplicações da Topografia convencional para Engenharia, com atuação significativa em várias áreas, como por exemplo, minas subterrâneas, mapeamentos e execução de projetos da construção civil (terraplenagem, locação de obras, monitoramento estrutural e levantamento "*as-built*"). A presença de erros retidos em medição justifica-se num etapa fundamental por métodos de ajustes da poligonal. Para o processamento da poligonal (Figura 1) foram empregados os seguintes procedimentos na distribuição de erros:

2.1 Cálculo de compensação dos erros

Em poligonais fechadas e apoiadas permite-se a verificação de medidas angulares e lineares levantadas no campo, uma vez que as condições de fechamento para esses tipos de poligonais são conhecidas.

2.1.1 Erro e compensação do erro de fechamento angular

Para um polígono geometricamente fechado e com medição de ângulos internos, o erro de fechamento angular é determinado pela Equação (1). Uma vez obtido o erro de fechamento angular compara-se com valores de tolerância preestabelecidos em normas técnicas específicas. Posteriormente, distribui-se o erro igualmente entre os ângulos calculados na correção angular nos vértices relativos à maior distância, isto é, corrige-se a partir de valores inteiros de sinal contrário ao sinal da Equação (2).

$$e_a = \sum \alpha_i - (n-2)\cdot 180^\circ \tag{1}$$

$$c_a = -\frac{e_a}{n} \tag{2}$$

Onde:

e_a: erro de fechamento angular; c_a: correção angular; $\sum \alpha_i$: somatório dos ângulos internos; e n: quantidade de vértices da poligonal.

2.1.2 Azimute do alinhamento

Os azimutes dos lados da poligonal são calculados a partir de um azimute conhecido. Para os ângulos medidos no sentido horário via alinhamento à ré, emprega-se a Equação (3). Caso o resultado dessa expressão apresente valor negativo, deve-se somar 360°; e se for maior que 360°, deve-se subtrair 360°.

$$Az_{i+1} = Az_i + \alpha_i + 180^\circ \tag{3}$$

Em que:

Az_{i+1}: azimute a ser calculado; Az_i: azimute conhecido; e α_i: ângulo interno da poligonal corrigido.

2.1.3 Projeções parciais

A partir de um sistema de referência plano de eixos, por exemplo, (X, Y), o cálculo das projeções parciais dá-se em função da distância horizontal (*d*) juntamente com o azimute (*Az*) do alinhamento entre cada estação (*ij*) no sentido horário de caminhamento da poligonal, conforme equações (4) e (5):

$$\Delta X_{ij} = d_{ij} \cdot senAz_{ij} \tag{4}$$

$$\Delta Y_{ij} = d_{ij} \cdot \cos Az_{ij} \tag{5}$$

Onde:

$\Delta X_{ij}, \Delta Y_{ij}$: projeções relativas aos eixos leste (*E*) e norte (*N*), respectivamente.

2.1.4 Erro e compensação do erro de fechamento linear

De forma teórica, as somas dos valores das projeções das distâncias (*d*) nos eixos (X,Y) deveriam ser iguais a zero. Porém erros cometidos em observações da poligonal no campo inviabilizam essa ideia. Na prática, haverá um erro de fechamento em X e em Y que permitem se determinados de acordo com as Equações (6) e (7):

$$e_X = \sum \Delta X_{ij} \tag{6}$$

$$e_Y = \sum \Delta Y_{ij} \tag{7}$$

Sendo:

e_X, e_y : erros de fechamento linear nos eixos (*X*) e (*Y*), respectivamente. Com isso, o erro de fechamento linear (e_L) fica determinado pela Equação (8):

$$e_L = \sqrt{e_X^2 + e_Y^2} \tag{8}$$

A precisão do erro de fechamento linear ou precisão relativa (P_r) pode ser expressa em escala, pela relação entre o erro linear(e_L) e o comprimento total dos lados da poligonal (Σd_{ij}), Equação (9):

$$P_r = \frac{e_L}{\sum d_{ij}} \tag{9}$$

Uma vez calculado o erro de fechamento linear (e_L), este deve ser comparado com os valores de tolerâncias preestabelecidas em normas técnicas, e em seguida compensado (distribuído) entre as distâncias medidas. Na literatura são encontrados vários métodos de compensação. Entre eles o mais empregado é o método de *Bowditch* (ou regra de *compass*), que possibilita distribui o erro de fechamento linear de forma proporcional em função da relação entre o comprimento do lado e o perímetro da poligonal, Equações (10) e (11) (SILVA; SAGATINE, 2015):

$$C_{LX_{ij}} = -\frac{e_X}{\sum d_{ij}} \cdot d_{ij} \tag{10}$$

$$C_{LY_{ij}} = -\frac{e_Y}{\sum d_{ij}} \cdot d_{ij} \tag{11}$$

No qual:

$C_{LX_{ij}}, C_{LY_{ij}}$: correções lineares da distância (d_{ij}) nas direções (*X*) e (*Y*), respectivamente; e_X, e_y : erros de fechamento linear nos eixos (*X*) e (*Y*), respectivamente; e $\sum d_{ij}$: perímetro da poligonal. As correções lineares $\left(C_{LX_{ij}}, C_{LY_{ij}}\right)$ são empregadas para a correção das projeções parciais, Equações (12) e (13):

$$C_{\Delta X_{ij}} = \Delta X_{ij} + C_{LX_{ij}} \tag{12}$$

$$C_{\Delta Y_{ij}} = \Delta Y_{ij} + C_{LY_{ij}} \tag{13}$$

Onde:

$C_{\Delta X_{ij}}, C_{\Delta X_{ij}}$: projeções parciais corrigidas relativas aos eixos leste (*E*) e norte (*N*), respectivamente.

2.1.5 Coordenadas finais

As coordenadas finais de cada ponto são calculadas a partir de um vértice de coordenadas conhecidas na poligonal, vinculadas a um sistema de referência (ou arbitrário) mais as projeções parciais corrigidas no sentido de caminhamento da poligonal, Equações (14) e (15):

$$X_i = X_{i-1} + C_{\Delta X_{ij}} \tag{14}$$

$$Y_i = Y_{i-1} + C_{\Delta Y_{ij}} \tag{15}$$

Em que:

X_i, Y_i : coordenadas finais; X_{i-1}, Y_{i-1} : coordenadas conhecidas; e $C_{\Delta X_{ij}}, C_{\Delta X_{ij}}$: projeções parciais corrigidas, ambas relativas aos eixos leste (*E*) e norte (*N*), respectivamente.

2.2 Método paramétrico de ajustamento de observações

Neste método o modelo matemático de ajustamento das observações ajustadas (L_a) é função (linear ou não linear) dos parâmetros ajustados (X_a) (GEMAEL, 1994), Equação (16):

$$L_a = F(X_a) \tag{16}$$

Considerando L_a igual ao vetor das observações (L_b) mais o vetor dos resíduos (V); e X_a igual ao vetor dos valores aproximados (X_o) mais o vetor das correções aos parâmetros (X), a Equação (8) resulta, Equação (17):

$$L_b + V = F(X_o + X) \tag{17}$$

Como a maioria das operações de ajustamento envolve relações funcionais entre observáveis e parâmetros não lineares, emprega-se o desenvolvimento em série de Taylor na linearização do segundo membro da Equação (17), conforme Equação (18):

$$L_b + V = F(X_o + X) = F(X_o) + \left.\frac{\partial F}{\partial X_a}\right|_{X_a = X_o} \cdot X = L_o + AX \tag{18}$$

Onde:

L_o: vetor dos parâmetros aproximados; e A: matriz das derivadas parciais em relação as equações de observação de distâncias e ângulos, Equação (19) e Equação(20), respectivamente:

$$d = \sqrt{(x_r - x_i)^2 + (y_r - y_i)^2} \tag{19}$$

$$\alpha = arctg\left(\frac{x_v - x_i}{y_v - y_i}\right) - arctg\left(\frac{x_r - x_i}{y_r - y_i}\right) + Q \tag{20}$$

Sendo:

α: ângulo horizontal no sentido horário; d: distância horizontal; (x_i, y_i): coordenadas da estação do instrumento; (x_r, y_r): coordenadas da estação de ré; (x_v, y_v): coordenadas da estação de vante; e Q: constante que depende do quadrante onde ocorrem as estações de vante e de ré.

Fazendo $L = L_o - L_b$ na Equação 18 obtém-se o modelo matemático linearizado, Equação (21):

$$V = L + AX \tag{21}$$

No qual o vetor das correções aos parâmetros resulta, Equação (22):

$$X = -\left(A^T PA\right)^{-1} A^T PL \tag{22}$$

Sendo:
P: definida como a matriz dos pesos, Equação (23):

$$P = \sigma_o^2 \sum\nolimits_{L_b}^{-1} \tag{23}$$

Onde:
$\sum_{L_b}^{-1}$: matriz variância covariância das observações; e σ_o^2: variância de referência a priori.

No cálculo da poligonal fechada ao considerar vértice de coordenadas de imprecisões conhecidas, tem-se que tais coordenadas devem participar dos parâmetros, e no ajustamento introduzir injunções. O cálculo do ajustamento resulta (GEMAEL; MACHADO; WANDRESEN, 2015), Equação (24):

$$X = -\left[\left(A^T PA\right) + \left(C^T P_C C\right)\right]^{-1} \cdot \left[\left(A^T PL\right) + \left(C^T P_C E\right)\right] \tag{24}$$

Em que;
C: matriz das derivadas parciais das equações de injunções em relação aos parâmetros; P_C: matriz dos pesos das injunções; e E: definida como a matriz do erro de fechamento do modelo igual a diferença entre os valores calculado e observado.

A qualidade do ajustamento envolve estimativa do fator de variância a posteriori $\left(\hat{\sigma}_o^2\right)$ em comparativo com a variância de referência a priori $\left(\sigma_o^2\right)$, Equação (25):

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{V^T PV}{n-u} \tag{25}$$

Sendo:
n: número de equações de observação; u: número de parâmetros; e $n-u+k$: para o caso injuncionado, onde (k) representa o número de equações de injunção.

Essa comparação é feita por meio de teste estatístico de hipótese, baseado na distribuição de qui-quadrado $\left(\chi^2\right)$ para constatar se a discrepância é significativa a certo nível de confiança (α). Logo, testa-se a hipótese básica $\left(H_o : \sigma_o^2 = \hat{\sigma}_o^2\right)$ contra a hipótese alternativa $\left(H_1 : \sigma_o^2 \neq \hat{\sigma}_o^2\right)$. O valor calculado $\left(\chi^{*2} = \frac{\hat{\sigma}_o^2}{\sigma_o^2}(n-u)\right)$ é comparado com valores teóricos. Assim, a hipótese básica não é rejeitada se: $\chi^{*2} < \chi^2_{(n-u),1-\frac{a}{2}}$. Em seguida determina-se a Matriz Variância Covariância (MVC) dos parâmetros ajustados, Equação (26):

$$\Sigma_{X_a} = \hat{\sigma}_o^2 \left(A^T PA\right)^{-1} \tag{26}$$

Da obtenção da MVC, as incertezas posicionais das estações da poligonal podem ser expressas graficamente a partir da elipse dos erros. A interpretação probabilística da elipse dos erros (caso bidimensional) tem viés numa função de densidade de probabilidade (fdp) de uma variável aleatória bidimensional com distribuição normal de qui-quadrado com dois graus de liberdade. Em sua forma padrão há 39% de probabilidade de que a posição calculada esteja no interior ou sobre a superfície da elipse. A orientação (θ) da elipse do erro pode ser determinada (GEMAEL; MACHADO; WANDRESEN, 2015), Equação (27):

$$\theta = \frac{1}{2}\left[arctg\left(\frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2} \right) \right] \tag{27}$$

No cálculo acima deve-se proceder primeiramente a análise de quadrante do arco tangente em relação à covariância (σ_{xy}) e variâncias (σ_x^2, σ_y^2), para só em seguida realizar a divisão do valor encontrado por 2. Os semieixos maior (a) e menor (b) da elipse são obtidos pela Equação (28) e Equação (29), respectivamente:

$$a = \sqrt{\frac{1}{2}\left[\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \left(4\sigma_{xy}^2 + \left(\sigma_x^2 - \sigma_y^2\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} \right]} \tag{28}$$

$$b = \sqrt{\frac{1}{2}\left[\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \left(4\sigma_{xy}^2 + \left(\sigma_x^2 - \sigma_y^2\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} \right]} \tag{29}$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na poligonal levantada (Figura 1) foi encontrado erro de fechamento angular (e_a) igual a +4″; valor inferior à tolerância angular $\left(T_a = p\sqrt{n}\right)$ correspondente a ±5″ em função da precisão angular do equipamento $(p = \pm 2'')$ e do número de vértices da poligonal $(n = 7)$. A correção angular (c_a) de -1″ foi aplicada aos vértices de maior distância, isto é, na correção dos ângulos: $\overline{\alpha}_3$, $\overline{\alpha}_4$, $\overline{\alpha}_5$ e $\overline{\alpha}_6$. O azimute de partida da estação (E_{12}) para estação (VT_{11}), igual a 58º49′8″, foi obtido a partir das coordenadas SIRGAS2000 - UTM conhecidas dos vértices (E_{12}, E_{14}) e do ângulo externo (α_8), pela expressão: $Az_{E_{12}VT_{11}} = Az_{E_{12}E_{14}} - \alpha_8$. Os erros lineares nas projeções (ΔX) e (ΔY) foram 0,0004 m e -0,0081 m, respectivamente. O erro de fechamento linear (e_L) foi de 0,0082 m. Esse valor foi inferior à tolerância linear $\left(T_p = d\sqrt{L}\right)$ adotada pela NBR 13133 (1994) de classe IP da poligonal igual a 0,085 m em relação ao coeficiente de fechamento linear $\left(d = 0{,}1m \cdot km^{-1}\right)$ e da extensão da poligonal $(L = 0{,}717532.km)$. A precisão relativa (P_r) do levantamento foi de 1/88.000. Na Tabela 2 constam as coordenadas das estações obtidas pelo método de *Bowditch*.

Tabela 2 – Resultado do método de *Bowditch*

Estação	**Coordenadas SIRGAS2000 - UTM**	
	***E* (m)**	***N* (m)**
E12	744052,701	9440683,394
VT11	744118,078	9440722,959
M2	744115,125	9440830,199
E11	743989,675	9440875,678
VT1	743894,859	9440908,721
M1	743934,094	9440802,623
VT2	744019,478	9440774,495

O processo de ajustamento pelo método paramétrico envolveu o *software Adjust* 7.1 na investigação das coordenadas das estações da poligonal levantada (Figura 1). As coordenadas aproximadas dos vértices foram obtidas via transporte de coordenadas topográficas pelas expressões $\left(E = dsenAz; N = d\cos Az\right)$ via azimute de partida $\left(Az_{E_{12}VT_{11}}\right)$ a partir das coordenadas conhecidas da estação $\left(E_{12}\right)$. Essa estação foi empregada no ajustamento em duas situações:

- Estação $\left(E_{12}\right)$ absoluta (sem incerteza posicional): nessa situação foram consideradas 14 equações de observação (sete angulares e sete lineares), 12 parâmetros e 3 graus de liberdade. O processo convergiu com 2 iterações de resultado; Tabela 4:

Tabela 4 – Resultado do ajustamento.

Estação	**Coordenadas SIRGAS2000 - UTM**				**Elipse de probabilidade (95%)**		
	E (m)	σ_E (m)	N (m)	σ_N (m)	θ	a (m)	b (m)
E12	744052,701	0,003	9440683,394	0,003	-	-	-
VT11	744118,079	0,003	9440722,959	0,002	58,8°	0,013	0,003
M2	744115,126	0,003	9440830,201	0,003	172,4°	0,015	0,013
E11	743989,677	0,004	9440875,679	0,004	114,3°	0,012	0,016
VT1	743894,861	0,004	9440908,720	0,004	12,8°	0,019	0,019
M1	743934,094	0,003	9440802,623	0,004	137,6°	0,018	0,013
VT2	744019,478	0,002	9440774,494	0,003	159,6°	0,015	0,007

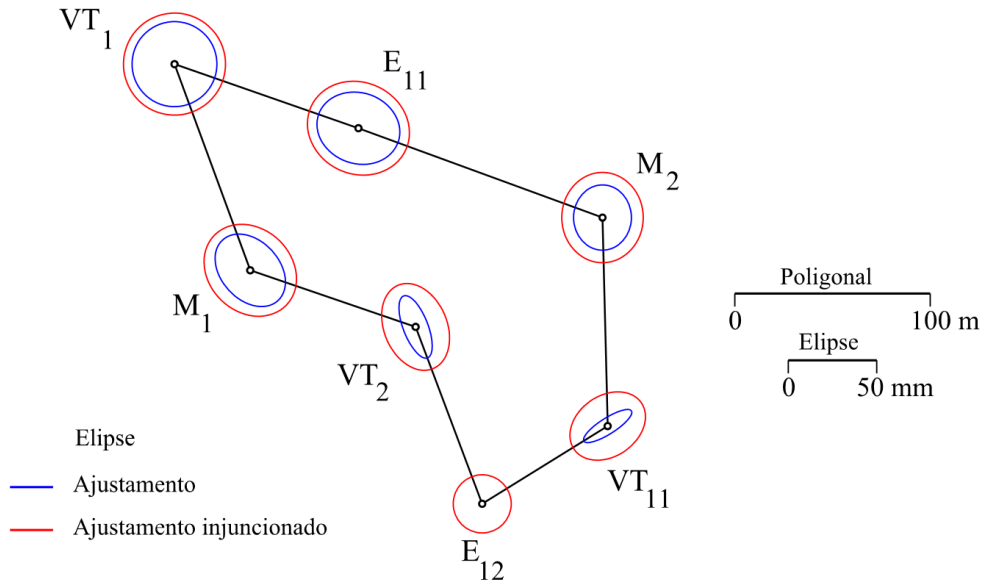
- Estação $\left(E_{12}\right)$ relativa (com incerteza posicional): ao considerar como injunção acrescenta-se mais três equações (duas de posição e uma de azimute), totalizando 17 equações de observação, 14 parâmetros e 3 graus de liberdade. Ao fim do processo de 2 iterações para convergência resultou, Tabela 5:

Tabela 5 – Resultado do ajustamento injuncionado.

Estação	**Coordenadas SIRGAS2000 - UTM**				**Elipse de probabilidade (95%)**		
	E (m)	σ_E (m)	N (m)	σ_N (m)	θ	a (m)	b (m)
E12	744052,701	0,003	9440683,394	0,003	45,0°	0,013	0,013
VT11	744118,079	0,004	9440722,959	0,003	58,8°	0,018	0,014
M2	744115,126	0,004	9440830,201	0,005	172,4°	0,020	0,019
E11	743989,677	0,005	9440875,679	0,005	114,3°	0,024	0,020
VT1	743894,861	0,005	9440908,720	0,005	12,8°	0,023	0,023
M1	743934,094	0,005	9440802,623	0,005	137,6°	0,022	0,019
VT2	744019,478	0,003	9440774,494	0,004	159,6°	0,020	0,014

Em ambos os ajustamentos o critério de convergência foi menor ou igual a 10^{-6} m para o vetor das correções $\left(X\right)$ aos parâmetros das coordenadas $\left(E, N\right)$ ajustadas (de valor igual). Foi adotado fator de variância a priori $\left(\sigma_o^2 = 1\right)$ e obtido estimativa de variância a posteriori $\left(\hat{\sigma}_o^2 = 0{,}70\right)$ não sendo rejeitada pelo teste estatístico de hipótese básica ao nível de significância $\left(\alpha = 5\%\right)$, ou seja: $\left(\chi^{*2} = 2{,}1\right) < \left(\chi^2_{3;0,975} = 9{,}35\right)$. A representação da incerteza posicional das estações é representada na Figura 3.

Figura 3 – Resultado da incerteza posicional dos ajustamentos via elipse de probabilidade (95%).



4 CONCLUSÕES

As coordenadas revelaram diferenças na ordem milimétrica obtidas da aplicação dos métodos de *Bowditch* e dos ajustamentos paramétrico, na compensação de erros (angular e linear) da poligonal fechada de estudo. Esse resultado comparativo se apresenta satisfatório na utilização do método de *Bowditch* para fins práticos, uma vez que pequenas discrepâncias não trazem prejuízo a sua aplicação. Porém, tal método é limitado para atividades que exigem avaliação completa em observáveis e parâmetros. Visto que não oportuniza estudos estatísticos e representação da incerteza posicional. Nesse sentido, pode ser útil a integração do método de *Bowditch* com a lei de propagação das covariâncias.

A partir do método paramétrico de ajustamento foram determinados: parâmetros, observações ajustadas e resíduos calculados; e, bem como, suas precisões. Essas informações foram usadas na investigação da qualidade posicional por meio de teste de hipótese (na detecção de erros grosseiros) e elipse de probabilidade (na representação geométrica posicional). A utilização de uma estação relativa (de incerteza posicional conhecida) no ajustamento injuncionado resultou na diminuição da precisão dos parâmetros ajustados, quando comparado ao ajustamento com estação absoluta (sem incerteza posicional). Essa situação se mostra coerente com a realidade, na qual são consideradas no modelo funcional não apenas as precisões das observações (distância e direção angular), mas, também a precisão das coordenadas do ponto de controle.

AGRADECIMENTOS

Os autores externam seus agradecimentos ao Departamento de Transportes (DT) do Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal do Piauí (UFPI) pelos equipamentos e acessórios envolvidos nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR. 13133. **Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 1994.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Editora da UFPR, 1994. 319p.

GEMAEL, C.; MACHADO, A. M. L.; WANDRESEN, R. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Editora da UFPR, 2015. 430p

SILVA, I; SEGANTINE, P. C. L. **Topografia para engenharia: teoria e prática de geomática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 412p

EVALUATION OF THE ULTRA-HIGH RESOLUTION GLOBAL GEOPOTENTIAL MODEL SGG-UGM-1 IN THE BRAZILIAN SOUTHERN REGION

EURICO NICACIO
REGIANE DALAZOANA
SILVIO ROGÉRIO CORREIA DE FREITAS

Universidade Federal do Paraná - UFPR
Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba, PR

euriconicaciojr@gmail.com, regiane@ufpr.br, sfreitas@ufpr.br

RESUMO – No presente trabalho apresentamos uma análise quantitativa da adequação do Modelo Global do Geopotencial (MGG) SGG-UGM-1 para modelagem de altitude normal-geoidal na região Sul do Brasil. Esta análise foi inferida de comparações entre valores de altitude normal-geoidal derivados de soluções GNSS/Nivelamento e valores provenientes dos modelos globais combinados EGM2008, EIGEN-6C4, GOCO05C, XGM2016 e SGG-UGM-1, segundo as funcionais do geopotencial que melhor representam a altitude normal-geoidal na região – altitude geoidal e anomalia de altitude – e em diferentes graus de desenvolvimento, sempre pelo método relativo. Este procedimento foi aplicado sobre 111 (cento e onze) estações da rede SAT-GPS do IBGE com conexão com a Rede Altimétrica Fundamental Brasileira, as quais são portadoras de informações de altitude elipsoidal e de altitude normal-ortométrica, ao longo de toda a já mencionada região. Como principal resultado, atesta-se o desempenho aquém do esperado para o MGG SGG-UGM-1 comparativamente com os demais modelos testados, principalmente quando comparado aos modelos XGM2016 e GOCO05C, cujos graus máximos de desenvolvimento (719/720 respectivamente) são sensivelmente inferiores ao do SGG-UGM-1 (2159). Justificam-se os resultados pela composição e pelo modo de desenvolvimento do modelo ora testado, reafirmando o posicionamento dos MGGs com melhor desempenho como expoentes de desenvolvimento de modelos combinados.

ABSTRACT – In the present paper we present a quantitative analysis of the adequacy of the Global Geopotential Model (GGM) SGG-UGM-1 for modeling the normal-geoidal height in the Southern region of Brazil. Such analysis was inferred from comparisons between normal-geoid height values derived from GNSS/Leveling solutions and values obtained from the combined global models EGM2008, EIGEN-6C4, GOCO05C, XGM2016 and SGG-UGM-1, according to the geopotential functionals that best represent the normal-geoid height at the region – geoid height and height anomaly – and in different development degrees, always through the relative method. This procedure was applied on 111 (one hundred and eleven) stations of IBGE's SAT-GPS network with connection to the Brazilian Altimetric Fundamental Network, which carry information of both ellipsoidal height and normal-orthometric height, throughout the whole already mentioned region. As a main result, the performance of SGG-UGM-1 was lower than the other models tested, especially when compared to the models XGM2016 and GOCO05C, which maximum degrees of development (respectively 719/720) are significantly lower than of SGG-UGM-1 (2159). These results are justified by the composition and mode of development of the model tested, reaffirming the positioning of GGMs with better performance as exponents of the development of combined models.

1 INTRODUCTION

The Earth's gravity field modeling has always been one of the main objectives of Geodesy. Since the 17th century, with the first Normal Earth model, scientists in this field have been searching ways to understand, model and represent gravity itself and other quantities which arise or depend on it. Furthermore, according to a general point of view and concerning important milestones in the evolution of these studies, the differentiated manner in which scientists have come to observe and analyze data from the aforementioned gravity field over the last few years must be mentioned. In particular, the popularization of space techniques has revolutionized the activities that need positioning due to their speed and

precision in obtaining coordinates. This fact prompted interest and needs for suitable and reliable global models to, for example, provide the determination of a more precise and accurate gravity field equipotential surface for mapping and engineering applications. In addition, new techniques for obtaining gravity field information from satellite missions were developed, popularizing the knowledge and use of Global Geopotential Models (GGMs).

In a brief approach, GGMs consist of sets of numeric values for some parameters, the error statistics associated and a collection of mathematical expressions, numeric values and particular algorithms, as well as the providential application of these data when developing the geopotential in spherical harmonics, as shown in Eq. 1 (BARTHELMES and KÖHLER, 2016).

$$W(r,\varphi,\lambda) = \frac{GM}{r}\left[1 + \sum_{n=2}^{\infty}\sum_{m=0}^{n}\left(\frac{a}{r}\right)^{n}\left(C_{nm}cos(m\lambda) + S_{nm}sin(m\lambda)\right)P_{nm}\left(sin(\varphi)\right)\right] + \frac{1}{3}\omega^2 r^2\left[1 - P_{20}\left(sin(\varphi)\right)\right] \quad (1)$$

In such equation, a is the major semi-axis of the level ellipsoid associated to the model, ω is the conventional Earth's rotation speed, C_{nm} and S_{nm} are the Stokes series development harmonic coefficients, GM is the conventional geocentric gravitational constant associated to the model, (r, φ, λ) are the geocentric coordinates, as follows: r is the distance of the calculation point to the center of the adopted model, φ is the calculation point geodetic latitude and λ is the calculation point geodetic longitude, and P_{nm} are the associated Legendre functions with n degree and m order.

Still according to the up-mentioned reference, a GGM must be able to support such calculation in any arbitrary points, located over or above the terrestrial surface, characterizing though its globality. These aspects, joined to internal information consistence and coherent physical modeling, provide accuracy and reliability of the results.

However, such context considered, different GGMs have been developed through the last five decades, each one with data sources and sets coherent to the purpose for which it is intended. Nowadays, due to the complexity for obtaining and maintaining these models, as well as the need to control and standardize all related variables, their management is performed globally by ICGEM - International Centre for Global Earth Models. Its database sums 168 static models, from which we highlight in this paper the combined models, which gather gravity information upcoming from satellite orbit observations, terrestrial gravimetry and altimetry (both digital elevation model data, for land and coastal regions, and satellite altimetry, for oceans) in order to solve the geopotential modeling (SEEBER, 2003). This database is provided freely to community in general, by means of a geopotential functionals calculation service or by means of spherical harmonics expansion coefficients for each one – that is, the already mentioned set of Stokes harmonic coefficients C_{nm} and S_{nm} presented in Equation 1. The formulation for calculating geopotential functionals from these coefficients is also well known in the knowledge field and it is not a target of this paper; however, one may find further information on this behalf through references as Hoffman-Wellenhof and Moritz (2006), Barthelmes (2013) and Nicacio (2017).

In this context, the present paper intends to evaluate the adequacy of GGM SGG-UGM-1, an expected exponent in the GGMs development history, confronting its solutions with the main currently existing and well-stablished combined GGMs – i.e., GGMs XGM2016, GOCO05C, EIGEN-6C4 and EGM2008 – according to different geopotential functionals and in different degrees of development. This evaluation is based on comparisons of their solutions with those obtained from GNSS and levelling techniques throughout the study area according to a relative approach.

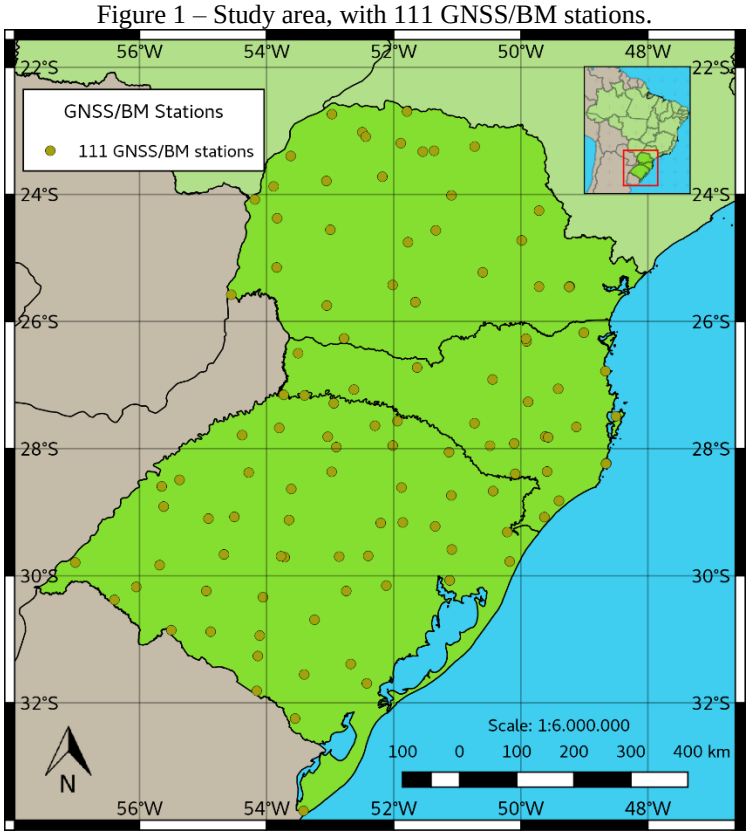
2 METHODS

2.1 Terrestrial Data

In order to perform the quantitative evaluation proposed, terrestrial data were selected according to the information needed to perform comparisons with GNSS/leveling solutions, which are ellipsoidal heights (h) and normal-orthometric heights (H^{NOrt}). The first ones can be related to previously observed points with GPS/GNSS techniques and concern to the Brazilian SAT-GPS Network, and the last ones are the used approach for obtaining heights with approximate physical meaning, produced by applying normal gravity field corrections (δH^{NOrt}) to leveled heights (LUZ, 2008). In this study, they concern to the normal-orthometric heights of Brazilian Vertical Reference Network (BVRN), realization 2011. Both of these networks are provided and maintained by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) and are freely accessible to the community. For further information on them, refer to Luz (2008), IBGE (2011), IBGE (2017) and Nicacio (2017).

So, benchmarks from BVRN with connection to the SAT-GPS Network were selected, since they gather the needed information, as explained on section 2.3 of the present paper, in a specially chosen study area: Brazilian Southern region, where main Brazilian Vertical Datum rests (in Imbituba-SC) and, for this reason, there is a constant need for fully understanding GGMs behavior on its surroundings. So, a number of 111 stations distributed all along Brazilian Southern region was selected, as presented in Figure 1, being henceforth named GNSS/BM stations. Despite their non-uniform distribution through the surface, it was considered that such characteristic is acceptable for a primary view of the proposed evaluation.

Figure 1 – Study area, with 111 GNSS/BM stations.



2.2 Global Geopotential Models

As stated in the Introduction, the use of combined GGMs was adopted, since they gather information from different sources in order to solve the geopotential modeling. In this context, the first model based not only in the solutions of estimates of a gravity anomaly set which came from satellite orbit observations, but also using gravimetric, topographic and satellite altimetry information was EGM2008 (PAVLIS et al., 2012).

However, since its deployment, different techniques and processing approaches have been developed and applied in benefit of a better comprehension and information extraction of the gravity field from suited sources. For brevity reasons, the present paper omits concept analysis on combined GGMs evolution through last decades, which can be consulted as a compilation in Nicacio and Dalazoana (2017c), or individually in the references Pavlis et al. (2012), Förste et al. (2014), Fecher et al. (2017), Pail et al. (2018) and Liang et al. (2018). From the analysis presented by these authors, the global geopotential model SGG-UGM-1 was selected for the present evaluation, under confrontation with the already stablished models EGM2008, EIGEN-6C4, GOCO05C and XGM2016.

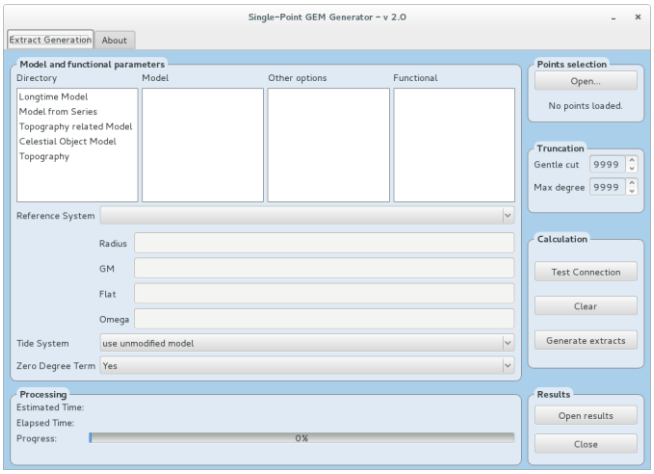
The primal GGM taken under evaluation and the main focus of this research, SGG-UGM-1, is expected to represent a milestone in the history of combined GGMs development, since it is the first one developable up to high degree and order (2159), configuring its “ultra-high resolution” characteristics, as stated by Liang et al. (2018). However, its development methodology with gravimetric data strongly based on EGM2008 (cf. Figures 3 and 4 from Liang et al. (2018)) and a lack of adoption of modern techniques for integrating and weighting gravimetric data locally for providing better solutions encouraged our present evaluation.

The next two GGMs taken under confrontation, i.e. EGM2008 and EIGEN-6C4, are considered well established combined GGMs, as well as their positive results for modeling geopotential functionals - such as geoid heights, height anomalies, and others - are already wide spread in the geodetic community. The last two combined GGMs tested, GOCO05C and XGM2016, are new GGMs that, in spite of their medium classed resolution and maximum developable degrees and orders – respectively 719/719 and 720/720 – have been developed since mid-2016 and they integrate gravimetric data from different sources, by weighting the best individual solutions and by applying them regionally, among other major advances. Thus, they present themselves as milestones in the history of GGMs development (FECHER et al., 2017; PAIL et al., 2018).

The acquirement of GGMs extracts was performed pointwisely, in each of the 111 GNSS/BM stations, in order to preserve the characteristics and precision of each model. This procedure was applied in order to avoid further precision

losses with the application of any interpolation methods (NICACIO and DALAZOANA, 2017a). For such task, it was used the standalone application SPGG v2.0 (NICACIO, 2016), which provide pointwise extracts of GGMs according to defining characteristics inserted by the user, and through direct interaction with ICGEM web service. A visualization of its interface is prompted in Figure 2.

Figure 2 – Standalone application SPGG v2.0, employed to obtain GGM data.



Yet, Table 1 presents a list of models and development degrees of the extracts employed in this paper, obtained with the up-mentioned application. The geopotential functionals used are discussed in the following item. The specific choice for the development degrees used (2190, 2159 and 720/719), as well as the theoretical equality for comparison reasons between extracts developed up to degrees 719 and 720, as well as the obtention of EGM2008 and EIGEN-6C4 extracts developed only up to degrees 2190 and 720, is based on successful previous work performed in similar regions and with similar purposes (NICACIO, 2017; NICACIO and DALAZOANA, 2017b; NICACIO et al., 2018).

Table 1 – GGM extracts obtained for the research.

GGM	**Development degrees**			**Functionals**
SGG-UGM-1		2159	720	Geoid (N) and Height anomaly (ζ)
XGM2016	-	-	719	
GOCO05C	-	-	720	
EIGEN-6C4	2190	-	720	
EGM2008	2190	-	720	

2.3 Normal-geoid heights modeling

Normal-geoid heights modeling through GNSS/leveling solutions as presented in this paper considers the fact that, in Brazil, the heights provided by BVRN are, as already discussed, normal-orthometric. That means they are produced by applying normal gravity field corrections (δH^{NOrt}) to leveled heights (LUZ, 2008). This kind of correction concerns only to the theoretical corrections of the non-parallelism of the normal gravity field.

In this sense, Ferreira et al. (2013) discuss the fact that, since normal-orthometric heights behavior do not present a complete physical meaning, they are not referred or related to any classical reference surface, such as the geoid or the quasi-geoid. Thus, a regular mathematical equation that relates ellipsoidal heights (h) and orthometric heights (H^{Ort}), for example, by means of geoid heights N ($h \cong H^{Ort} + N$) may not be freely used as if BVRN benchmarks heights were, in fact, orthometric heights.

Consequently, the up-mentioned reference, as well as Nicacio (2017), Nicacio and Dalazoana (2017b) and Nicacio et al. (2018), describe the dependency of ellipsoidal heights (h) and normal-orthometric heights (H^{NOrt}) to the models of Equation 2, in which η is by them named normal-geoid heights, as an analogy to normal-orthometric heights, and figuring as the naming used in this paper.

$$\eta \cong h - H^{NOrt} \tag{2}$$

Since normal-geoid heights are not geopotential functionals, they may, still, be better modelled by geoid heights N themselves or by height anomalies ζ, depending on the study area. Ferreira et al. (2011), for instance, verified that, once taken different approximations to the separation between geoid and quasi-geoid, normal-geoid heights are slightly better modelled by height anomalies than by geoid heights in a study conducted in Brazilian Southern region. Furthermore, Nicacio et al. (2018) indicated that there is not a standard behavior of this variable in dependency of the functionals considering the whole Brazilian territory.

However, in order to mitigate additive errors inherent to the processing approach and to the obtention method of the GGMs, Featherstone (2001) and Nicacio (2017) propose the use of the relative method instead of the absolute one described in Equation 2, which is based, in the context of this research, on the use of an origin point P_0 as a reference, with known normal-orthometric height H_0^{NOrt}, ellipsoidal height h_0 and normal-geoid height η_0, and through the mathematical approach presented in Equation 3. The described formulation has already proved being more efficient when handling with GGMs in previous studies conducted by the cited authors.

$$\begin{cases} H_0^{Nort} = h_0 - \eta_0^{model} = h_0 - \eta_0^{real} + \varepsilon \\ H_P^{Nort} = h_P - \eta_P^{model} = h_P - \eta_P^{real} + \varepsilon \end{cases} \Rightarrow \eta_P = H_0^{Nort} - H_P^{Nort} - h_0 + h_P + \eta_0 \quad (3)$$

As reinforced in SIRGAS (2016), this is the most advisable alternative these days, specially under the aspect of vertical reference systems consecution, in the form of Equation 4. According to this reference, modern geodetic techniques, mainly those based on satellite positioning and navigation, present higher accuracy requirements than those provided by traditional absolute approach described in Equation 2. Therefore, the use of the relative method to correlate ellipsoidal and normal-orthometric heights with normal-geoid height was adopted in the present paper in the form:

$$\eta_P = H_0^{Nort} - H_P^{Nort} - h_0 + h_P + \eta_0 \Rightarrow \Delta\eta = \Delta h - \Delta H^{NOrt} \quad (4)$$

Still, since the employed data are acquired according to different permanent tide systems, it was necessary to perform their compatibilization in such aspect for the purpose of manipulating and integrating them (EKMAN, 1989; MÄKINEN and IHDE, 2006; TENZER et al., 2011). In this way, all variables were compatibilized to the zero-tide system for calculations and to mean-tide system for results presentation using mathematical formulation indicated by the last reference and rewritten in Equation 5. In such equation, $k = 0.3$ and $h = 0.6$ are the conventional Love numbers related to tide loading, and ϕ is the geocentric latitude of the calculation point.

$$h_{zero-tide} = h_{tide-free} - (k-h)\left[-0.198 \cdot \left(\frac{3}{2} sin^2\phi - \frac{1}{2}\right)\right] \quad (5)$$

In spite of the fact that the original formulation proposed by Tenzer et al. (2011) only contemplates permanent tide systems conversion of ellipsoidal heights, Nicacio (2017) accomplished that those expressions are extensible for any metric values considered in equations 2 and 3 – i.e., they can be applied to ellipsoidal heights, normal-orthometric heights and, in this case, normal-geoid heights.

2.4 Comparison and evaluation criteria

The criteria employed to choose which model best suits for modelling the normal-geoid height, in a given calculation point P, took into consideration the methodology presented in Equation 6. In such equation, it must occur the minimization of a factor named θ_P, which is equal to the module of the difference between the reference normal-geoid height module η_P^{ref}, obtained by means of Equation 3, and the calculated normal-geoid height module η_P^{calc}, calculated directly from the GGMs.

$$\begin{cases} [\eta_P]_{EGM2008} \\ [\eta_P]_{EIGEN-6c4} \\ [\eta_P]_{GOCO05c} \\ [\eta_P]_{XGM2016} \\ [\eta_P]_{SGG-UGM-1} \end{cases} \Rightarrow \theta_P = \min \left| |\eta_P^{ref}| - |\eta_P^{calc}| \right| \quad (6)$$

With respect to the standard adopted for point P_0, its choice was determined according to the one that, for the whole set of n points, was able to minimize the factor θ_m, as regulated by Equation 7 and after considering Equation 6.

$$P_0 \Rightarrow \min \theta_m \text{ , where } \theta_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \theta_i \quad (7)$$

The modeling and analysis in different degrees of development and according to different geopotential functionals to represent normal-geoid heights was carried out similarly to Equation 6. This is indirectly represented in the applicable

results, and its details are omitted from the present study, but they can be verified in Nicacio (2017) and Nicacio and Dalazoana (2017b).

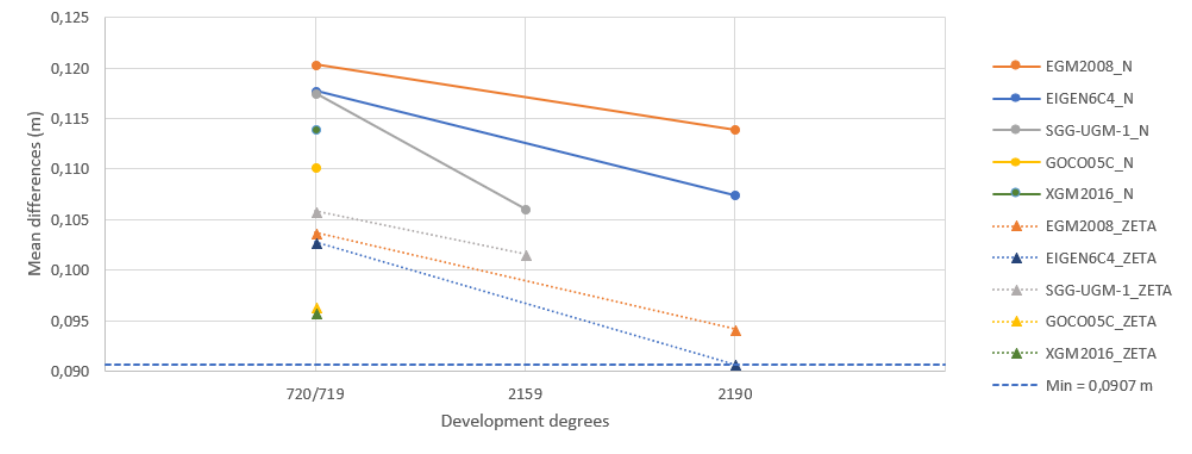
3 RESULTS AND DISCUSSIONS

In a wide sense, Table 2 and Figure 3 present the statistics of the differences between GNSS/levelling and GGMs solutions. In Figure 3, inserted here to enable better visual comprehension of Table 2, the mean differences are plotted according to the configuration used to perform GGMs acquisition, as follows: continuous lines and round point markers represent normal-geoid heights modeled by geoid functional; dotted lines and triangle point markers represent normal-geoid heights modelled by height anomaly functional; the color code for each GGM is: EGM2008 as orange, EIGEN6C4 as blue, SGG-UGM-1 as gray, GOCO05C as dark yellow and XGM2016 as green; as a final remark, its horizontal axis is not in scale. Yet, in Table 2 the optimal mean values for each GGM are highlighted in bold.

Table 2 – Mean differences statistics according to different degrees and geopotential functionals.

GGM	Degree	Functional	Max (m)	Mean (m)	Min (m)	RMS
EGM2008	2190	N	0.6434	0.1139	0.0020	0.1036
		ζ	0.6388	**0.0942**	0.0020	0.1018
	720	N	0.6497	0.1203	0.0005	0.1083
		ζ	0.6413	0.1037	0.0001	0.1017
EIGEN-6C4	2190	N	0.6113	0.1074	0.0010	0.0950
		ζ	0.6004	**0.0907**	0.0003	0.0910
	720	N	0.6300	0.1178	0.0007	0.0955
		ζ	0.6099	0.1028	0.0023	0.0894
SGG-UGM-1	2159	N	0.5971	0.1061	0.0024	0.0970
		ζ	0.7945	**0.1016**	0.0052	0.1131
	720	N	0.6085	0.1175	0.0018	0.0994
		ζ	0.6139	0.1059	0.0099	0.0946
GOCO05C	720	N	0.6346	0.1101	0.0007	0.1044
		ζ	0.6136	**0.0964**	0.0018	0.0974
XGM2016	719	N	0.6369	0.1139	0.0014	0.0987
		ζ	0.6167	**0.0958**	0.0012	0.0936

Figure 3 - Mean differences plot between GNSS/levelling and GGMs solutions along Brazilian Southern region.



First of all, attempting to the results presented in Table 2, it is possible to verify a better performance of height anomalies, associated to normal heights, than the geoid heights, associated to orthometric heights, in order to model normal-geoid heights on the study area. This result agrees with previous studies performed in the area by already named authors and is a validation point for the evaluation held.

Next, it is remarkable noticing through both Table 2 and Figure 3 the performance below expectations for GGM SGG-UGM-1 when compared to all the other models: its mean differences statistics are worse than those associated to

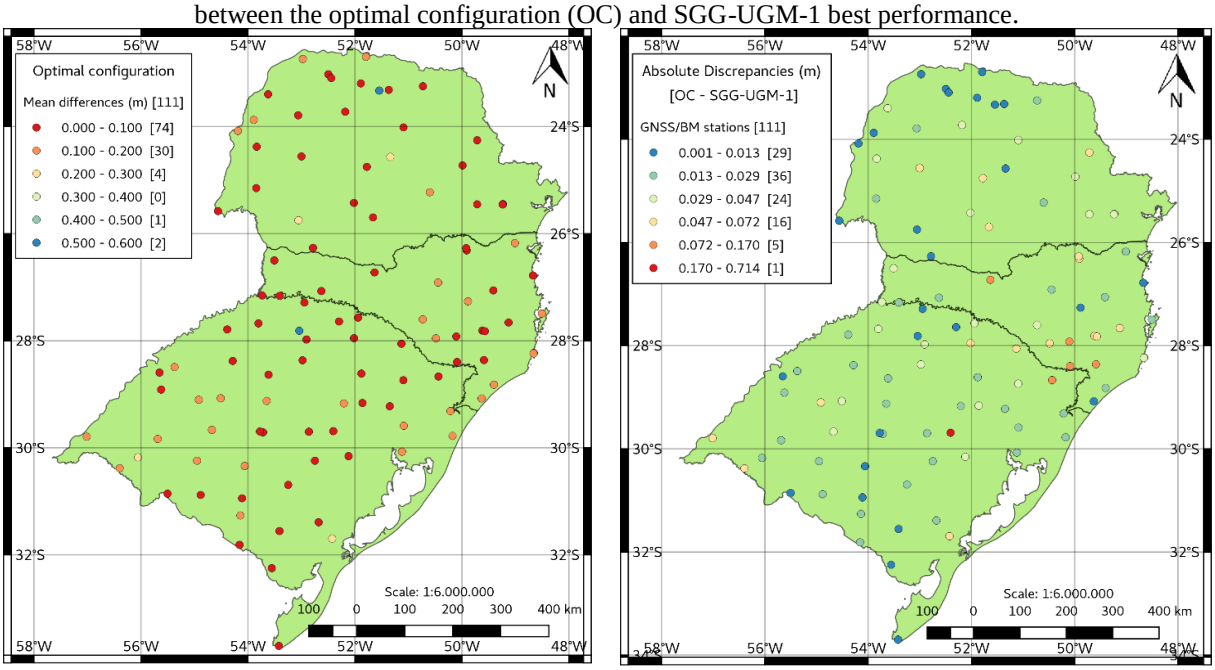
XGM2016 and GOCO05C, for example, even with a great disparity of maximum degrees of development employed. This fact ratifies the importance of the already mentioned integration and weighting techniques used in their development as an outstanding advantage point for them (NICACIO et al., 2018).

Furthermore, observing the results of each model for height anomaly functional, it is possible to verify that SGG-UGM-1 has higher mean differences results even than EGM2008, the MGG which core was fully considered during its development. In some way, the methodology employed on its development worsened the original EGM2008 solutions in the studied region, making the newer GGM less adequate for modeling the proposed variable through this geopotential functional in the study area. Further details in this sense may up-come from future work.

Finally, it is possible to observe in Figure 3 a blue horizontal dashed line, corresponding to the minimum value of the mean differences calculated with a GGM configuration. By reading the plot legend and confronting it with Table 3, one may notice that the minimum value ($[\theta_m]_{min} = 0.0907\ m = 9.07\ cm$) is achieved with GGM EIGEN-6C4, developed up to degree 2190 and through height anomaly function. Henceforth, this is called the optimal configuration (OC), since it minimizes the mean discrepancies for the whole set of points.

That considered, Figure 4 shows two maps for analysis of results upcoming from GGMs: on the left, pointwise discrepancies achieved by using the already described optimal configuration; on the right, the pointwise differences between the results provided by this optimal configuration and the best results provided by GGM SGG-UGM-1, i.e. GGM SGG-UGM-1 developed up to degree 2159 and through height anomaly functional (see Table 2 and Figure 3). An analysis of this figure enables to identify possible misleading reference values in some stations in the left map (for example, stations which mean differences are of the order of 50 cm even when using the OC, cf. Nicacio (2017)) and the magnitude of the difference between solutions provided by the OC and by the best performance of SGG-UGM-1 in the right map.

Figure 4 – Pointwise results for the study area; left: according to the optimal configuration (OC); right: discrepancies between the optimal configuration (OC) and SGG-UGM-1 best performance.



One should observe that, in some cases shown in Table 2, there are configurations through which it is obtained mean discrepancies higher than the configuration RMS. This is because, as shown in Figure 4-left, there are major outliers in the comparison – GNSS/BM stations with over $0.400\ m = 40\ cm$ of difference from the reference values. Once they are removed, this unexpected behavior disappears.

One last observation must be made, specially concerning the final differences of the mean results provided by each GGM. Considering the normal-geoid height modeling through height anomalies, as well as all the development degrees tested, the mean results differ from each other approximately by $0.015\ m = 1.5\ cm$. This range of variation is not significant considering the mean accuracy of the terrestrial input data used in the modeling – e.g., mean accuracy for normal-orthometric heights in the 111 GNSS/BM stations is approximately equal to $0.057\ m = 5.7\ cm$, and mean accuracy for ellipsoidal heights in these stations is approximately equal to $0.023\ m = 2.3\ cm$.

Thus, through practical purposes, it is plausible consider all the best performances for all the tested GGMs approximately equivalent, since the quality (i.e., the accuracy) of the test input data imposes limitations for more accurate

determinations due to its own uncertainties. However, this assumption may not be taken as an absolute truth; for example, for the map on the right of Figure 4, despite of a visually well-behaved disparity between the considered solutions, the mean absolute discrepancy calculated when comparing the OC and SGG-UGM-1 best performance is equal to $0.037\ m = 3.7\ cm$, which is in fact a relevant difference to consider.

4 CONCLUSIONS AND OUTLOOK

It was performed an evaluation of GGM SGG-UGM-1, and its comparison with other reputed combined Global Geopotential Models: EGM2008, EIGEN-6C4, GOCO05C and XGM2016. This comparative evaluation was based on GNSS/leveling solutions taken over 111 GNSS/BM stations all along Brazilian Southern region, according to a relative approach and using pointwise extracts of the cited GGMs developed up to different degrees and under different geopotential functionals. The main reason for performing such evaluation was the great expectation that the geodesy community had on the development and availability of the "ultra-high resolution" (LIANG et al., 2018) global geopotential model SGG-UGM-1 – the first one developable up to degree 2159 since EIGEN-6C4 (FÖRSTE et al., 2014) and EGM2008 (PAVLIS et al., 2012).

As a main result, it was confirmed that the model with such great expectations performs poorly than expected in the studied area. These results happened when it was compared to "medium resolution" GGMs such as GOCO05C and XGM2016, which have a singular technique for integrating and weighting gravity data for achieving better local solutions that give them wide advantage in the quality of solutions though maximum developable degrees disparity, and even when it was compared to other GGMs with equivalent resolution such as EIGEN-6C4 and EGM2008 itself, being this last one a strong data source for SGG-UGM-1 development (LIANG et al., 2018). The reasons for such negative performance may be related to its development procedure and should be investigated in futures works.

Still concerning to the referred paper, one comment should be made on its item 4.2 and on its Table 2. It seems to happen a misleading nomenclature confusion when the authors describe GPS/leveling validation in "America", although it was performed on a set of 6169 GPS/leveling points distributed along the United States territory. Such information, for first look readers, may cause a misled inference about SGG-UGM-1 performance – in the United States area tested by those authors, SGG-UGM-1 imposes significant advantage on both EGM2008 and EIGEN-6C4; that fact does not happen in the area tested in the present paper, even though it belongs to South American territory.

Nevertheless, going further on the main purposes of this article: the achieved results on the studied area deny the aspired exponent status of GGM SGG-UGM-1, rekindling the debate on which is the most relevant approach nowadays for significant advances on gravity field modeling: looking for "ultra-high resolution" GGMs strongly dependent on previous GGMs with known deficiencies and without modern techniques that could enhance their results locally, or investing on better methods for combining, integrating and weighting gravity data on a shorter span of wavelength spectrum, but with relevant results up to now.

REFERENCES

BARTHELMES, F. Definition of Functionals of the Geopotential and Their Calculation from Spherical Harmonic Models. **Scientific Technical Report STR09/02**. Helmholtz-Zentrum Potsdam, GFZ Germanz Research Centre for Geosciences. 2013.

BARTHELMES, F. and KÖHLER, W. International Centre for Global Earth Models (ICGEM). In: DREWES, H., KUGLITSCH, F., ADÁM, J. et al. (Ed.), The Geodesists Handbook 2016. **Journal of Geodesy**, V. 90, n. 10, p. 907-1205, 2016. DOI:10.1007/s00190-016-0948-z.

EKMAN, M. Impacts of Geodynamic Phenomena on Systems for Height and Gravity. **Bulletin Géodésique**, V. 63, p. 281-296, 1989.

FEATHERSTONE, W. E. Absolute and relative testing of gravimetric geoid models using Global Positioning System and orthometric height data. **Computers and Geosciences**, V. 27, n. 7, p. 807-814, 2001.

FECHER, T.; PAIL, R.; GRUBER, T. GOCO05c: A New Combined Gravity Field Model Based on Full Normal Equations and Regionally Varying Weighting. **Surveys in Geophysics**, V. 38, n. 3, 2017. DOI: 10.1007/s10712-016-9406-y.

FERREIRA, V. G.; DE FREITAS, S. R. C.; HECK, B. 2011, A separação entre o geoide e o quase-geiode: uma análise no contexto brasileiro. **Revista Brasileira de Cartografia**, V. 63, p. 39-50, 2011.

FERREIRA, V. G.; ZHANG, Y.; DE FREITAS, S. R. C. Validation of GOCE gravity field models using GPS-leveling data and EGM08: a case study in Brazil. **Journal of Geodetic Science**, V. 3, n. 3, 2013. DOI: 10.2478/jogs-2013-0027.

FÖRSTE, C.; BRUINSMA, S. L.; ABRIKOSOV, O.; LEMOINE, J-M.; MARTY, J. C.; FLESCHTNER, F.; BALMINO, G.; BARTHELMES, F.; BIANCARLE, R. EIGEN-6C4 – The latest combined global gravity field model including GOCE data up to degree and order 2190 of GFZ Potsdam and GRGS Toulouse. **GFZ Data Services**, 2014. DOI: 10.5880/icgem.2015.1.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; MORITZ, H. **Physical Geodesy**. New York: Springer Wien, 2006.

IBGE. **Ajustamento Simultâneo da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 60p.

IBGE. **Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos associados ao Sistema Geodésico Brasileiro**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 62p.

LIANG W.; XU X.; LI J. The Determination of an Ultra-high Gravity Field Model SGG-UGM-1 by Combining EGM2008 Gravity Anomaly and GOCE Observation Data. **Acta Geodaetica et Cartographica Sinica**, V. 47, n. 4, p.425-434, 2018. DOI: 10.11947/j.AGCS.2018.20170269.

LUZ, R. T. **Estratégias para modernização da componente vertical do Sistema Geodésico Brasileiro e sua integração ao SIRGAS**. 2008. 205p. PhD Thesis – Universidade Federal do Paraná, Brazil.

MÄKINEN, J.; IHDE, J. The permanent tide in height systems. In: **Proceedings of the IAG/FIG Symposium "Geodetic Reference Frames" GRF2006**, Germany, 2006.

NICACIO, E. **SPGG – Single Point GEM Generator – v2.0**. Avaliable in: < https://euriconicacio.github.io/spgg>. 2016.

NICACIO, E. L. **Alternativa para determinação de altitudes normais-ortométricas na Amazônia Legal Brasileira**. 2017. 223p. MSc Dissertation – Universidade Federal do Paraná, Brazil.

NICACIO, E.; DALAZOANA, R. Análisis de extractos de Modelos Globales del Geopotencial generados punto a punto a partir de una aplicación standalone. **Revista Geociencias & Geodatos**, V. 8, n. 1, 2017a.

NICACIO, E.; DALAZOANA, R. Comparação entre abordagens absoluta e relativa em determinações altimétricas baseadas em observações GNSS e modelos globais do geopotencial. **Revista Brasileira de Cartografia**, 2017b (in press).

NICACIO, E. L., DALAZOANA, R. Passado e Presente dos Modelos Globais do Geopotencial: Uma Abordagem Conceitual Sobre sua Evolução. **Revista Eletrônica Multidisciplinar FACEAR**. Curitiba, V. 2, n. 6, p. 1-15. 2017c.

NICACIO, E.; DALAZOANA, R.; DE FREITAS, S. R. C. Evaluation of recent combined global geopotential models in Brazil. **Journal of Geodetic Science**, V. 8, n. 1, p. 72-82, 2018. DOI: 10.1515/jogs-2018-0008.

PAIL, R.; FECHER, T.; BARNES, D.; FACTOR, J.F.; HOLMES, S. A.; GRUBER, T.; ZINGERLE, P. Short note: the experimental geopotential model XGM2016. **Journal of Geodesy**, V. 92, n. 4, p. 443-451, 2018. DOI: 10.1007/s00190-017-1070-6.

PAVLIS, N. K.; HOLMES, A. H.; KENYON, S. C.; FACTOR, J. K. The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008). **Journal of Geophysics Research**, V. 117, n. B04406, p. 1-38, 2012. DOI: 10.1029/2011JB008916.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. Walter de Gruyter, Berlin-New York, 2003.

SIRGAS. **Report on the SIRGAS Working Group III "Vertical Datum" Workshop**, 2016. Available in: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol21/Report_SIRGAS_Workshop_2016_IAG_Newsletter.pdf>. Access: June 2nd, 2017.

TENZER, R.; VATRT, V.; ABDALLA, A.; DAYOUB, N. Assessment of the LVD offsets for the normal-orthometric heights and different permanent tide systems — a case study of New Zealand. **Applied Geomatics**, V. 3, n. 1, p. 1-8, 2011. DOI: 10.1007/s12518-010-0038-5.

GEODÉSA APLICADA PARA O ESTUDO DE VERTICALIDADE EM TORRES EÓLICAS ONSHORE

LUIZ FILIPE CAMPOS DO CANTO
ANDRÉA DE SEIXAS

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação
luizfilipecc@gmail.com, adeseixas@ufpe.br

RESUMO - A sociedade contemporânea é plenamente dependente da energia para suas atividades essenciais. Os países dispõem de fontes energéticas específicas de acordo com seus recursos energéticos. A frequente busca mundial por sustentabilidade fez da energia eólica uma ferramenta de fonte limpa importante no cenário global. O Brasil se destaca no *ranking* do cenário internacional de capacidade instalada após cerca de uma década do aparecimento mais abundante da fonte eólica no país. Devido o rápido crescimento de torres eólicas instaladas, verifica-se a necessidade de aplicar metodologias para o monitoramento da verticalização e estabilidade das torres, por meio de métodos geodésicos e/ou topográficos, a fim de detectar ao longo do tempo, a estabilidade e/ou variações indesejáveis de coordenadas de pontos-objeto pré-definidos, garantindo um controle posicional das componentes das torres eólicas com base em tolerâncias especificadas nas normas de levantamentos e de instrumentação geodésica. Pretende-se neste trabalho aplicar os métodos geodésicos para o monitoramento da verticalidade de torres eólicas, fundamentando e demonstrando a implantação de uma rede geodésica de monitoramento, técnicas de levantamento e testes estatísticos, ressaltando a importância da análise periódica do posicionamento e comportamento dessas estruturas.

ABSTRACT – Contemporary society is fully dependent on energy for its essential activities. Countries have specific energy sources according to their energy resources. The frequent worldwide search for sustainability has made wind power an important clean source tool on the global stage. Brazil stands out in the ranking of the international scenario of installed capacity after about a decade of the most abundant appearance of the wind power source in the country. Due to the rapid growth of installed wind turbines, it is necessary to apply methodologies for the monitoring of the verticalization and stability of the towers, by means of geodetic and/or topographic methods, in order to detect, over time, the stability and / or undesirable variations of predefined object-point coordinates, ensuring positional control of wind tower components based on tolerances specified in survey standards and geodetic instrumentation. This work intends to apply the geodetic methods to the monitoring of the verticality of wind towers, grounding and demonstrating the implantation of a geodesic monitoring network, survey techniques and statistical tests, emphasizing the importance of the periodic analysis of the positioning and behavior of these structures.

1 INTRODUÇÃO

As características apresentadas pela sociedade denotam de uma elevada sujeição ao consumo de energia elétrica para suas necessidades. A maneira como são produzidos esta energia está tornando-se cada vez mais severa devido à sustentabilidade ambiental e responsabilidade social. As fontes alternativas limpas e renováveis de energia têm despertado especial interesse em diversas áreas de pesquisa.

O uso de energia eólica através de turbinas é uma das maneiras mais eficazes de explorar a energia da Terra por meio da transformação da energia cinética do vento em energia elétrica, utilizando turbinas eólicas, o que representa, portanto, uma fonte de energia alternativa e renovável.

Conforme o relatório da United Nations (1987), os encorajamentos essenciais mundial em defesa das energias renováveis estão relacionados com a procura por desenvolvimento sustentável, suprindo as necessidades das gerações presentes sem abalar o rendimento das futuras gerações. Mundialmente, a energia eólica poderia abastecer 1.700 TW, ou 50% do consumo elétrico total, até o ano 2030, usando apenas 1,17% da superfície terrestre com 3,8 milhões de torres de 5 MW cada uma (JACOBSON e DELUCCHI, 2011).

Devido a esse contexto, houve no mercado de energia eólica um crescimento mundial de sua capacidade instalada nos últimos anos, tornando-se frequente como um elemento da paisagem terrestre. O rápido desenvolvimento tem forçado a necessidade de torres ainda mais elevadas e agrupadas em parques eólicos.

No Brasil o crescimento exponencial da energia eólica é favorecido pelas pressões socioambientais em torno dos empreendimentos decorrentes da implantação de usinas Hidrelétricas, Termoelétricas e Nucleares e seu impacto sobre o meio biótico, socioeconômico e físico. Segundo o relatório da *Global Wind Energy Council* - GWEC (2018), o Brasil ocupa a 8ª posição no *ranking* mundial de capacidade instalada e o 1º lugar na América Latina.

Muitas vezes as torres eólicas operam em ambientes adversos. Portanto, eles podem ser danificados por diversos fatores ambientais e que resultam no deslocamento de elementos individuais e de toda estrutura. As estruturas que apresentam deslocamentos significativos podem resultar em mudanças permanentes e precisam de inspeções periódicas de sua condição geométrica de funcionamento. A necessidade de tais averiguações está relacionada aos requisitos de segurança, onde a perturbação da geometria pode resultar em consequências inoportunas e catastróficas.

Essas estruturas estão sujeitas a cargas estáticas e dinâmicas que resultam no deslocamento de elementos individuais ou de toda estrutura. A necessidade de medições em inspeções periódicas de sua condição geométrica de funcionamento está relacionada aos requisitos de segurança, onde a perturbação da geometria pode resultar em consequências catastróficas e onerosas. Através dos métodos geodésicos podem ser avaliadas estas possíveis modificações posicionais por se tratar de uma metodologia empregada para identificar possíveis movimentos absolutos e/ou relativos.

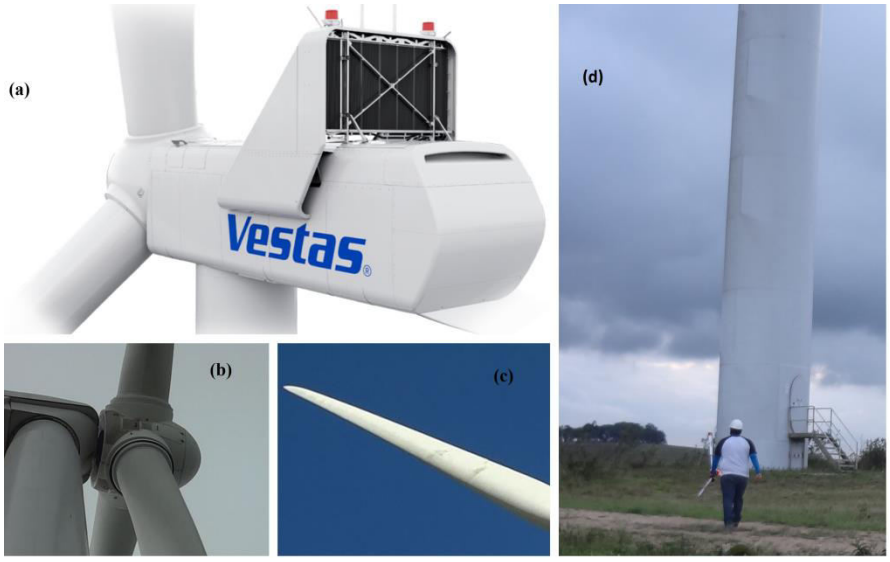
Devido a este considerável crescimento no número de torres eólicas, necessita-se de pesquisas envolvendo levantamento, locação, controle geométrico e monitoramento destas torres, com o propósito de determinar a posição de elementos estruturais das torres eólicas, possibilitando também a análise multitemporal dos possíveis deslocamentos e/ou deformidades das mesmas.

Este trabalho tem como objetivo realizar o estudo da verticalidade em torres eólicas onshore através de técnicas geodésicas, demonstradas a partir da definição e resultados de medições realizadas, disseminando a relevância e a primordialidade do monitoramento apropriado para essas estruturas.

1.1 Torre Eólica

A energia eólica é baseada na utilização de torre ou mastro como uma estrutura do gerador de suporte de carga (WIDERSKI e KURAŁOWICZ, 2005). Segundo Matos (2013), as torres que elevam os rotores podem ser feitas de aço, concreto, e para aerogeradores menores, é possível a utilização de torres de madeira. Neste trabalho o foco principal é a torre, mas para que possa haver um entendimento no monitoramento de torres eólicas é necessário um conhecimento prévio de seus componentes. A torre eólica é composta por Nacelle, as Pás, o Cubo do rotor e a Torre. Na Figura 1 estão representados esses componentes. A Nacelle consiste em um compartimento instalado no alto da torre onde abrigam todos os componentes essenciais para a produção de energia, as pás responsáveis por captar o vento, convertendo sua potência ao centro do rotor, o Cubo do rotor é responsável pela fixação das pás e a torre que sustenta os componentes descritos.

Figura 1 – Partes integrante da torre eólica. (a) Nascelle. (b) Pá eólica. (c) Cubo do rotor. (d) Torre.



Fonte: (a) Vestas (2018).

O objeto de pesquisa neste trabalho consiste em uma Torre de aço tubular de forma cônica constituída por um número de secções pré-fabricadas. A torre possui 70 m de altura da base ao cubo do rotor, com variação de diâmetros linear ao longo de seu comprimento, e pás com comprimento de 40 m.

1.2 A Geodésia, o monitoramento de estruturas e torres eólicas

A *Geodésia* é definida como a ciência que tem por objetivo determinar a forma e as dimensões da Terra, bem como os parâmetros definidores de seu campo da gravidade e suas variações temporais (TORGE, 2001). A Geodésia, além da matemática aplicada, é um ramo da Engenharia e Geociências. Em decorrência disso, o estudo da Geodésia subdivide-se em dois grupos:

- Geodésia Global: Refere-se à determinação da forma e das dimensões da Terra;
- Geodésia Aplicada: Responsável pela representação e levantamento preciso da posição de pontos em partes menores da Terra, onde a superfície pode ser considerada plana e em outras finalidades.

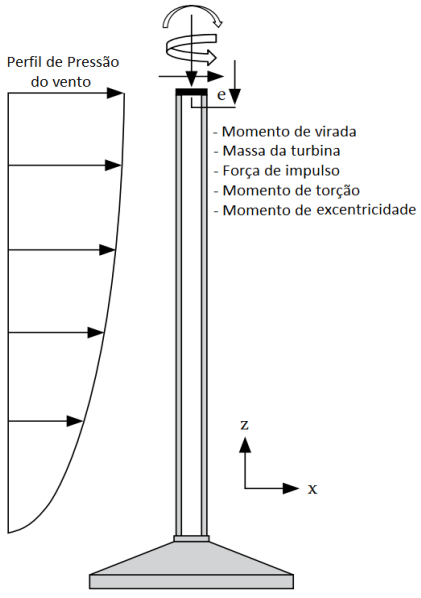
A Topografia é a parte mais conhecida da Geodésia Aplicada e compete os trabalhos de medição, cálculos e representação de áreas restritas da superfície terrestre, envolvendo o estudo de instrumentos e metodologias com o objetivo de determinar o contorno, dimensão e posição relativa de uma porção limitada da superfície terrestre (DEPARTMENT OF ARMY, 1994).

O monitoramento geométrico das deformações de estruturas é classificado em dois grupos conforme Chrzanowski (1986), através dos instrumentos e os procedimentos de medição: Levantamentos geodésicos por meio de levantamentos terrestres, posicionamento por satélites, Fotogrametria e outras técnicas especiais; e por medidas geotécnicas e estruturais de deformações locais, utilizando fios de prumo, extensômetros, inclinômetros, dentre outros. De acordo com Kahmen e Faig (1988), o método geodésico proporciona uma perspectiva global da deformação e os demais métodos fornecem medidas de pontos específicos.

As metodologias e instrumentos geodésicos mostram até hoje alta potencialidade na obtenção de resultados no monitoramento de estruturas. Técnicas geodésicas têm sido tradicionalmente usadas principalmente para determinar os deslocamentos absolutos de pontos na superfície do objeto em relação a pontos de referência, considerados estáveis. Mudanças geométricas de pontos podem ser detectadas com instrumentos geodésicos, como instrumentos de alta precisão, tais como nível digital, estações totais e receptores GNSS (ARMER, 2001).

As torres eólicas são submetidas a inúmeros esforços, como forças horizontais, resistência do rotor, forças torsicionais, cargas estáticas, cargas dinâmicas e da própria torre à força do vento, proveniente do peso próprio, variações de temperatura, cargas ativas (estáticas e móveis), reações de apoio (reativas) e outras. A ação de esforços atuantes altera a posição relativa de suas moléculas, resultando deslocamentos de elementos individuais e de toda estrutura, reduzindo a vida em fadiga dos componentes, entre outros, efeitos desagradáveis. Exemplos de cargas atuantes em uma torre eólica são resumidos na Figura 2.

Figura 2 – Carga do vento atuando em uma torre eólica



. Fonte: Way e Zijl adaptado (2015).

As estruturas que apresentam deslocamentos significativos podem resultar em mudanças permanentes na geometria. No deslocamento sem deformação ficam inalteradas as posições relativas dos pontos materiais do elemento considerado da estrutura. No deslocamento com deformação as posições relativas dos pontos são alteradas (NETTO et al., 2002).

As torres eólicas necessitam de trabalhos de locação, controle dimensional e monitoramento, caracterizando importantes áreas de atuação da Geodésia. O monitoramento das estruturas é uma das tarefas mais importantes para determinar mudanças em corpos deformáveis, seja em forma, dimensão ou posição. Estes deslocamentos detectados pelas variações de coordenadas através de pontos-objeto observados, sendo o método geodésico o mais conhecido para essa avaliação.

2 METODOLOGIA PARA VERIFICAÇÃO DA VERTICALIDADE EMTORRES EÓLICAS ONSHORE

2.1 Recursos Tecnológicos

- Receptores GNSS (HIPER V: Topcon), precisão horizontal ± (3 mm + 0,1 ppm) e vertical ± (3,5 mm + 0,4 ppm);
- Estação Total (GPT 3200 N/NW), precisão angular (± 5") e linear (± 5mm + 5ppm);
- Prismas, tripés, suportes bastão-tripé, marreta, base nivelante, adaptadores base – prisma, trena;
- Softwares: SCILAB (versão 5.4.1), Excel (versão 2013), AstGeoTop (GARNÉS, 2017), AutoCad2010 e Topcon Tools (versão 8.2).

2.2 Pontos de Referência e Pontos-Objeto

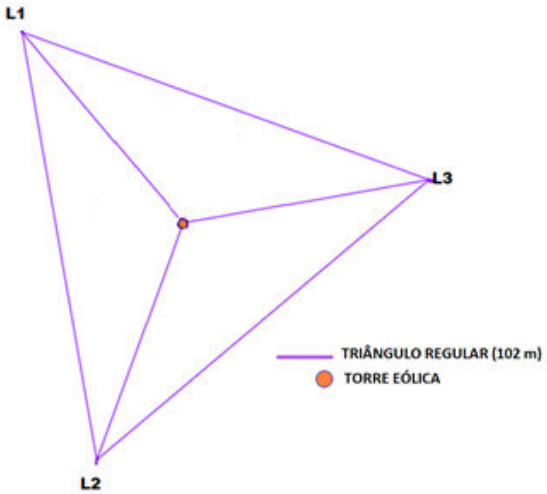
A investigação da verticalidade da torre eólica deve ser definida a partir de um campo de pontos estáveis. Segundo Seixas e Burity (2005), estes campos de pontos são definidos na seguinte forma:

- Pontos de referência: Espaço geodésico ou cartesiano de um conjunto de pontos devidamente distribuídos, considerando os aspectos de medição geométrica das estruturas envolvidas, definindo um Sistema de Referência de Medição estável;
- Pontos–objeto: Pontos em posições específicas no objeto de estudo com o intuito de particionar um todo em partes com menor complexidade.

2.2.1 Posicionamento dos Pontos de Referência

Para dispor visadas com no mínimo em três direções da torre, foi projetada uma configuração para a distribuição dos pontos de referência, sendo um triângulo equilátero onde possui o centro de simetria da geometria coincidente ao centroide da torre eólica (Figura 3). Para maiores detalhes referentes à definição, medição e implantação da configuração geométrica dos pontos de referência e pontos-objeto do triângulo equilátero, além da configuração de um hexágono regular, consultar (CANTO et al., 2018).

Figura 3 – Configuração geométrica para a distribuição dos pontos de referência no entorno da torre eólica.



Foram realizados os levantamentos topográficos, cálculos, processamento dos dados, transformação das coordenadas geocêntricas SIRGAS2000 em geodésicas locais, ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados, análise e controle de qualidade. Maiores esclarecimentos sobre os métodos de processamento são descritos em Seeber (1993) e Gemael (1994). O resultado final das coordenadas no Sistema Geodésico Local (SGL) SIRGAS2000 dos vértices encontra-se na Tabela 1. Para maiores detalhes consultar (CANTO et al., 2018).

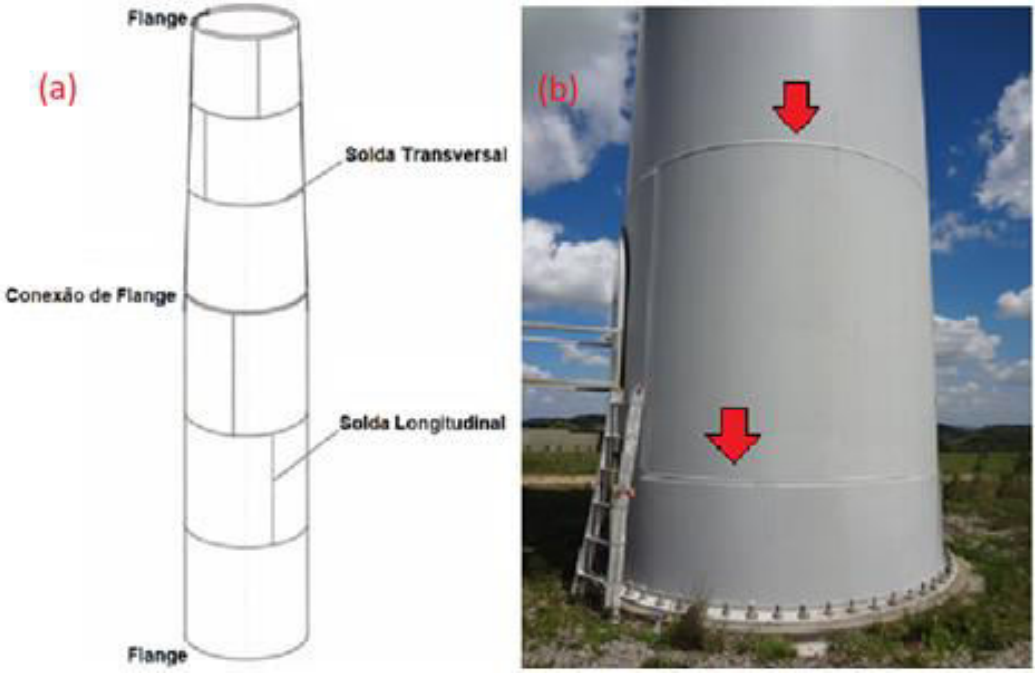
Tabela 1- Coordenadas no SGL SIRGAS2000 dos vértices.

Estação	Pto. Vis.	Distância Horiz. (m)	Coordenadas Geodésicas locais			Desvios Padrão (1* σ) (m)		
			X (m)	Y (m)	h (m)	σ_x	σ_y	$\sigma_{distância}$
L1	LP1	60,1370	150000,0000	250000,0000	775,5200	0,0050	0,0020	0,0070
L2	LP5	59,9500	150053,8390	250168,1380	778,0530	0,0040	0,0040	0,0070
L3	LP3	60,2740	149881,5140	250130,9060	777,2100	0,0060	0,0040	0,0070

2.2.2 Determinação dos Pontos-Objeto

As configurações de torre mais comuns são estruturas treliçadas de aço, monopolos de aço, monopolos de concreto e estruturas híbridas de aço-concreto. A torre de estudo consiste em uma estrutura de monopolos de aço, onde os pontos-objeto (Figura 4) definidos para avaliar a verticalidade da torre, foram por meio das ligações entre os segmentos da torre (soldas transversais) e os flanges. O objetivo do triângulo equilátero é materializar em seus vértices os pontos de referência com uma distância que possa observar no mesmo alinhamento, todos os pontos-objeto nas diferentes alturas da torre sem o emprego de ocular de cotovelo.

Figura 4 – Torre tubular de aço. (a) Duas seções de uma típica torre tubular de aço. (b) Ilustração dos pontos-objeto utilizados. Data (30/01/2018).



Fonte: (a) Engström, et al. modificado (2010).

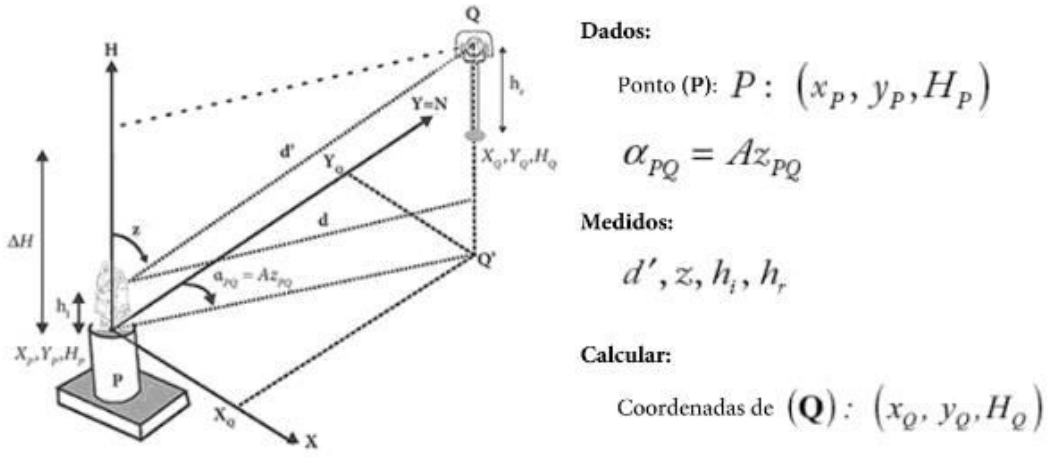
2.2.3 Levantamento dos Pontos-Objeto

Com a implantação dos pontos de referência os pontos-objeto podem ser georreferenciados, ou seja, os pontos-objeto são monitorados a partir do campo de pontos de referência. A localização dos pontos depois de materializadas pode ser analisada temporalmente para análise de possíveis deslocamentos. O método utilizado para a determinação de coordenadas tridimensionais dos pontos-objeto com o uso de estações totais ocorreu através do método de irradiação tridimensional.

2.2.3.1 Método da irradiação tridimensional

Segundo Silva e Segantine (2015), através do método da irradiação tridimensional é realizado a determinação de coordenadas espaciais baseado na medição de direções horizontais, ângulos verticais e distâncias inclinadas em relação a uma direção conhecida, tomada como referência (Figura 5).

Figura 5 – Princípio da irradiação tridimensional.



Fonte: Silva e Segantine (2015).

As coordenadas tridimensionais são determinadas a partir das equações (1), (2) e (3).

$$X_Q = X_P + d' * \text{sen}(z) * \text{sen}(Az_{PQ}) \quad (1)$$

$$Y_Q = Y_P + d' * \text{sen}(z) * \cos(Az_{PQ}) \quad (2)$$

$$H_Q = H_P + h_i - h_r + d' * \cos(z) \quad (3)$$

Sendo:

X_P, Y_P e H_P = Coordenadas do ponto de origem (P);
X_Q, Y_Q e H_Q = Coordenadas do ponto (Q) a serem calculadas;
h_i = Altura do instrumento;
h_r = Altura do refletor;
d' = Distância inclinada da medida entre os pontos (P) e (Q);
Az_{PQ} = Azimute de alinhamento PQ;
z = Ângulo vertical em (P).

Conforme Moreira (2003), quando as distâncias entre os pontos são longas, onde se deve considerar a curvatura da Terra e a refração atmosférica devem ser inclusos no modelo matemático (equações 4 e 5).

$$C_R = -\left(S^2/_{2 * R}\right) * K \quad (4)$$

$$C_C = \left(S^2/_{2 * R}\right) \quad (5)$$

Onde:

C_C = Correção da curvatura terrestre (m);
C_R = Correção da refração atmosférica (m);
S = Distância inclinada (m);
R = Raio da Terra (m);
K = Coeficiente de refração.

2.4 Ajustamento de observações pelo método combinado

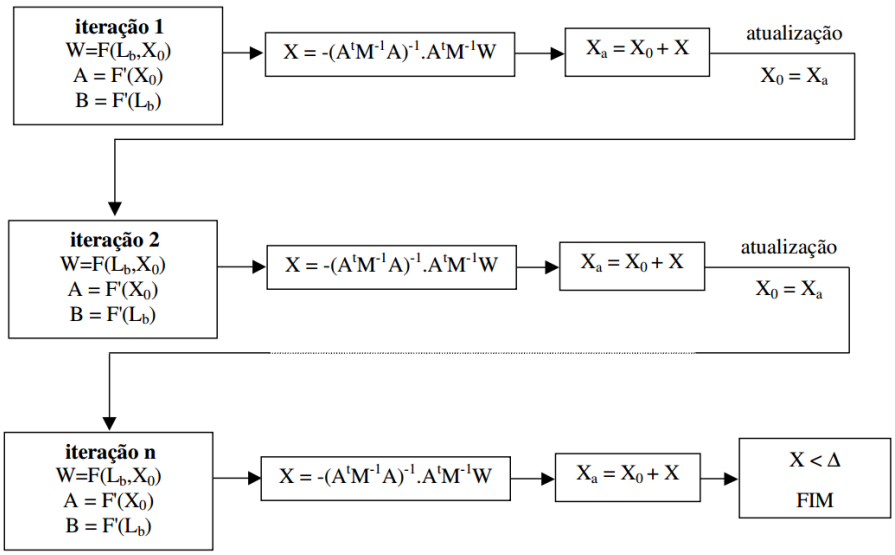
Conforme Gemael (1994), o ajustamento é um ramo da matemática aplicada, onde o objetivo é obter uma única solução para problemas onde o numero de observações é redundante e o sistema de equações inconsistente, e a estimativa da precisão da solução adotada.

De acordo com o mesmo autor, quando não há possibilidade de determinar as observações em função dos parâmetros, a solução por Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) é dada pelo método Combinado. No método de ajustamento Combinado, pode ser entendido como um método de aplicações gerais, onde os valores observados e os parâmetros ajustados são relacionados por uma função não explícita (equação 6).

$$F(X_a, L_a) = 0 \tag{6}$$

O método combinado por meio de processos numéricos iterativos é demonstrado de forma simplificada através do diagrama na Figura 6. Para informações mais detalhadas do método combinado, consultar Gemael (1994).

Figura 6 – Processo Iterativo para o MMQ sob o Método Combinado para modelos não-lineares.



Fonte: Nogueira (2018).

Neste trabalho, para determinar a verticalidade é necessário encontrar as coordenadas do baricentro das ligações entre os segmentos da torre em diferentes cotas. O modelo onde é possível o cálculo dessa grandeza pode ser através do uso da equação da circunferência (equação 7), que envolve as coordenadas medidas, as coordenadas do centro e o raio da circunferência.

$$\sqrt{(x_n - x_c)^2 + (y_n - y_c)^2 - r^2} \tag{7}$$

Onde:

x_n, y_n = Coordenadas medidas;
x_c, y_c = Coordenadas do centro (Parâmetro);
r = Raio (Parâmetro).

Para todos os ajustamentos foram realizados testes de hipótese, através do Teste Global Qui-Quadrado(χ^2), utilizando o teste bilateral e ao nível de significância de 5%, com grau de liberdade igual a 2, tendo todas as Hipóteses não rejeitadas (Tabela 2) no intervalo $0{,}051 < \chi^2 < 7{,}378$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As coordenadas dos pontos-objeto foram obtidas de medições do centro das soldas transversais da torre, a partir de medições da direção horizontal de referência fixa. Foram escolhidas e medidas 19 junções circulares dos segmentos da torre eólica em diferentes cotas sem a necessidade do uso de ocular de cotovelo.

As medições foram calculadas e processadas em linguagem de programação por meio do software livre SCILAB em programas desenvolvidos pelos autores em cada estágio da torre, obtendo os desvios padrão individuais para cada ponto-objeto. Na Tabela 2 são apresentados os resultados.

Tabela 2 - Coordenadas no SGL SIRGAS2000 dos baricentros das seções medidas.

Circunferência	X(m)	σ(mm)	Y(m)	σ(mm)	χ^2
C1	149978,60117	4,54861	250099,64320	1,63739	1,41690
C2	149978,60510	7,88628	250099,63333	2,80919	4,23612
C3	149978,60288	2,82926	250099,63888	1,01328	0,54687
C4	149978,59842	1,82719	250099,64158	0,69843	0,08451
C5	149978,59731	3,79434	250099,64596	1,36185	0,98835
C6	149978,59887	3,94324	250099,64836	1,42722	1,06787
C7	149978,59767	5,83295	250099,64883	2,10792	2,33836
C8	149978,59662	3,66554	250099,64889	1,32224	0,92367
C9	149978,59433	3,77141	250099,65288	1,36377	0,98004
C10	149978,59571	5,74796	250099,64436	2,05254	2,26779
C11	149978,59509	4,70099	250099,64375	1,67454	1,51703
C12	149978,59670	3,73335	250099,64957	1,34862	0,95831
C13	149978,58487	4,52833	250099,66026	1,63015	1,42239
C14	149978,57498	6,34997	250099,65070	2,50752	1,03151
C15	149978,58418	9,18358	250099,65975	4,08131	1,84268
C16	149978,57118	5,88918	250099,65542	2,24956	0,88963
C17	149978,58328	18,23382	250099,63997	7,88697	7,21468
C18	149978,54482	4,88252	250099,67712	2,02191	0,62342
C19	149978,54634	14,81503	250099,66005	6,15791	4,96754

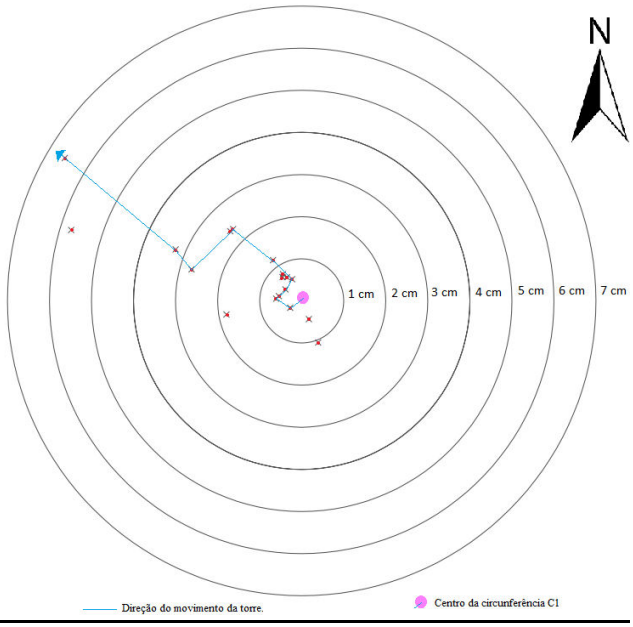
Em uma torre ideal (não sujeita a esforços) com seções circulares, as posições planimétricas dos baricentros de cada seção encontram-se na mesma posição planimétrica. Para avaliar os resultados em relação ao desvio da verticalidade, foi definido o centro circular de menor cota (C1) como referência e efetuou o cálculo da distância entre os demais centros circulares. O resultado dos desvios de cada seção e o desvio padrão da resultante planimétrica são apresentados na Tabela 3.

Devido aos fortes ventos e condições atmosféricas adversas durante a campanha de medição, houve dificuldades nas medições em algumas posições da torre, ocorrendo discrepâncias nos dados. A Figura 7 expõe a representação gráfica posicional e respectivas orientações dos centros circulares medidos, além da definição da direção do movimento da torre.

Tabela 3 – Desvio do Baricentro em relação a C1.

Circunferência	Desvio(mm)	σ_{plan} (mm)
C2	10,62859	8,37168
C3	4,65319	3,00524
C4	3,18911	1,95612
C5	4,73952	4,03133
C6	5,64582	4,19358
C7	6,63082	6,20215
C8	7,27987	3,89673
C9	11,85196	4,01041
C10	5,57947	6,10344
C11	6,10818	4,99033
C12	7,78660	3,96947
C13	23,59364	4,81281
C14	27,23948	6,82714
C15	23,71714	10,04964
C16	32,38705	6,30421
C17	18,18262	19,86647
C18	65,77132	5,28462
C19	87,06464	16,04385

Figura 7 – Representação gráfica posicional dos centros.



4 CONCLUSÕES

A proposta desse trabalho é difundir a importância e a necessidade do monitoramento apropriado da verticalidade em torres eólicas, indicando o uso das metodologias e técnicas geodésicas demonstradas a partir da definição e de resultados de medições realizadas.

As torres eólicas são frequentemente sujeitas a cargas extremas, na qual é necessário o estudo do desvio da verticalidade dessas estruturas para a segurança de sua operação. Sendo assim, os métodos geodésicos são os mais propícios e possíveis para a análise de possíveis deslocamentos, adicionando mais informações comparadas com as usadas em metodologias geotécnicas e estruturais de deformações locais, tais como extensômetros e inclinômetros.

Através da metodologia proposta para o Sistema de Referência de Medição estável, é possível o monitoramento e são assegurados o controle posicional e acompanhamento temporal da verticalidade da torre, por meio dos métodos geodésicos e instrumentos de precisão adequados.

Por indisponibilidade, as Estações Totais empregadas para este trabalho eram de precisão média. Para o monitoramento desses tipos de estruturas, recomenda-se o uso de Estação Total com alta precisão, garantindo assim precisão nas medidas angulares e lineares no monitoramento de pontos.

Neste trabalho os ponto-objeto levantados pelo método de irradiação tridimensional e ajustados pelo MMQ permitiram um variação do desvio padrão posicional calculado a partir do ajustamento das circunferências mínima de ± 0,00196 m para C4 e máxima de ± 0,01987 m para C17. Devido aos esforços sofridos na torre os valores de desvios apresentados na Tabela 3 dos baricentritos ajustados comprovam um maior deslocamento na parte superior da torre e um menor deslocamento na parte mais baixa dos pontos-objeto observados.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos a Eólica Tecnologia pela autorização da pesquisa nas torres do parque eólico em Gravatá-PE e por oferecer suporte e apoio técnico. Ao projeto de pesquisa LITPEG-UFPE, ao CNPq, CAPES e à PROPESQ/UFPE pelo auxílio técnico e financeiro, para os alunos do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Leonardo Carlos Barbosa, Priscilla Heliênay Oliveira do Nascimento Pestana e Welisson José dos Santos, e o aluno em Engenharia Eletrônica da Universidade de Pernambuco, Italo Garcia Campos do Canto, que contribuíram com os levantamentos geodésicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARMER, G. S. T. **Monitoring and Assessment of Structures**. McGraw Hill, New York, 2001.

CANTO, L. F. C.; SEIXAS, A.; CANTO, I. G. C.; PESTANA, P. H. O. N.; SANTOS, W. J. **Aplicação da geodésia para o monitoramento de torres eólicas onshore.** Brazil Windpower Conference and Exhibition, 2018, Rio de Janeiro.

CHRZANOWSKI, A. **Geotechnical and other non-geodetic method in deformation measurement.** 1986, In: Proceedings of the Deformation Measurement Workshop. Oct 31 – Nov 1, Ed: Yehuda Bock, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA. pp. 112-152.

DEPARTMENT OF ARMY–U. S. **Deformation monitoring and control surveying**.Washington, DC, 1994.

ENGSTRÖM, S.; LYRNER, T.; HASSANZADEH, M.; STALIN, T. ; JOHANSSON, J. **Tall towers for large wind turbines. (Report from Vindforsk project V-342 Höga torn för vindkraftverk.** Elforsk rapport. Stockholm: Elforsk Electricity and Power Production, 2010.

GARNÉS, S. J. A; **Programa AstGeoTop. Software de cálculo.** Universidade Federal de Pernambuco-Recife,Brasil. Versão 2017.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Editora da UFPR, 1994. 319p.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL - GWEC. **Global wind statistics 2017**. Disponível em: <*http://gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC_PRstats2017_EN-003_FINAL.pdf*>. Acesso: 08 Maio 2018.

JACOBSON, M. Z.; DELUCCHI, M. A. **Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials.Energy Policy**, v. 39, p. 1154-1169, 2011.

KAHMEN, H., FAIG. W. **Surveying.** Berlin. Ed. de Gruyter, 1988.

MATOS, L. C. L. J. **Avaliação experimental das perturbações causadas por diferentes tipos de sistema de controle em Usinas Eólicas**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo. 2013.

MOREIRA, A. S. B. **Nivelamento Trigonométrico e Nivelamento Geométrico classe IIN da NB4 13.133: Limites e condições de compatibilidade.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

NETTO, N. P.; BLITZKOW, D.; BUENO, R. F; FONSECA, E. S.; MAZZILLI, C. E. N.; LACHAPELLE G. **Structural Monitoring Using GPS Receivers.** 3ª Assembléia Luso Espanhola de Geodésia e Geofísica, Espanha, Valência, 2002.

NOGUEIRA, F. **Modelagem e Simulação - Modelos de Previsão. Notas de Aula**. Disponível em: < http://www.ufjf.br/epd042/files/2009/02/previsao1.pdf>. Acesso: 17 Junho 2018.

SEEBER, G. **Satéllite Geodesy: Foundations, Méthodds and Applications.** Berlim, New York: walter de Gruyter, 1993.

SEIXAS, A.; BURITY, E. F. **Geodésia Aplicada à medição e ao monitoramento de áreas de risco em sítios insdustrializados.** In: IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2005, Curitiba.

SILVA, I., SEGANTINE, P. C. L. **Topografia para Engenharia: TEORIA E PRÁTICA DE GEOMÁTICA**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

TORGE, W. **Geodesy**. 3rd Ed., DeGruyter, Berlin, 416 pp. 2001.

UNITED NATIONS. **Report of the World Comission on Environment and Development: Our Common Future**. 1987.

VESTAS. **V136-3.45 MW® IEC IIIA/IEC IIB**. Disponível em:<https://www.vestas.com/en/products/turbines/v136-_3_45_mw#!>. Acesso: 20 Maio 2018.

WAY, A.; ZIJL, G. V. **Study on the design and material costs of tall wind turbine towers in South Africa.** Journal of the South African Institution of Civil Engineering. Vol 57 No 4, December 2015, Pages 45–54, Paper 1231.

WIDERSKI, T.; KURAŁOWICZ, Z. **Geodesic Monitoring of Tower and Mast Structures**. Reports on Geodesy, 411-417, 2009.

IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE RUÍDOS DO EFEITO IONOSFÉRICO DE PRIMEIRA ORDEM EM SINAIS GPS

LEONARDO JOSÉ LOPES
HELOÍSA ALVES SILVA MARQUES

Instituto Militar de Engenharia – IME
Departamento de Ciência e Tecnologia
Seção de Ensino de Engenharia Cartográfica, Rio de Janeiro, RJ
leonardo.lopes@iff.edu.br, heloh2o@gmail.com

RESUMO – A ionosfera é uma das principais fontes de erros sistemáticos que afetam a propagação dos sinais GNSS. Os efeitos ionosféricos são classificados em três principais tipos: efeito ionosférico de primeira ordem, efeito ionosférico de segunda ordem e efeito ionosférico de terceira ordem. Tais efeitos são grandezas diretamente relacionadas com o conteúdo total de elétrons (TEC) presente na trajetória do sinal GPS. Os ruídos presentes numa série temporal do efeito ionosférico podem ser identificados e caracterizados por meio da estimativa de componentes de variância através do MMQ (LS-VCE). Neste trabalho é realizada a identificação e caracterização de ruídos utilizando a técnica LS-VCE. Os experimentos realizados apresentaram a predominância de uma identificação de ruídos com comportamento ruído branco e ruído caminho aleatório, porém com registro do comportamento estocástico ruído branco e ruído rosa. Nesse sentido, a técnica LS-VCE possibilita a construção de um modelo estocástico mais realista para o tipo de observação em estudo, no caso, o efeito ionosférico de primeira ordem em sinais GPS. Além disso, é apresentada a magnitude da precisão para o efeito ionosférico de primeira ordem**.**

ABSTRACT - The ionosphere is one of the main sources of errors affecting the propagation of GNSS signals. The ionospheric effects are classified into three main types: first order, second and third order. These effects are directly related to the total electron content (TEC) present in the GPS signal trajectory. The noises present in the ionospheric effect time series can be identified and characterized by Least Squares Components Variance Estimation (LS-VCE) assuming that such series exhibits random walk behavior. In this paper is accomplished the noise identification with LS-VCE technique. The experiments show the noise identification predominance with white and random walk noise, however there are results with white and flicker noise. Therefore, the LS-VCE allows a more realistic stochastic model for the type of observation under study, in this case, the first-order ionospheric effect on GPS signals. In addition, this paper present the magnitude of accuracy for the first-order ionospheric effect.

1 INTRODUÇÃO

O GNSS (*Global Navigation Satellite System*) tem ganhado cada vez mais espaço nas inúmeras atividades desempenhadas pelo homem, em especial, aquelas que requerem posicionamento tridimensional acurado sobre a superfície terrestre. Além disso, o GNSS tem se consolidado como importante ferramenta de monitoramento dos parâmetros atmosféricos, mais especificamente, relacionados às camadas que apresentam interferência na propagação de ondas de rádio, sendo elas a troposfera e a ionosfera. Atualmente, os usuários podem utilizar dados GNSS de uma variedade extensa de redes de estações GNSS de monitoramento contínuo, como por exemplo: Rede do IGS (*International GNSS Service*); Rede SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas); Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC); Rede GNSS do Estado de São Paulo (Rede GNSS SP), entre outras.

A ionosfera se constitui como uma das principais fontes de erros sistemáticos que afetam a propagação dos sinais GNSS, podendo causar avanço na observável fase da onda portadora ou atraso no código do sinal. Os efeitos ionosféricos são classificados em efeito ionosférico de primeira ordem e de ordem superior (segunda e terceira ordem). O efeito ionosférico de primeira ordem, segundo Hernándes Pajares et. al. (2010) mostrou representar mais de 99,9% do

efeito ionosférico total tanto no atraso no código GNSS quanto no avanço na fase da onda portadora. Os efeitos ionosféricos são grandezas diretamente proporcionais ao TEC (*Total Electron Content*) presentes no caminho percorrido pelo sinal GNSS entre o satélite e o receptor (MONICO, 2008), sendo ainda que os efeitos de segunda ordem levam em consideram informações do campo geomagnético.

Há várias possibilidades de modelar o efeito da ionosfera, dentre elas pode-se citar, os modelos globais da ionosfera (GIM – *Global Ionosphere Model*) e os modelos regionais (LPIM – *La Plata Ionospheric Model*). Marques et. al. (2011) desenvolveram o software RINEX_HO (RINEX HIGHER-ORDER) capaz de, com base em observações GNSS, calcular os efeitos ionosféricos de ordem superior através de modelos matemáticos e fornecer um arquivo RINEX corrigido e um arquivo com os valores de TEC calculados. Uma outra possibilidade é estimar o efeito ionosférico juntamente com o processamento das observações GNSS no posicionamento geodésico, aplicando o Filtro de Kalman e tratar o parâmetro da ionosfera como um processo estocástico utilizando modelos de correlação como os ruídos branco, rosa e caminho-aleatório, justificando a necessidade de se caracterizar e identificar os ruídos presentes em séries do efeito ionosférico, bem como a construção do modelo estocástico mais realista possível.

Nesse trabalho é apresentada a identificação e caracterização de ruídos em séries temporais do efeito ionosférico aplicando o método de Estimativa de Componentes de Variância pelo Método dos Mínimos Quadrados (LS-VCE) visando assim a construção de um modelo estocástico mais realista para que se possa ser utilizado na estimativa do efeito ionosférico no processamento de dados GNSS.

2 EFEITOS IONOSFÉRICOS

No contexto das Ciências Geodésicas, a atmosfera é dividida em duas camadas, sendo elas, a troposfera e a ionosfera. Cada uma destas camadas apresentando influências distintas sobre os sinais GNSS por elas propagados (MONICO, 2008).

A ionosfera é a camada superior da atmosfera terrestre e está situada, aproximadamente, entre 50 km e 1.000 km em relação ao solo. Sua composição se constitui, basicamente, por grande quantidade de elétrons e íons livres (DAVIES, 1990). O número de elétrons presentes no caminho percorrido pelo sinal GNSS entre o satélite e o receptor é o principal fator responsável por descrever o efeito da ionosfera na propagação dos sinais de ondas de rádio na banda L, como é o caso de sinais de sistemas de navegação, tais como o GPS. Os impactos causados sobre tais sinais consistem no atraso no tempo de viagem do sinal e em mudanças na polarização, fase e amplitude (STOLLE et. al., 2003). Nesse sentido, um conceito importante que se refere à presença de elétrons livres na trajetória percorrida pelo sinal GNSS, por exemplo, é o TEC. O conceito de TEC refere-se ao total de elétrons presentes numa coluna de base de um metro quadrado definida no caminho entre satélite e receptor. (DAVIES; SMITH, 2002).

As variações de densidade de elétrons provocam as variações do TEC no tempo e no espaço. As variações no tempo ocorrem de formas irregulares e apresentam três ciclos: variações diárias; variações sazonais; e de longos períodos. As variações diárias são derivadas do fluxo de ionização solar e acontecem devido às alterações que ocorrem em determinadas regiões da ionosfera. Durante o período noturno, devido à ausência da radiação solar e, portanto, devido ao fenômeno de recombinação e junção dos elétrons e íons, há uma queda na variação de elétrons. Em contraponto a tal situação, o máximo da variação diurna ocorre em torno das 14 horas local e mínimo em torno das 05 horas local (MATSUOKA, 2007).

Ainda sobre a variação da densidade eletrônica no tempo, as variações sazonais se relacionam diretamente com a inclinação dos raios solares. O movimento translacional da Terra em torno do Sol proporciona diferentes graus de ionização da ionosfera durante as quatro estações ao longo do ano. No hemisfério sul, máximos de densidade de elétrons na ionosfera são registrados em meses como Março, Abril, Setembro e Outubro, e mínimos, em Junho e Julho (FONSECA JUNIOR, 2002). Já as variações de longos períodos estão relacionadas com o fenômeno das manchas solares. A ocorrência das manchas solares define o que se denominam ciclos de longos períodos, com duração de 11 anos cada ciclo (McNAMARA, 1991).

As variações do TEC ao longo do espaço se relacionam diretamente com as regiões geográficas da ionosfera. Tais regiões são projeções aproximadas da ionosfera sobre a superfície da Terra e representadas por meio de latitudes geomagnéticas. O Brasil, por exemplo, se localiza na região equatorial e apresenta os maiores valores de densidade de elétrons, principalmente durante o início da tarde.

Os efeitos provocados pela ionosfera sobre a propagação do sinal GNSS são agrupados em dois principais grupos: efeitos de primeira e efeitos de ordem superior (segunda e terceira ordem). Tais efeitos são grandezas diretamente proporcionais ao TEC, sendo que o efeito de segunda ordem também é diretamente proporcional à componente do campo geomagnético e o de terceira ordem apresenta mesma relação com a densidade máxima de elétrons (BASSIRI; HAJJ, 1993; ODIJK, 2002). Dentre os tipos de efeitos ionosféricos, merece destaque o efeito de primeira ordem visto que, segundo Hernández Pajares et al. (2010), o mesmo é responsável por cerca de 99,9% da degradação do sinal GNSS.

O efeito ionosférico de primeira ordem é dado por (BASSIRI; HAJJ, 1993; ODIJK, 2002):

$$I_{g_{Li}}^{(1)} = \frac{A}{2f_{Li}^2}\int N_e \, d\rho = \frac{40{,}3}{f_{Li}^2}\, TEC \tag{1}$$

sendo:
$I_{g_{Li}}^{(1)}$: efeito ionosférico do grupo de primeira ordem na frequência $f_{Li}(i = 1, 2, 5)$;
$A = \frac{e^2}{4\pi m_e \varepsilon_0} \approx 80{,}6$ m^3/s^2;
$\int N_e \, d\rho$ = TEC;
N_e : densidade de elétrons livres em m^{-3};

3 PROCESSOS ESTOCÁSTICOS

Ao se trabalhar com observações, como é o caso das observáveis geodésicas (código e fase da onda portadora), há de se afirmar que estas são dotadas de propriedades estatísticas. Estas propriedades decorrem do fato de que as observações são amostras extraídas de uma população contínua e infinita, ou seja, podem ser consideradas como uma variável aleatória com função densidade probabilidade definida. Portanto, estimar um modelo estocástico realista das observáveis consiste em estimar um modelo que descreva de forma adequada as características estatísticas destas (GEMAEL *et al*., 2015).

A definição conceitual de processos estocásticos consiste em dizer que estes são eventos que evoluem ao longo do tempo sob leis probabilísticas e, portanto, são reconhecidos como processos estatísticos. Alguns exemplos de processos estocásticos encontrados em coordenadas GNSS são: *white noise* (processo estocástico ruído branco), ruído *random walk* (ou ainda, passeio aleatório) e *flicker noise* (ruído rosa). Abordagens mais detalhadas desses e de outros tipos de ruídos podem ser encontrados em Brown e Hwang (1992), Allan e Barnes (1981), Gelb *et. al.* (1974), Press (1978), Williams (2003), entre outros.

Em diversas aplicações geodésicas, é imprescindível ter informações disponíveis sobre o modelo estocástico de um determinado vetor aleatório observável. Tais informações auxiliam nas análises e nos estudos dos inúmeros fatores contribuintes dos erros nas observações. Dessa forma, torna-se imprescindível obter a precisão das funções de interesse bem como as estimativas mínimas de variância dos parâmetros (AMIRI-SIMKOOEI, 2007).

Os métodos para estimar as componentes de variância são diversos, podendo ser citados, por exemplo: *Analysis of Variance* (ANOVA); *Minimum Norm Quadratic Unbiased Estimation* (MINQUE); *Best Invariant Quadratic Unbiased Estimation* (BIQUE); *Least-Squares Variance Component Estimation* (LS-VCE); *Restricted Maximum Likelihood Estimator* (REML) e Métodos Bayesianos para VCE (GRODECKI, 1997; SEARLE, 1995; AMIRI-SIMKOOEI; TIBERIUS; TEUNISSEN, 2007). Os métodos de VCE diferem entre si, basicamente, no princípio de estimativa adotado, como também nas pressuposições das distribuições que precisam ser feitas (AMIRI-SIMKOOEI, 2007).

4 INTRODUÇÃO À ESTIMATIVA DE COMPONENTES DE VARIÂNCIA PELO MMQ

No presente trabalho será enfatizado o método LS-VCE (*Least-Squares Variance Component Estimation* – Estimativa das componentes de variância através do Método dos Mínimos Quadrados). Desenvolvido por Teunissen (1998), o método LS-VCE tem como cerne a aplicação dos mínimos quadrados e baseia-se em um princípio de estimativa de componentes de variância integrado para ambos os modelos: funcional e estocástico. Além disso, o LS-VCE apresenta uma importante vantagem frente aos demais métodos, uma vez que possibilita o uso de testes de hipóteses aplicado sobre o modelo estocástico (AMIRI-SIMKOOEI, 2007).

Um exemplo de aplicação do método LS-VCE consiste na avaliação de características de ruídos em séries de observáveis GNSS, como pode ser visto em Zhang et. al. (1997); Williams et. al. (2004); Amiri-Simkooei et. al. (2007) e Marques (2013).

Seja o seguinte modelo linear de equações de observações (AMIRI-SIMKOOEI, 2007):

$$\begin{aligned} E\{L_b\} &= AX \\ D\{L_b\} &= \sum_{L_b}, \end{aligned} \tag{2}$$

em que:
L_b : vetor das observações ($m\ x\ 1$);
A : matriz *design* de ordem $m\ x\ n$;
X : vetor dos parâmetros desconhecidos no modelo funcional ($n\ x\ 1$);

$E\{.\}$: operador de esperança;
$D\{.\}$: operador de dispersão.

No modelo linear da Equação 2, a MVC das observações ($\sum_{L_b}$) é dada por (AMIRI-SIMKOOEI, 2007):

$$\sum_{L_b} = \sum_{L_0} + \sum_{k=1}^{p} \sigma_k Q_K \tag{3}$$

sendo:
$\sum_{L_0}$: parte conhecida da MVC das observações;
σ_k : vetor desconhecido de componentes de variância do modelo estocástico ($k = 1, \dots, p$);
Q_k : matrizes cofatores linearmente independentes e simétricas ($k = 1, \dots, p$).

Considerando que o ruído de uma série temporal seja composto de componentes ruído branco (*white noise*), ruído rosa (*flicker noise*) e caminho aleatório (*random walk*), com respectivas variâncias (σ_w^2 , σ_f^2 e σ_{rw}^2), o modelo estocástico da série temporal pode ser escrito como (AMIRI-SIMKOOEI; TIBERIUS; TEUNISSEN, 2007):

$$\sum_{L_b} = \sigma_W^2 \, I + \sigma_f^2 \, Q_f + \sigma_{rw}^2 \, Q_{rw} \tag{4}$$

em que:
I : Matriz Identidade *mxn;*
Q_f : Matriz cofator *flicker noise;*
Q_{rw} : Matriz cofator *random walk.*

Uma maneira de obter as estimativas de componentes de variância, ainda sob utilização do método LS-VCE, consiste em fazer uso das equações normais. Para isso, considera-se que (AMIRI-SIMKOOEI; TIBERIUS; TEUNISSEN, 2007):

$$n_{kl} = \frac{1}{2} \, traço(\sum_{L_b}^{-1} P_A^{\perp} Q_k \sum_{L_b}^{-1} P_A^{\perp} Q_l) \, , \mathrm{k,l} = 1, 2, \dots, \mathrm{p} \tag{5}$$

$$u_{kl} = \tfrac{1}{2} V^T \sum_{L_b}^{-1} Q_k \sum_{L_b}^{-1} V - \tfrac{1}{2} traço(Q_k \sum_{L_b}^{-1} P_A^{\perp} Q_0 \sum_{L_b}^{-1} P_A^{\perp}), \mathrm{k,l} = 1, 2, \dots, \mathrm{p} \tag{6}$$

$$V = P_A^{\perp} L_b, \tag{7}$$

sendo:
n_{kl} : elementos da matriz normal N;
u_{kl} : elementos do vetor U;
V : vetor dos resíduos;
$P_A^{\perp}$: projeção ortogonal no espaço da matriz *design* A, fornecida pela Equação 8:

$$P_A^{\perp} = I - A(A^T \sum_{L_b}^{-1} A)^{-1} A^T \sum_{L_b}^{-1} . \tag{8}$$

em que I : Matriz identidade. Logo, a solução do ajustamento é dada por:

$$\hat{\sigma} = \mathrm{N}^{-1} \, \mathrm{U} \tag{9}$$

Dessa forma, pelo fato do método LS-VCE se basear no princípio dos mínimos quadrados, pode-se escrever que a matriz inversa da matriz Normal N resulta na matriz covariância das componentes de variância estimadas, isto é (AMIRI-SIMKOOEI; TIBERIUS; TEUNISSEN, 2007):

$$Q_{\hat{\sigma}} = N^{-1} \tag{10}$$

O método LS-VCE permite, dessa forma, estimar qualquer número de componentes de variância de ruídos no modelo estocástico. Além disso, através de testes estatísticos de hipótese, como por exemplo, o *w-test*, é possível inferir sobre quais componentes de variância de ruídos são passíveis de serem identificados em uma determinada série de observações.

5 EXPERIMENTOS E ANÁLISES

A obtenção dos efeitos ionosféricos é realizada através do software RINEX_HO (MARQUES et. al, 2011), desenvolvido com a finalidade de estimar as correções de observações GPS (*Global Positioning System*) para efeitos de

segunda e terceira ordem. O código do programa foi adaptado para disponibilizar o efeito ionosférico de primeira ordem e, consequentemente, os valores de TEC para estações de redes ativas ou arquivos de observação GPS. Para obtenção dos efeitos ionosféricos, o RINEX_HO permite a estimativa através do cálculo do TEC a partir da pseudodistância, a partir da pseudodistância suavizada pela fase e a partir do Modelo Global da Ionosfera (GIM).

Neste trabalho, foram obtidos os efeitos ionosféricos de primeira de ordem para as estações BRAZ (Brasília/DF), CHPI (Cachoeira Paulista/SP), SAVO (Salvador/BA), SALU (São Luís/MA), POVE (Porto Velho/RO) e UFPR (Curitiba/PR), as quais pertencem à RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) e atreladas ao IGS. Foram escolhidos dados referentes aos dias 17 de Março de 2015 (período de registro de tempestade geomagnética muito intensa) e dia 17 de Julho de 2015 (período de tempestade geomagnética calma), com o registro da atividade geomagnética terrestre monitorada segundo o índice DsT (*Disturbance Storm Index*) fornecido pelo NOAA (*National Center for Environmental Information*). Vale ressaltar que ao ano 2015 refere-se ao período do pico do ciclo solar 24 e os meses, Março e Julho, referem-se, respectivamente, ao equinócio (máxima densidade de elétrons) e solstício (mínima densidade de elétrons). A Figura 1 mostra a localização das estações escolhidas.

Figura 1: Localização das estações.

As séries temporais diárias do efeito ionosférico foram construídas para cada satélite rastreado nas estações com taxa de 15 segundos. A estimativa das componentes de variância através do MMQ (LS-VCE) foi implementada no MATLAB (www.mathworks.com). Como parte da estimativa, ao final do processo, é aplicado o teste de hipótese *w* com objetivo de se caracterizar o comportamento estocástico assumido pela série temporal do efeito ionosférico para cada satélite GPS, levando em consideração as variações sazonais e espaciais do comportamento ionosférico.

A Figura 2 mostra o comportamento das séries temporais do efeito ionosférico de primeira ordem para os trinta e dois (32) satélites GPS visíveis no dia 17 de Março de 2015 para a estação BRAZ, enquanto que a Figura 3 apresenta uma série temporal do efeito ionosférico de primeira ordem discretizada para um satélite, no caso, o PRN 01, para o mesmo dia e estação

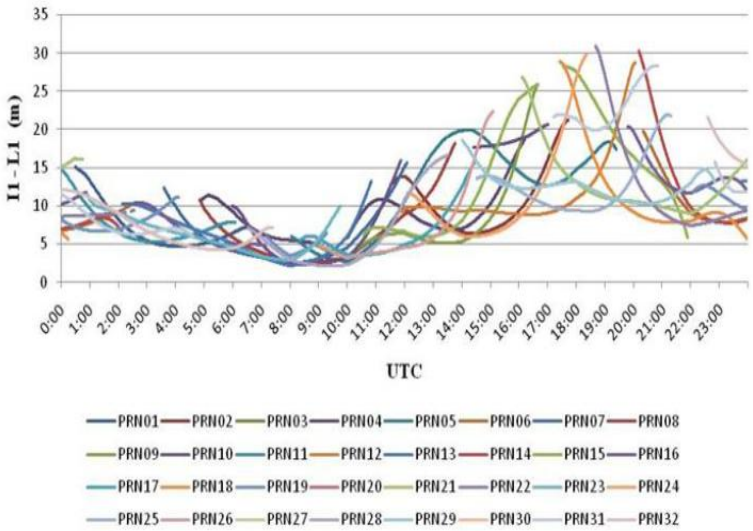


Figura 2. Série temporal do efeito ionosférico de primeira ordem dos 32 satélites GPS para o dia 17 de Março de 2015.

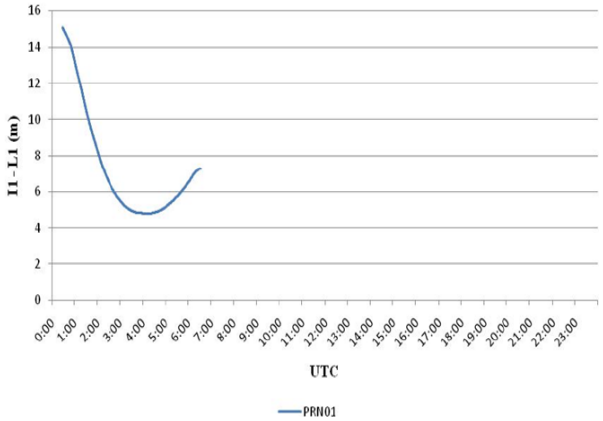


Figura 3. Série temporal do efeito ionosférico de primeira ordem para o satélite PRN01 para o dia 17 de Março de 2015.

Foram realizados dois experimentos para a identificação dos ruídos nas séries temporais utilizando a LS-VCE: No primeiro experimento (Experimento 1) utilizou-se como MVC das observações aproximadas ($\sum_{L_b}$) uma matriz nula, sendo que aplicado um modelo de função linear, do tipo E(Y) = Y0 + rt, para a matriz design A. Já no segundo experimento (Experimento 2) um modelo de função quadrática do tipo $E(Y) = Y0 + rt + zt^2$ foi aplicado para a matriz A e utilizou-se como MVC das observações aproximadas ($\sum_{L_b}$) uma matriz identidade. Em todos os experimentos adotou-se como componentes de variância iniciais o valor igual a $2*10^{-5}$.

A Tabela 1 mostra a estimativa das componentes de variância, realizado no primeiro experimento, para as todas as, referente ao dia 17 de Março de 2015, dia de registro de uma tempestade geomagnética do tipo Muito Intensa, e para o dia 17 de Julho de 2015, dia em que se registrou uma atividade geomagnética do tipo calma.

Tabela 1 – Estimativa de componentes de variância e teste *w* das séries temporais do efeito ionosférico de 1ª ordem do satélite PRN04 (Experimento 1).

Estação	**Mês**	**Componentes de variância**			**Teste estatístico *w***	
		σ_w^2	σ_f^2	σ_{rw}^2	$Q_y = \sigma_w^2 I + \sigma_f^2 Q_f$	$Q_y = \sigma_w^2 I + \sigma_{rw}^2 Q_{rw}$
BRAZ	17/Março	1,265E-05	-1,136E-03	2,410E-04	3,249E+04	3,746E+04
	17/Julho	4,102E-05	-1,471E-03	2,375E-04	1,750E+05	2,414E+05
CHPI	17/Março	1,982E-04	6,818E-03	-2,200E-03	1,673E+04	-2,237E+04
	17/Julho	1,134E-05	-1,015E-03	2,135E-04	1,634E+05	2,123E+05
SALU	17/Março	5,895E-06	-5,181E-04	1,089E-04	3,227E+04	4,087E+04
	17/Julho	4,359E-06	-2,952E-04	5,868E-05	1,501E+05	2,046E+05
SAVO	17/Março	5,895E-06	-5,181E-04	1,089E-04	3,227E+04	4,087E+04
	17/Julho	4,230E-05	1,092E-03	-3,906E-04	8,565E+04	-1,208E+05
POVE	17/Março	6,002E-06	-4,774E-04	9,909E-05	1,111E+04	9,640E+03
	17/Julho	4,060E-05	-1,409E-03	2,040E-04	4,257E+05	6,005E+05
UFPR	17/Março	9,610E-05	-4,031E-03	7,748E-04	3,630E+04	4,991E+04
	17/Julho	2,867E-05	-1,649E-03	3,204E-04	5,015E+04	6,667E+04

Sabendo que a estatística *w* tabelada é igual a 1,64, sob o nível de significância de $\alpha = 5\%$, verifica-se a partir da Tabela 1 que as estatísticas calculadas apresentam valores absolutos superiores a esse valor, permitindo inferir que as séries temporais do efeito ionosférico para o sinal GPS do satélite PRN04, para todas as estações são compostas não somente do ruído branco, mas também de outros tipos de ruídos.

A identificação de qual o modelo estocástico mais adequado para representar a série temporal do efeito ionosférico, indicando se esta será composta por ruído branco e ruído rosa ou ruído branco e ruído caminho aleatório, é fornecida pelo maior valor absoluto do teste estatístico entre os dois modelos. Além disso, é imprescindível analisar o sinal algébrico das componentes de variâncias estimadas. Se tal componente apresentar valor negativo implica que o

modelo de ruído a que se refere não é apropriado e deve ser retirado do modelo estocástico. Nesse sentido, verifica-se que para as estações BRAZ, SALU, POVE e UFPR, o modelo mais provável para a série do efeito ionosférico de primeira ordem, referente ao o satélite PRN04, no caso do Experimento 1, é o modelo estocástico composto por ruído branco e caminho aleatório, enquanto que, para as outras estações (CHPI e SAVO) o modelo estocástico é composto por ruído branco e ruído rosa. Além disso, verifica-se que o comportamento ruído branco e ruído rosa é percebido no sinal do satélite PRN04 para a estação CHPI no dia de atividade geomagnética muito intensa (17 de Março de 2015) enquanto que para a estação SAVO, o mesmo resultado acontece para o dia de atividade geomagnética calma (17 de Julho de 2015). Para todos os demais satélites GPS, o comportamento estocástico observado através da estimativa das componentes de variância a partir do MMQ foi do tipo ruído branco e ruído caminho aleatório, confirmando, num primeiro momento, a aproximação que tem sido utilizada na estimativa da ionosfera como mostram Manucci et al. (1993) e Sardon et al. (1994).

No Experimento 2, verifica-se que o comportamento estocástico do tipo ruído branco e ruído caminho aleatório predomina na maioria dos satélites GPS, em ambos os cenários de atividade geomangética (Dias 17 de Março e 17 de Julho de 23015), tendo o comportamento ruído branco e ruído rosa acontecendo nos seguintes satélites:

Tabela 2 – Estações e Satélites com sinal GPS apresentando comportamento estocástico ruído branco e ruído rosa.

Estação	Satélite
BRAZ	PRN 07
POVE	PRN 27
SALU	PRN 14
SAVO	PRN 10
SAVO	PRN 32
UFPR	PRN 10

Com base na Tabela 2, verifica-se que o comportamento estocástico do tipo ruído branco e ruído rosa também acontece em séries temporais do efeito ionosférico de primeira ordem. Tais resultados mostram que a adoção do modelo ruído branco e ruído caminho aleatório para tal efeito pode ser considerado, em situações específicas, uma modelagem bastante otimista.

No que diz respeito à construção da MVC (Matriz Variância Covariância) do efeito ionosférico de primeira ordem, verificou-se que os valores de desvio-padrão obtidos variam entre 0,001 m e 0,027 m.Sabe-se que para ajustamento de dados GNSS, o modelo funcional e o modelo estocástico são indispensáveis no processo de estimação dos parâmetros. Por exemplo, em técnicas de posicionamento absoluto, a precisão do efeito ionosférico será utilizada em estratégias de ponderação em função do ângulo de elevação dos satélites para a obtenção do modelo estocástico. Acontece que, neste caso, a precisão da ionosfera é obtida a partir do mapa ionosférico (global ou regional), o qual é mapeado para o trajeto entre o receptor e o satélite através do uso da função de mapeamento, e da incerteza do conteúdo total de elétrons na vertical (VTEC – *Vertical Total Electron Content*). A incerteza do VTEC pode ser extraída a partir de valores disponibilizados pelo próprio mapa, por exemplo, os quais nem sempre estão disponíveis ou são inseridos de forma empírica conforme se vê em estudo desenvolvido por Rocha (2015).

Nesse sentido, faz-se necessária a adoção de uma magnitude para a precisão da ionosfera mais realista ($\Sigma_I = \Sigma_0 + \sigma^2_w Q_w + \sigma^2_{rw} Q_{rw} + \sigma^2_f Q_f)$) a fim de se aplicar um modelo estocástico mais adequado nas técnicas de posicionamento absoluto, e que leve em consideração todos os possíveis comportamentos estocásticos (w: ruído branco, rw: ruído do tipo caminho aleatório e f: ruído rosa) presentes numa série do efeito ionosférico em sinais GNSS. A obtenção do modelo estocástico, além da magnitude da precisão através da estimativa das componentes de variâncias a partir do MMQ, contribuem nesse sentido. Além disso, atualmente na estimativa dos efeitos ionosféricos através da técnica do PPP (Posicionamento por Ponto Preciso), por meio da utilização do Filtro de Kalman, os parâmetros da ionosfera são tratados como processos estocásticos no ajustamento recursivo dos dados GNSS, fazendo uso de comportamentos do tipo caminho aleatório e ruído branco. Espera-se que a partir da aplicação da estimativa das componentes de variância através do MMQ, obtenha-se um modelo estocástico para o efeito ionosférico mais detalhado, em função dos três comportamentos: caminho aleatório, ruído branco e ruído rosa, como acontece em diversos estudos de modelagem estocástica para coordenadas GNSS.

6 CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentada a estimativa das componentes de variância através do MMQ (LS-VCE) como alternativa para a modelagem estocástica do efeito ionosférico de primeira ordem em sinais GPS, considerando dados de estações de monitoramento contínuo localizadas no território brasileiro, em dois cenários de atividade geomagnética diferentes: atividade geomagnética calma e muito intensa.

Pode-se verificar que em ambos os experimentos realizados houve a predominância de uma identificação de ruídos com comportamento ruído branco e ruído caminho aleatório, porém com registro do comportamento estocástico ruído branco e ruído rosa. Nesse sentido, a técnica LS-VCE possibilita a construção de um modelo estocástico mais realista para o tipo de observação em estudo, no caso, o efeito ionosférico de primeira ordem em sinais GPS. Além disso, é obtida ao final dos processamentos, a magnitude da precisão para o efeito ionosférico de primeira ordem em ambos os experimentos. Entre as diversas contribuições da obtenção da magnitude da precisão do efeito ionosférico, para os estudos das ciências geodésicas, destacam-se a estimativa da ionosfera através do PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) aplicando, por exemplo, o ajustamento através do Filtro de Kalman; e a adoção da incerteza da ionosfera na estimativa do VTEC em função dos ângulos de elevação dos satélites.

Diante dos resultados apresentados, pode-se concluir que a adoção de uma modelagem estocástica para o efeito ionosférico de primeira ordem pode ser melhor discretizada em outros tipos de comportamento além da combinação do ruído branco e ruído caminho aleatório, neste caso, o ruído branco e o ruído rosa.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro através do processo nº 448488/2014-0.

REFERÊNCIAS

ALLAN, D. W.; BARNES, J. **A modified "Allan variance" wit increased oscilator characterization ability. Proceedings.** 35th Ann. Freq. Control Symposium, Ft. Monmouth, 1981.

AMIRI-SIMKOOEI, A. R. "**Least-squares variance component estimation: Theory and GPS applications."** 2007. 208p. Ph.D. Thesis, Delt Univ. of. Technology, Delft, The Netherlands.

AMIRI-SIMKOOEI, A. R.; TIBERIUS, C. C. J. M; TEUNISSEN, P. J. G. **Assesment of noise in GPS coordinate time series: Methodology and Results.** In *Journal of Geophysical Research*, v. 112. 2007. 19p.

BASSIRI, S & HAJJ, G. A. **Higher-order ionospheric effects on the global positioning systems observables and means of modeling them.** Manuscr. Geod. 18: 280-289. 1993.

BROWN, R. G.; HWANG, P. Y. C. **Introduction to random signals and applied Kalman filtering.** 2. ed. USA: John Wiley & Sons, Inc., 1992. 502p.

DAVIES, K.; SMITH, E. K., **Ionospheric Effects on Satellite Land Mobile Systems.** IEEE Antenna's and Propagation Magazine, Vol 44, Nº 6, 2002, pp 24-31.

DAVIES, K. **Ionospheric radio.** London: Peter Peregrinus Ltd., 1990. 580 p.

FONSECA JUNIOR, E. S. **O sistema GPS como ferramenta para a avaliação ionosférica no Brasil.** 2002. 176p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

GELB, A.; KASPER JR., J. F.; NASH JR., R. A.; PRICE, C. F.; SUTHERLAND JR., A.A. **Applied optimal estimation.**Cambridge, Massachusetts: The M.I.T. Press, 1974. 374p.

GEMAEL, C.; MACHADO, A. M. L; WANDRESEN, R. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas.**2ª ed. Curitiba: Editora UFPR, 2015. 430p.

HERNANDEZ-PAJARES, M. et. al. **Section 9.4 Ionospheric model for radio techniques of Chapter 9 Models for atmospheric propagation delays of IERS Conventions 2010.** In: Petit G.; Luzum, B (eds) IERS Technical Note No. 36. Verlag des Bundesamts fur Kartographie und Geodasie, Frankfurt am Main. 2010.

MANNUCCI, A. J.; WILSON, B. D.; EDWARDS, C. D. **A new method for monitoring the Earth's ionospheric total electron using the GPS glogal network.** In: Proceedings of the Institute of Navigation GPS-93, p. 1323, Int. Of Navig., Alexandria, Va., 1993.

MARQUES, H. A. S. **Modelo estocástico para dados GNSS e séries temporais de coordenadas GNSS.** 2013. 205f. Teste (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

MARQUES, H. A.; MONICO, J. F. G.; AQUINO, M. **RINEX_HO: Second and Third Order Ionospheric Corrections for RINEX Observations File.** GPS Solutions, 2011.

MATSUOKA, M. T. **Influência de diferentes condições da ionosfera no posicionamento por ponto com GPS: Avaliação na região brasileira.** 2007.263 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

McNAMARA, L. F. **The Ionosphere: communicattions, surveillance, and direction finding.** Florida: Krieger Publishing Company, 1991. 237 p.

MONICO, J. F. G.; **Posicionamento pelo GNSS:** descrição, fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo: Unesp, 2008. 476p.

SARDON, E.; RUIS, A.; ZARRAOA, N. Estimation of the transmitter and receiver differential biases and the ionospheric total electron content from Global Positioning Ssytem observations. **Radio Sci**., 29, 527, 1994.

ROCHA, G. D. C.; **Avaliação e Mitigação dos efeitos ionosféricos no PPP GNSS no Brasil.** 2015. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

MOREIRA, R. J. S.; **Análise das Características de Ruído em Séries Temporais GPS.** 2013. 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geográfica) – Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa.

PRESS, W. H. **Flicker noises in Astronomy and Elsewhere.** Comments Astrophys. 1978. V.7, n.4, p.103-119.

TEUNISSEN, P. J. G.; KLEUSBERG, A. **GPS for geodesy.** 2.ed. New York: Spring-Verlag, 1998.

WILLIAMS, S. D. P. **The effect coloured noise on the uncertainties of rates estimated from geodetic time series.** Journal of Geodesy. v. 76, 2003, p. 483-494. DOI: 10.1007/s00190-002-0283-4.

WILLIAMS, S. D. P.; **Error analysis of continuous GPS position time series.** Journal of Geophysical Research. V. 109, 2004, n. B03412. DOI: 10.1029/2003JB002741.

ZHANG, J.; BOCK, Y.; JOHNSON, H.; FANG, P.; WILLIAMS, S.; GENRICH, J.; WDOWINKI, S.; BEHR, J. **Southern California permant GPS geodetic array: error analysis of daily position estimates and sites velocities.** Journal of Geophysical Research. V. 102, 1997, n. B8, p. 18035-18055.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

INFRAESTRUTURA GEODÉSICA/TOPOGRÁFICA PARA LEVANTAMENTO E LOCAÇÃO DE OBRAS: MÉTODO DA POLIGONAÇÃO COM CENTRAGEM FORÇADA E MÉTODO GNSS/RTK

MARCELLA FERNANDES DE OLIVEIRA MELO[1]
SABRINA DE OLIVEIRA GOMES[1]
VANESSA NUNES DE LIMA[1]
ANDRÉA DE SEIXAS[2]

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências – CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
[1]Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura
[2]Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação
marcella_0402@hotmail.com, o.sabrina.gomes@gmail.com, vanessanunes275@gmail.com, aseixas@ufpe.br

RESUMO - Em uma obra de Engenharia, é imprescindível o controle do posicionamento dos elementos que fazem parte do projeto de locação, bem como o levantamento dos elementos naturais e artificiais que cercam o ambiente construtivo, sendo de vital importância os métodos de levantamentos geodésicos/topográficos. A ausência desse conhecimento pode trazer consequências graves como custos adicionais e tempo para correção de erros de posicionamento que, caso não sejam solucionados, podem se propagar por toda obra. Sendo assim, devem-se utilizar os métodos de levantamento e locação adequados. Portanto, este trabalho tem como proposta comparar Infraestruturas Geodésicas/Topográficas implantadas com o método da Poligonação com Centragem Forçada e Método GNSS/RTK (Global Navegation Satelite System/Real Time Kinematic). O método da poligonação atingiu uma qualidade boa a partir dos dados levantados, obtendo-se uma precisão relativa de 1:47440 e erro angular de 21'', mostrando-se assim, dentro da classificação de levantamento entre 1:10000 e 1:50000. Além disso, os mesmos vértices da poligonal foram levantados utilizando-se o método GNSS/RTK, cujas coordenadas comparadas ao método da poligonação atingiram discrepâncias em módulo máxima de 12 mm e mínima de 3 mm em X, e discrepâncias máxima de 12 mm e mínima de 0 mm em Y.

ABSTRACT - In an engineering project, it is essential to control the positioning of the elements that are part of the leasing project, as well as the survey of the natural and artificial elements that surround the constructive environment, being of vital importance the methods of Geodetic/Topographic surveys. The absence of such knowledge can have serious consequences such as additional costs and time to correct positioning errors which, if left unresolved, can spread throughout the work. Therefore, appropriate survey and lease methods should be used. Therefore, this work has as a proposal to compare the Geodetic/Topographic Infrastructures implanted with the Forced Centering Poligonation method and GNSS/RTK (Global Navegation Satellite System / Real Time Kinematic) method. The polygon method achieved a good quality from the data collected, obtaining a relative precision of 1: 47440 and angular error of 21", thus showing, within the survey classification between 1: 10000 and 1: 50000 . In addition, the same vertices of the traverse were raised using the GNSS/RTK method, whose coordinates compared to the polygon method reached discrepancies in maximum modulus of 12 mm and minimum of 3 mm in X, and discrepancies maximum of 12 mm and minimum of 0 mm in Y.

1 INTRODUÇÃO

Uma infraestrutura geodésica é constituída de uma rede de pontos materializados sobre a superfície terrestre, cujas coordenadas estão estabelecidas e atreladas a um Sistema Geodésico de Referência. Esses pontos são utilizados como apoio para diversas atividades que necessitam de um posicionamento, tais como georreferenciamento de imóveis, levantamentos topográficos, controle dimensional de estruturas, medição e locação de obras, entre outros.

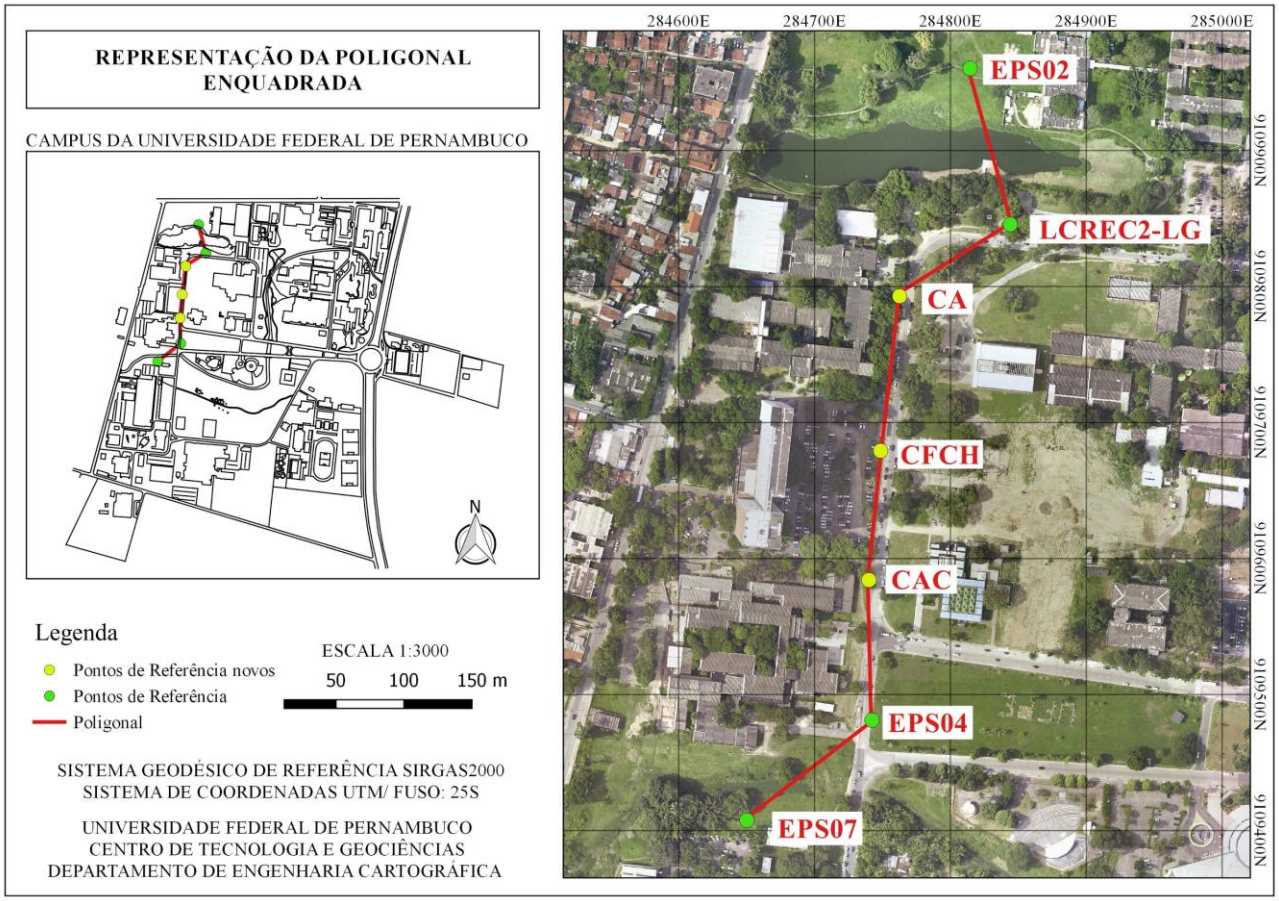
Em uma obra de engenharia, é imprescindível o controle do posicionamento dos elementos que fazem parte do projeto de locação, bem como o levantamento dos elementos naturais e artificiais que cercam o ambiente construtivo,

sendo de vital importância os métodos de levantamentos geodésicos/topográficos nas etapas de planejamento e execução de uma obra. A ausência desse conhecimento pode trazer consequências graves como custos adicionais e tempo para correção de erros de posicionamento que, caso não solucionados, podem se propagar por toda obra. Como forma de evitar tais erros ou minimizá-los o máximo possível, devem-se utilizar os métodos de levantamento e locação mais adequados e correlacioná-los com a qualidade que se deve atingir. Além disso, associado a estes métodos, o ajustamento das observações é muito importante para o controle e análise da qualidade dos dados para a determinação de pontos de referência com finalidade de aplicação em projetos de engenharia.

Portanto, este trabalho tem como proposta comparar infraestruturas geodésicas (pontos materializados no terreno e referenciados a um Sistema Geodésico de Referência (SGR) implantadas com o método da poligonação com centragem forçada e o método GNSS/RTK (Global Navegation Satelite System/Real Time Knematic). Estas estruturas geodésicas poderão ser utilizadas para trabalhos de levantamentos e locações de obras nas suas redondezas.

As atividades foram executadas dentro do *Campus* Recife da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, nas imediações entre o Colégio de Aplicação e o Centro de Tecnologia e Geociências (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de representação da área de estudo.



Fonte: autores.

Os pontos de apoio para execução tanto do método da poligonação com centragem forçada quanto para o método de levantamento com GNSS/RTK foram implantados com caminhamento saindo da Nascente do Riacho do Cavouco (“Laguinho do Cavouco”), base inicial LCREC2-LG e EPS02, localizada próximo ao Colégio de Aplicação da UFPE, até o marco geodésico EPS04 (base final EPS04 e EPS07) próximo ao Centro de Tecnologias e Geociências – CTG.

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para implantação da infraestrutura geodésica/topográfica foi:

- Materialização dos vértices da infraestrutura geodésica/topográfica;

- Levantamento utilizando o método da poligonação com centragem forçada;
- Levantamento utilizando o método de posicionamento GNSS/RTK;
- Análise e Comparação dos resultados.

2.1 Materialização dos vértices da infraestrutura geodésica

Para a implantação e materialização dos vértices da infraestrutura geodésica foram utilizadas hastes metálicas de 25cm de comprimento fixadas ao solo. A escolha dos lugares onde os pontos seriam materializados foram determinados de forma a fornecer a possibilidade da aplicação dos métodos de levantamento planialtimétrico com centragem forçada e do levantamento com o GNSS/RTK, assim como o aproveitamento da infraestrutura geodésica já existente no Campus da UFPE e abordadas em (MENDONÇA et al. 2010), (VILA FLOR, 2010), (SILVA e SEIXAS, 2017) e (SILVA e SEIXAS, 2018). Essa infraestrutura preexistente é composta das RRNN, materializadas com pinos de superfície semiesférica, e dos marcos geodésicos da Rede de Referência Cadastral da UFPE, materializados com pilares e pinos de centragem fixa (modelo IBGE 2008).

Os vértices implantados neste trabalho foram denominados: CA, CFCH e CAC, como dispostos na Figura 2. Além desses também foram observadas as RNEPS04 e RNEPS07 ao longo do desenvolvimento da poligonal pelo método da irradiação e pelo método GNSS/RTK.

Figura 2 - Pontos implantados da poligonal, CA, CFCH e CAC, respectivamente.

(a) CA (b) CFCH (c) CAC

2.2 Materiais Utilizados

O Quadro 1 apresenta os materiais utilizados para cada métodos empregado.

Quadro 1 – Materiais utilizados.

Materiais Utilizados	
Método da Poligonação com Centragem Forçada	**Método GNSS/RTK**
2 Estações Totais	1 Tripé
3 Tripés	RTK (receptor Base e receptor Rover)
1 Bastão para prisma	1 controladora
2 Prismas	1 Bastão
1 Trena de fibra de vidro	Software Topcon Link
1 Base nivelante e 2 adaptadores base-prisma	Software Excel (Processamento dos dados)
Software Excel (Processamento dos dados)	Software Qgis versão 2.18.16
Software Qgis 2.1816	-
Software AutoCad 2014	-
Software Adjust (WOLF e GHILANI, 1996)	
Software AstGeoTop (GARNÉS, 2017)	

2.3. Levantamento utilizando o método da poligonação com centragem forçada

A poligonação trata-se de um dos métodos para determinar coordenadas de pontos de referência muito empregadas na Topografia, principalmente para definição de pontos de apoio planimétricos. Este tipo de levantamento é realizado através da medição de direções horizontais, distâncias inclinadas e ângulos verticais zenitais de alinhamentos consecutivos de poligonais denominadas fechadas ou apoiadas em vértices de coordenadas conhecidas, sendo possível quantificar e controlar os erros lineares e angulares do levantamento poligonal. O levantamento de uma poligonal é realizado através do método de caminhamento, percorrendo-se o contorno de um itinerário definido por uma série de pontos, medindo-se todos os ângulos, lados e uma orientação inicial. A partir destes dados e das coordenadas do vértice de partida, é possível calcular as coordenadas de todos os vértices a serem implantados (VEIGA, 2012).

Segundo Kahmen e Faig (1988), para minimizar os erros de centragem em um ponto e certificar uma melhor qualidade dos dados ainda que os instrumentos de medição sejam trocados de posição, é necessário aplicar o método da centragem forçada. Para este procedimento utilizam-se tripés e bases nivelantes com adaptadores para prisma e base extras, de forma a apresentar uma centragem que não será modificada durante o procedimento de medição, onde durante as medições só a alidade da estação total e o prisma possam ser trocados, permitindo que os tripés e as bases nivelantes permaneçam fixas e centradas no mesmo local. Para isso, é necessário no mínimo três tripés, dois prismas e duas bases nivelantes com adaptadores de prisma e base, além da estação total para a realização do levantamento. Esse método dá uma precisão entre ± 0,03mm a 0,1 mm para a centragem.

As poligonais segundo a NBR 13133 (ABNT, 1994), são classificadas em três tipos, tipo 1, 2 e 3. Estes três tipos de poligonais permitem a realização do ajustamento das poligonais implantadas e o estabelecimento de tolerâncias para os erros de fechamento angular e linear.

- Poligonal tipo 1: São poligonais apoiadas e fechadas em uma só direção e em um só ponto.
- Poligonal tipo 2: São poligonais apoiadas e fechadas em direções e pontos distintos com desenvolvimento curvo.
- Poligonal tipo 3: São poligonais apoiadas e fechadas em direções e pontos distintos com desenvolvimento retilíneo.

Neste trabalho foi implantada uma poligonal apoiada e enquadrada tipo 3 pois é a mais utilizada para caminhamentos longitudinais. Esse tipo de poligonal é geometricamente aberta e matematicamente fechada permitindo cálculos de azimutes e ângulos internos, possibilitando a verificação do erro de fechamento angular e linear.

O método da poligonação com centragem forçada foi realizado com o objetivo de determinar as coordenadas finais da poligonal apoiada tipo 3, tendo como vértices de referência EPS02, LCREC2-LG, EPS04 e EPS07 (Tabela 1 e Tabela 2). A poligonal é composta por cinco vértices (LCREC2-LG, CA, CFCH, CAC e EPS04).

Tabela 1 – Coordenadas dos marcos geodésicos utilizados.

Coordenadas dos marcos geodésicos		
ID MARCO	X (m)	Y (m)
EPS04	149811,215	249927,136
EPS07	149718,398	249854,31
EPS02	149885,595	250406,169

Fonte: Mendonça et al. 2010 e Vila Flor 2010.

Tabela 2 - Vértice de coordenadas conhecidas.

Vértice de coordenadas conhecidas		
Vértice	X (m)	Y (m)
LCREC2-LG	149914,449	250291,174

Fonte: Disciplina de Levantamentos geodésicos 2017.1.

2.3.2. Transformação de Helmert – 2D

A utilização da transformação de Helmert é altamente importante para a realização de transformações de coordenadas de um sistema de referência para outro, diante disso, para que a aplicação seja possível é necessário utilizar mais de dois pontos de referência, quando se deseja aplicar o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), onde os mesmos pontos tenham coordenadas conhecidas em ambos os sistemas (WOLF e GHILANI, 1997).

No caso da poligonal enquadrada tipo 3, os pontos identificados nos dois sistemas são definidos pelos pontos de referência da base inicial e base final que compreendem a poligonal implantada (Figura 1), neste trabalho 4 pontos de coordenadas conhecidas.

Para o levantamento realizado, utilizaram-se os marcos geodésicos EPS02, EPS04 e EPS07 e o vértice LCREC2-LG para os pontos de coordenadas conhecidas (pontos de controle) e assim realizar a transformação partindo deles. Logo, foi necessário utilizar as equações 1 a 8:

$$a_{X\text{-}EPS02} - b_{Y\text{-}EPS02} + c = X_{EPS02} + V_{X\text{-}EPS02}. \quad (1)$$
$$a_{Y\text{-}EPS02} + b_{X\text{-}EPS02} + d = Y_{EPS02} + V_{Y\text{-}EPS02}. \quad (2)$$
$$a_{X\text{-}LCREC2\text{-}LG} - b_{Y\text{-}LCREC2\text{-}LG} + c = X_{LCREC2\text{-}LG} + V_{X\text{-}LCREC2\text{-}LG}. \quad (3)$$
$$a_{Y\text{-}LCREC2\text{-}LG} + b_{X\text{-}LCREC2\text{-}LG} + d = Y_{LCREC2\text{-}LG} + V_{Y\text{-}LCREC2\text{-}LG}. \quad (4)$$
$$a_{X\text{-}EPS04} - b_{Y\text{-}EPS04} + c = X_{EPS04} + V_{X\text{-}EPS04}. \quad (5)$$
$$a_{Y\text{-}EPS04} + b_{X\text{-}EPS04} + d = Y_{EPS04} + V_{Y\text{-}EPS04}. \quad (6)$$
$$a_{X\text{-}EPS07} - b_{Y\text{-}EPS07} + c = X_{EPS07} + V_{X\text{-}EPS07}. \quad (7)$$
$$a_{Y\text{-}EPS07} + b_{X\text{-}EPS07} + d = Y_{EPS07} + V_{Y\text{-}EPS07}. \quad (8)$$

As equações 1 a 8 apresentadas foram montadas a partir dos pontos conhecidos utilizados, e descrevem as equações de observação para o ajustamento pelo MMQ – modelo paramétrico.

Para o desenvolvimento dos cálculos determina-se um dos pontos como a origem no Sistema de Referência arbitrado para as medições com o instrumento de medição. No caso o ponto LCREC2-LG foi definido como origem desse sistema e a partir do transporte de coordenadas foram determinados os novos pontos de apoio imediato (CA, CFCH, CAC) nesse sistema arbitrado (Tabela 3).

Tabela 3 – Coordenadas do SGL (X,Y) e coordenadas do sistema arbitrário (x, y).

ID	X (m)	Y (m)	x (m)	y (m)
EPS02	149885,595	250406,169	0,000	118,566
REC2-LG	149914,449	250291,174	0,000	0,000
EPS04	149811,215	249927,136	-188,726	-327,969
EPS07	149718,398	249854,310	-296,471	-376,018
CAC	-	-	-165,631	-227,508
CFCH	-	-	-133,766	-137,563
CA	-	-	-92,037	-30,914

Para a transformação de Helmert 2D se utiliza 4 parâmetros: 2 de translação, 1 de rotação, 1 fator de escala (WOLF e GHILANI, 1997). As equações 9 a 11 apresentam o modelo para a realização do MMQ – modelo paramétrico e as equações 12 e 13 descrevem o cálculo do parâmetro de rotação e fator de escala, respectivamente.

$$AX = L + V. \quad (9)$$
$$x = (A^T A)^{-1} A^T L = N^{-1} A^T L. \quad (10)$$
$$X = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix}. \quad (11)$$
$$\Theta = \tan^{-1} \frac{a}{b}. \quad (12)$$
$$S = \frac{a}{\cos\theta}. \quad (13)$$

A matriz A é a matriz das observações, onde as duas primeiras colunas da matriz se refere as coordenadas transportadas no sistema arbitrado, coeficientes dos parâmetros a e b, e as outras duas colunas se referem aos coeficientes dos parâmetros c e d (Equação 9). A matriz L contém os valores das coordenadas dos pontos de referência (Equação 9), e a matriz V corresponde a matriz dos resíduos (Equação 9).

2.4. Levantamento utilizando o método GNSS/RTK

O RTK (*Real Time Kinematic)* é um sistema de posicionamento em tempo real, ou seja, é um método de posicionamento onde se utiliza um receptor base e outro rover, no qual o objetivo é receber o cálculo das coordenadas de interesse do levantamento no instante da observação.

De acordo com Monico (2008), normalmente, um sistema RTK é constituído por dois receptores (preferencialmente de dupla frequência) com as respectivas antenas GNSS e um *link* de rádios UHF (modem) necessário para transmitir e receber as correções e/ou observações da estação de referência. Segundo Silva & Segantine (2015), "o receptor da base estabelece uma comunicação com a antena remota e transmite a ela as correções diferenciais produzidas a partir da fase da portadora e do código. O receptor remoto explora, em tempo real, as correções recebidas e as combina com as suas observações para determinar, em tempo real de até 20Hz, as suas próprias coordenadas com uma precisão horizontal da ordem de 1cm a 2cm." Desta forma, esta metodologia associa a tecnologia da navegação por satélite a um rádio modem, sendo possível o cálculo e correção instantâneos de coordenadas, sem a necessidade de pós-processamento em algumas aplicações da engenharia.

Para o levantamento dos vértices materializados em campo, utilizou-se um receptor (base), Figura 2 (b), instalado em um marco geodésico (EPS04) da infraestrutura já existente, Figura 2 (a), onde ao ser instalado no marco geodésico EPS04 inseriu-se as coordenadas planialtimetricas da mesma, e um rover (receptor + bastão), para realização do caminhamento dos vértices "LCREC2-LG", "CA", "CFCH" e "CAC", estacionando-o em cada um deles. Para garantir a precisão do levantamento foram realizadas duas medições por ponto.

Figura 2 – Receptor e rover instalados nos vértices de referência e de apoio, respectivamente.

(a) RN EPS04

(b) EPS04

(c) CAC

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 Método da Poligonação com Centragem Forçada

Os resultados do levantamento com estação total pelo método da centragem forçada foram obtidos após o processamento em planilha Excel, determinando as coordenadas planimétricas dos pontos da poligonal enquadrada (procedimento tradicional) e o erro de fechamento angular, linear e precisão relativa através do método da poligonação (Tabela 4 e 5).

Tabela 4 - Coordenadas no SGL SIRGAS2000 - Método da Poligonação Enquadrada.

Vértices	**Coordenadas Finais**	
	X (m)	Y (m)
RN-EPS02	149885,876	250406,033
CA	149832,705	250238,788
CFCH	149818,196	250125,190
CAC	149809,172	250030,196
EPS04	140811,215	249927,136
RN-EPS04	149810,911	249927,186
EPS07	149718,402	249854,313
RN-EPS07	149718,520	249854,039

Para analisar o erro de fechamento linear utilizou-se a precisão relativa do levantamento, através da mesma pôde-se verificar a tolerância do erro. A qualidade do levantamento pode ser alta, quando a precisão relativa estiver entre 1:50000 ou melhor, boa, quando estiver entre 1:10000 e 1:50000, regular, quando estiver entre 1:5000 e 1:10000 e baixa quando estiver entre 1:500 e 1:5000 (SILVA e SEGANTINE, 215).

Dado a Tabela 5, pode-se observar que o levantamento obteve uma precisão relativa de 1:47440,44678, que segundo Silva & Segantini (2015) é classificado como de qualidade boa, podendo ser aplicado para levantamentos utilizando estações totais com precisão angular entre 2'' a 7'' e precisão linear da ordem de 2mm + 2ppm ou teodolitos e trena de aço, é recomendada a centragem forçada. Essa observação que os autores fazem se enquandra no tipo de levantamento realizado, visto que o mesmo utilizou o mesmo equipamento e a aplicação da centragem forçada. Dado a isso, esse tipo de levantamento pode ser realizado para diversas atividades da Engenharia, tais como, civil, rodovias, locação de obras, levantamentos cadastrais urbanos, loteamento e outros (Silva & Segantini, 2014).

Tabela 5 – Erro angular, Linear e Precisão relativa - Método da Poligonação Enquadrada.

Erro angular (seg.)	**Erro linear**	**Precisão relativa**
20,66''	0,008645m	1/47440,44678

3.3 Transformação de Helmert – 2D

A partir da Tabela 6 pode-se observar os resíduos obtidos após o ajustamento dos pontos de controle, é possível perceber que o menor resíduo em relação a X foi dos pontos EPS02 e LCREC2-LG, alcançando um valor 0,000 m, enquanto que o maior resíduo foi para o vértice EPS04 com o valor de 0,003. Em relação ao resíduo Y, tem-se que o menor resíduo foi para o vértice EPS04 com 0,000 m. Ao analisar os resíduos pode-se afirmar que o levantamento teve uma boa qualidade, visto que os valores dos mesmos se aproximam de zero, ou seja, são mínimos.

Tabela 6– Coordenadas dos pontos de controle no SGL SIRGAS2000.

Vértices	**Coordenadas**			
	X (m)	**Y (m)**	**Vx**	**Vy**
EPS02	149885,595	250406,169	0,000	-0,003
LCREC2-LG	149914,449	250291,174	0,000	0,003
EPS04	149811,215	249927,136	0,003	0,000
EPS07	149718,398	249854,310	-0,002	-0,001

Conforme mencionado, para a realização desse método, são necessários os parâmetros de transformação para determinar as coodenadas dos pontos implantados da poligonal no SGL. Esses parâmetros podem ser vistos na Tabela 7, e conforme as equações 12 e 13 eles são necessários para a determinação dos parâmetros de rotação e fator de escala, Tabela 8.

Tabela 7 - Parâmetros de transformação

Parâmetros		**Incertezas**
a =	0,96993	± 0,00001
b =	0,24336	± 0,00001
c =	149914,449	± 0,002
d =	250291,171	± 0,002

Tabela 8 – Parâmetro de rotação e fator de escala

Rotação	**Escala**
14º 5' 5,94''	0,999994

Logo, após a realização dos cálculos foram obtidos as coordenadas do CAC, CFCH e CA, conforme a Tabela 9. Os resultados do processamento realizado em planilha Excel foram controlados utilizando-se o software Adjust, obtendo-se os mesmos resultados.

Tabela 9 – Coordenadas determinadas.

Vértices	Coordenadas	
	X(m)	Y(m)
CAC	149809,165	250030,196
CFCH	149818,183	250125,191
CA	149832,703	250238,788

Conforme a Tabela 10, foi realizada a comparação entre os dois métodos de determinação de coordenadas, ao analisar cada resultado é possível perceber que em relação a X o ponto CAC obteve a menor diferença, com o valor de -0,002 m, enquanto que o ponto CFCH teve o maior valor com -0,013 m. Quando observado o valor em relação a Y tem-se que os vértices CAC e CA obtiveram o mesmo valor nos dois métodos, ou seja, quando calculado a diferença, ambos obtiveram o resultado 0,000 m, apesar do CFCH ter a maior discrepância em Y com 0,001 m o mesmo não deixa de ser considerando uma baixa discrepância, visto que a coordenada Y de Helmert se aproxima do valor da coordenada do Levantamento Planimétrico Estação Total.

Tabela 10 – Comparação entre os metodos de determinação de coordenadas.

Vértices	Transformação de Helmert 2D		Lev. Planimétrico Estação Total		ΔX(m)	ΔY(m)
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)		
CAC	149809,165	250030,196	149809,172	250030,196	-0,007	0,000
CFCH	149818,183	250125,191	149818,196	250125,190	-0,013	0,001
CA	149832,703	250238,788	149832,705	250238,788	-0,002	0,000

3.4 Método do GNSS/RTK

No software Topocon Link foram descarregados os arquivos de dados do levantamento de campo com o método GNSS/RTK e gerado os resultados nos formatos de arquivo: xml, shp, dxf e dwg, para assim, poder abrir e utilizar esses dados no Bloco de notas, Qgis, e AutoCad, respectivamente. O resultado pode ser visto na Tabela 11, com as coordenadas de cada ponto levantado.

Tabela 11 – Coordenadas UTM SIRGAS2000 - Método do GNSS/RTK

Vértices	Coordenadas Finais				
	E (m)	N (m)	h (m)	Precisão Horizontal (m)	Precisão Vertical (m)
RN-EPS02	284814,497	9109960,335	3,138	-	-
RN-EPS04	284742,271	9109481,155	3,715	0,009	0,013
LCREC2-LG	284844,101	9109845,702	4,133	0,012	0,019
CAC	284740,038	9109584,185	3,689	0,010	0,013
CFCH	284748,618	9109679,249	4,038	0,010	0,015
CA	284762,593	9109792,919	3,624	0,011	0,020
RN-EPS07	284650,210	9109407,578	3,414	-	-

A Tabela 11 apresenta as coordenadas de cada ponto levantado juntamente com os erros posicionais e verticais, realizando uma análise dos pontos observa-se que a RN-EPS04 foi o ponto que alcançou o menor erro posicional, com 0,009 m, enquanto que o ponto LCREC2-LG alcançou o maior erro posicional, com 0,012 m. Em relação ao erro vertical tem-se que a RN-EPS04 e o vértice CAC ambos obtiveram 0,013 m de erro vertical, sendo esse o menor erro observado, enquanto que o vértice CA obteve um erro de 0,020 m, sendo o maior erro vertical entre os pontos levantados.

Como a poligonal foi levantada por dois métodos, com estação total pelo método da centragem forçada, e por GNSS/RTK, foi possível com auxílio do programa AstGeoTop, transformar as coordenadas locais em coordenadas UTM obtidas pelo segundo levantamento, e assim poder comparar os resultados obtidos pelos dois métodos.

Tabela 12 - Comparação entre os métodos de levantamento no SGL SIRGAS2000.

Lev. GNSS/RTK			**Lev. Planimétrico com Estação Total - Poligonação**		**∆X(m)**	**∆Y(m)**
Vértices	**X (m)**	**Y(m)**	**X (m)**	**Y(m)**		
RNEPS04	149810,911	249927,175	149810,911	249927,186	-0,000	-0,011
CAC	149809,169	250030,196	149809,172	250030,196	-0,003	0,000
CFCH	149818,201	250125,202	149818,196	250125,190	0,005	0,012
CA	149832,716	250238,784	149832,705	250238,788	0,011	-0,004
LCREC2-LG	149914,461	250291,169	149914,449	250291,174	0,012	-0,005
RNEPS07	149718,515	249854,051	149718,520	249854,039	-0,005	0,012

Pode-se perceber com a Tabela 12 que as diferenças entre as coordenadas obtidas pelos dois tipos de levantamentos foram em cm no caso da coordenada Y da RNEPS04, que diferenciou 1 cm, assim como também a coordenada Y do CFCH, a coordenada X do LCREC2-LG, e a coordenada X do CA e a Y do RNEPS07, as demais coordenadas diferenciaram-se em mm, sendo a coordenada X do RNEPS04 aproximadamente 4 mm, 3 mm na coordenada X do CAC, 4 mm na Y do CAC, 5 mm na X do CFCH , 3 mm na Y do CA, 5mm na Y do LCREC2-LG, e 5 mm na coordenada X do RNEPS07.

Também foi possível comparar as coordenadas obtidas pelo método GNSS/RTK com as obtidas pela transformação de Helmert 2D, os resultados são apresentados na Tabela 13, onde pode-se perceber que em relação a coordenada X o vértice que teve a menor discrepância entre os métodos foi o CAC com 4 mm de diferença, já a maior discrepância em X foi obtida no vértice CFCH, e em relação a coordenada Y o vértice CAC teve 0,0 mm de discrepância e a maior foi a do CFCH.

Tabela 13 - Comparação entre os métodos de levantamento no SGL SIRGAS2000.

Lev. GNSS/RTK			**Transformação de Helmert 2D**		**∆X(m)**	**∆Y(m)**
Vértices	**X (m)**	**Y(m)**	**X (m)**	**Y(m)**		
CAC	149809,169	250030,196	149809,165	250030,196	0,004	0
CFCH	149818,201	250125,202	149818,183	250125,191	0,018	0,011
CA	149832,716	250238,784	149832,703	250238,788	0,013	-0,004

4 CONCLUSÕES

O levantamento geodésico/topográfico é um conjunto de operações de grande importância para a representação gráfica do terreno, diante disso, apresentaram-se neste trabalho métodos de levantamentos geodésicos/topográficos diferentes que podem ser aplicados para a determinação de infraestruturas geodésicas de forma precisa e acurada, onde cada método possui sua característica própria e depende unicamente do Engenheiro em escolher qual método melhor se enquadra para o problema apresentado, conforme a precisão exigida para o projeto.

Além de apresentar duas maneiras diferentes de realizar um procedimento de campo para a determinação de infraestruturas geodésicas para o levantamento e locação de obras, foi possível realizar a comparação entre os métodos aplicados, e observar e analisar a qualidade dos dados adquiridos e respectivos resultados alcançados.

Neste trabalho foi possível implantar uma infraestrutura geodésica pelo método da poligonação com erro de fechamento angular de 20,66'' e precisão relativa de 1/47440,44678 , que de acordo com a tolerância para o erro de fechamento linear em função da precisão relativa, obteve-se para qualidade do levantamento a precisão classificada como boa, ou seja, entre 1:10000 e 1:50000. Também foi possível aplicar o método de levantamento GNSS/RTK que a partir das tolerâncias planimétricas de $\leq$ 2,5 cm e altimétrica $\leq$ 3 cm inseridas na controladora, obtiveram-se os erros posicionais, cujos os resultados variaram de ± 0,009 m a ± 0,012 m e erros verticais, cujos resultados variaram de ± 0,013 m a ± 0,020 m.

Embora o método da poligonação tenha obtido um melhor resultado, o mesmo demanda de uma equipe maior e de mais tempo de medição em campo, enquanto que o método de levantamento GNSS/RTK só necessita de pelo menos duas pessoas em campo, além do tempo de observação ser bem inferior, já que, nesse trabalho, uma leitura pôde ser realizada em 5 segundos, esse tempo foi alcançado quando a configuração dos satélites foi adequada e permitiu a solução fixa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos alunos das disciplinas de Levantamento e Locação de obras de 2017.2 do Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura e Levantamentos Geodésicos de 2017.1 do Curso de Pós-Graduação, que participaram do procedimento e aquisição de dados em campo. Ao Projeto de Pesquisa LITPEG/CTG/UFPE - Propesq/UFPE.

REFERÊNCIAS

ABNT, NBR 13133/94-**Execução de levantamento topográfico**, 1994.

IBGE. **Padronização de Marcos Geodésicos.** Diretoria de Geociências, Coordenação de Geodésia, 2008.

KAHMEN, H.; FAIG, W. **Surveying. Berlin: Ed. de Gruyter**, 1988.

MENDONÇA, F. J. B.; GARNÉS, S. J. A.; PEREIRA, C. M.; NETO, J. A. B. N.; MELO, W. D. A. **Análise do Ajustamento por Mínimos Quadrados de uma Trilateração Topográfica com Injunções nos Planos UTM e Topocêntrico.** III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, III SIMGEO 2010, Recife – PE, 27 – 30 de Julho de 2010 p. 001 de 009.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.** 2.ed. São Paulo: Unesp, 2008. 473p.

SILVA, E. V.; SEIXAS, A. de. **Análise temporal da qualidade de estruturas da Raap no *Campus Recife* da UFPE e o estabelecimento de uma rede altimétrica local**. IV Simpósio Brasileiro de Geomática, SBG 2017; II Jornadas Lusófonas - Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica - CTIG 2017, 2017, Presidente Prudente - SP, 24-26 de julho de 2017.

SILVA, G. P; SEIXAS, A de. **Locação de Pilares de Edificações: Método Polar, Método GNSS RKT e Método por Cavalete**. VSIMGEO, Recife-PE, 2014.

SILVA, E. V. ; SEIXAS, A. de . **O Estabelecimento de Padrões de Referência Metrológica: Controle e Análise da Qualidade de Estruturas Geodésicas Altimétricas Implantadas no Campus Recife da UFPE**. RBC. Revista Brasileira de Cartografia (ONLINE), 2018.

SILVA, I. da; SEGANTINE, P. C. L. **Topografia Para Engenharia: Teoria e Prática de Geomática.** Editora Campus. 1ª Ed., 2015.

VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. **Fundamentos de Topografia**. Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Universidade Federal do Paraná, 2012.

VILA FLOR, C. D. R. **Rede geodésica cadastral do campus Recife da UFPE: Fase 1 – planejamento e implantação da rede principal.** Trabalho final de graduação – Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

WOLF, P. R.; GHILANI, C. D. **Adjustment computations: statistics and least squares in surveying and GIS.** 3rd ed., New York, 1997.

LEVANTAMENTO *AS BUILT* A PARTIR DE IRRADIAÇÕES TOPOGRÁFICAS OBTIDAS POR ESTAÇÃO TOTAL

ARTHUR DUARTE VIEIRA
EMILLY CAROLLYNE RESENDE SANTOS
LUANE ARAÚJO LIMA
PÂMELA INÊS DE SOUZA CASTRO

Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Instituto de Geografia - IG
Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Monte Carmelo, MG
arthurduarte.eac@gmail.com, emillyresende@outlook.com, luanearaujo@live.com, pamelaisc@outlook.com

RESUMO - O levantamento *as built* realizado através do método topográfico vem sendo bastante utilizado pelos engenheiros quando é de interesse mensurar informações de uma determinada construção. Com o objetivo de representar a rampa de acesso ao prédio e o último piso dos dois blocos da unidade Araras da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo, utilizou-se o método das irradiações topográficas, que é obtido através de uma poligonal onde se inicia de duas coordenadas conhecidas possibilitando o georreferenciamento dos pontos obtidos no decorrer do levantamento. Após determinar as coordenadas dos pontos, os dados foram importados para o ambiente do *software* AutoCAD (versão estudantil), no qual ocorreu a junção dos pontos e demarcaram-se os limítrofes da poligonal, gerando assim um modelo tridimensional da estrutura estudada. No intuito de chegar o mais próximo do real, foi escolhido trabalhar com a texturização para uma melhor adequação aos padrões convencionais de representação da área de estudo. Este trabalho foi realizado durante a disciplina de Topografia de Minas e Industrial, sendo ela uma atividade prática/avaliativa do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

ABSTRACT - The as built survey carried out using the topographic method has been widely used by engineers when it is interesting to measure information on a particular construction. In order to represent the ramp of access to the building and the top floor of the two blocks of the Araras unit of the Federal University of Uberlândia - Campus Monte Carmelo, the topographic irradiation method was used, which is obtained through a traverse where it starts of two known coordinates enabling the georeferencing of the points obtained during the survey. After determining the coordinates of the points, the data were imported into the AutoCAD software environment (student version), in which the points were joined and the boundaries of the polygonal were demarcated, thus generating a three-dimensional model of the studied structure. In order to get as close to the real as possible, it was chosen to work with the texturing to better adapt to the conventional patterns of representation of the study area. This work was carried out during the course of Mining and Industrial Topography, being a practical / evaluative activity of the Surveying and Cartographic Engineering course.

1. INTRODUÇÃO

Para as engenharias e arquitetura, o termo *as built* é uma das formas de se representar através do desenho técnico as informações mensuras de uma determinada obra existente (Izidoro, 2012). Atualmente existem algumas técnicas e equipamentos que permitem obter esse tipo de informações. Pode-se destacar a Estação Total Robótica que possui integrada a função *Laser Scanner*, no qual permite realizar uma varredura do objeto de estudo criando uma nuvem de pontos tridimensional georreferenciada. Entretanto, uma das suas principais desvantagens é o custo, chegando em um valor de aproximadamente 20 vezes mais elevado que uma Estação Total, sendo este um equipamento que também permite obter informações afim de representar um determinado objeto.

A topografia é um dos meios utilizados quando o intuito é verificar e acompanhar diversos tipos de obras de engenharia, portanto, o levantamento topográfico *as built* é importante, pois através dele é possível detalhar o interior e o exterior de obras. Segundo Veiga et al. (2012), o levantamento topográfico é definido como as operações que são realizadas em campo, tendo por objetivo a mensuração de dados para a execução da representação de determinada região.

Esse levantamento topográfico pode ser realizado por meio de poligonais, que é o método utilizado para executar o transporte de coordenadas de pontos georreferenciados, sendo estes conhecidos como pontos de apoio ou marcos, que possibilitam que os pontos mensurados nas irradiações obtenham coordenadas conhecidas. Através destes, é possível controlar os erros que são obtidos no decorrer da distância percorrida, utilizado os ângulos e as distâncias obtidas durante o levantamento (Rocco, 2013).

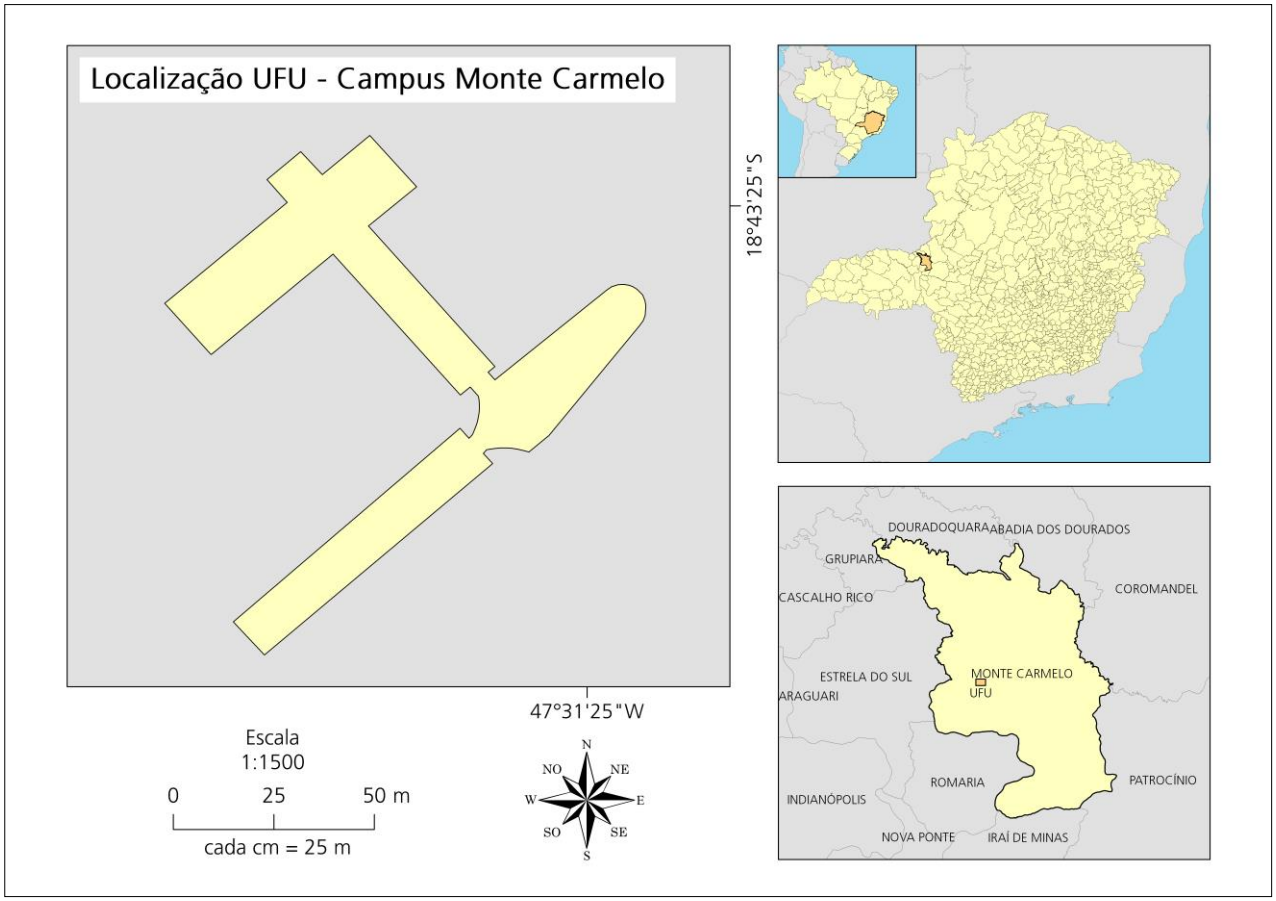
Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho é utilizando uma Estação total realizar o levantamento *as built* do último pavimento dos dois blocos do prédio da unidade Araras, pertencente a Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo, visando representar tridimensionalmente a construção, tendo este trabalho como uma atividade prática/avaliativa da disciplina de Topografia de Minas e Industrial, que é um componente obrigatório da grade curricular do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1. Área de estudo

O presente trabalho foi realizado na unidade Araras da Universidade Federal de Uberlândia - Campus Monte Carmelo, localizada no Estado de Minas Gerais. O campus da universidade conta com uma estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) e dez marcos com coordenadas conhecidas obtidas por um receptor GNSS com seus respectivos desvios padrão, que auxiliaram como pontos de controles para o desenvolvimento do trabalho (Figura 1).

Figura 1 – Área de Estudo (UFU - Campus Monte Carmelo)



Fonte: Os autores (2018)

2.2. Materiais

Para realizar o levantamento topográfico foram necessários equipamentos, os quais são:

- Estação total da marca FOIF (com precisão angular de 5 segundos) para executar a poligonal e as irradiações dos pontos no interior da estrutura do prédio;
- Prisma, utilizado para exercer as visadas por meio da estação total;
- Tripé, para dar apoio ao prisma.

Todos os equipamentos utilizados foram disponibilizados pelo Laboratório de Topografia (LABTOPO) da Universidade Federal de Uberlândia.

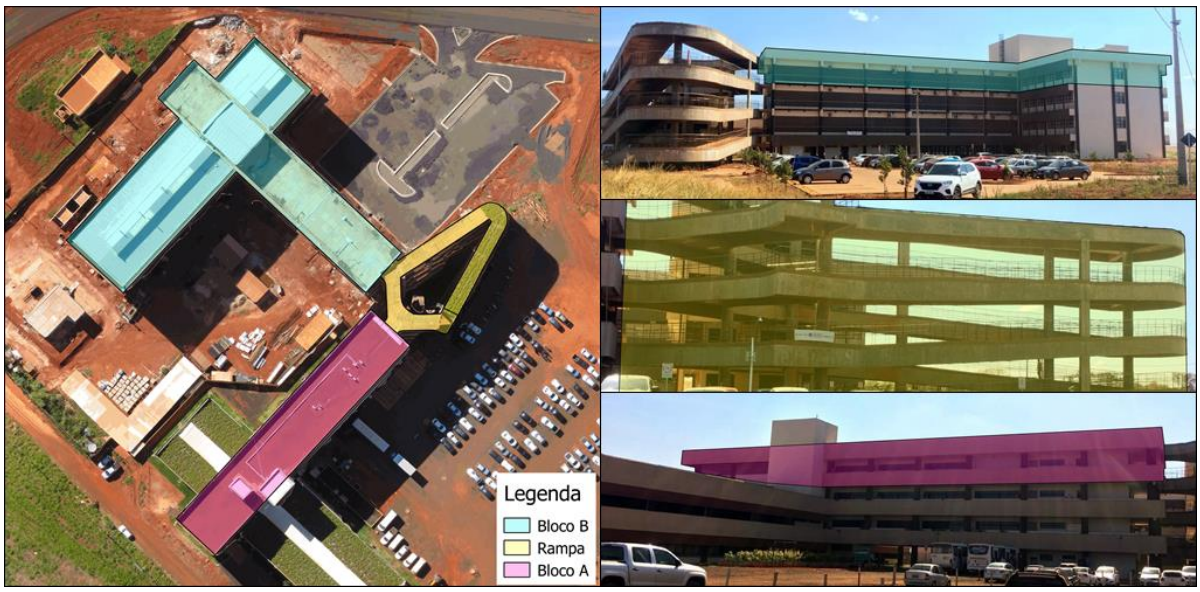
Para a realização dos cálculos de coordenadas e distâncias da poligonal junto ás irradiações foi utilizado o *software* topoGRAPH, o qual a Universidade possui licenças estudantis disponíveis para os alunos.

Os *softwares* utilizados para realizar a criação do modelo tridimensional da área de estudo foram o AutoCAD Civil 3D e o SketchUp, ambos versão estudantil, pertencente também ao laboratório da Universidade Federal de Uberlândia. Também foi utilizado o *software* QGIS versão 2.18 (licença livre) para a criação dos mapas e operações espaciais entre os diferentes dados tipo raster e vetor.

2.3. Métodos

Para realizar o presente trabalho adotou-se como metodologia a segmentação da área de estudo em três partes, com a finalidade de facilitar a organização dos dados mensurados e poder executar o levantamento topográfico em dias diferentes, devido à disponibilidade de horário dos discentes envolvidos (Figura 2).

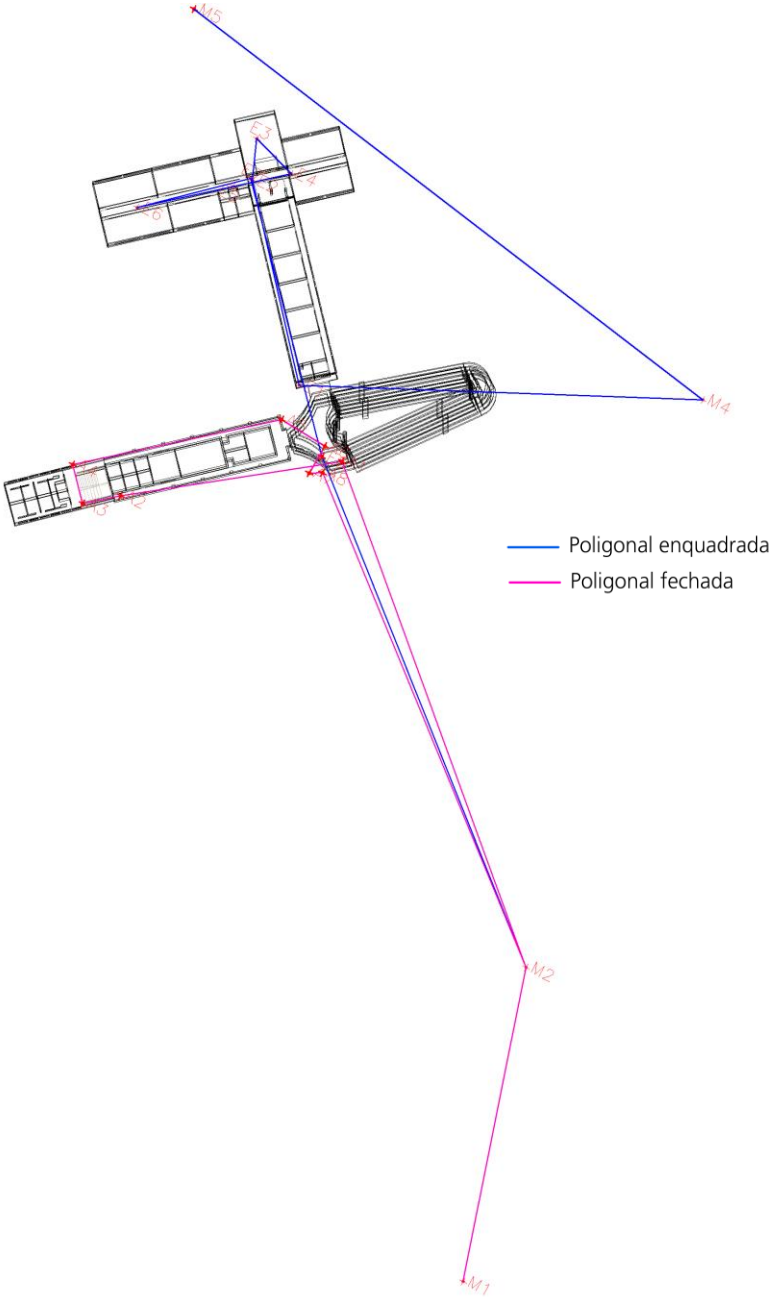
Figura 2 – Segmentação da área de estudo



Fonte: Os autores (2018)

Com intuito de envolver toda área de estudo, foi necessário realizar o levantamento de duas poligonais, sendo a primeira uma poligonal enquadrada, que tem como característica partir e chegar em dois pontos com coordenadas conhecidas, e a segunda, uma poligonal fechada, onde parte-se de dois pontos de coordenadas conhecidas e retorna ao ponto inicial. Ambos os métodos possibilitam a verificação dos erros angulares e lineares, obtidos ao longo do levantamento. As coordenadas dos pontos de apoio das poligonais foram obtidas mediante aos cálculos realizados no *software* topoGRAPH, que posteriormente foram comparados com os cálculos manuais (Figura 3).

Figura 3 – Poligonais implementadas



Fonte: Os autores (2018)

A partir das poligonais implementadas foram realizadas as irradiações, que consistem em obter as coordenadas dos vértices do interior da edificação. Após os cálculos realizados (pelo mesmo processo das poligonais) os mesmos foram importados para o ambiente do AutoCAD Civil 3D (versão estudantil), dando início a criação do modelo tridimensional.

Com todo modelo tridimensional criado e no intuito de representar visualmente a área de estudo o mais próximo do real, o projeto foi importado para o *software* SketchUp, aplicando assim uma texturização para uma melhor adequação aos padrões convencionais de representação da área de estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O erro de fechamento angular nos permite verificar se existe erros na medição dos ângulos durante o levantamento. Para ser tolerável, o erro terá que ser menor que a tolerância angular, que pode ser entendida como o erro angular máximo aceitável nas medições. Para o levantamento em questão foi encontrado um erro de 16,58”, sendo este considerado acima do permitido (tendo em vista que o equipamento utilizado possui uma precisão angular de 5”).

Para análise do erro linear, que pode ser obtido através da diferença entre as coordenadas calculadas e as conhecidas para o ponto, obteve-se uma tolerância de 1:4500, ou seja, a cada 4500 metros de poligonal o erro aceitável é 1 metro. Sendo assim, o erro linear obtido nas poligonais ficaram dentro do permitido.

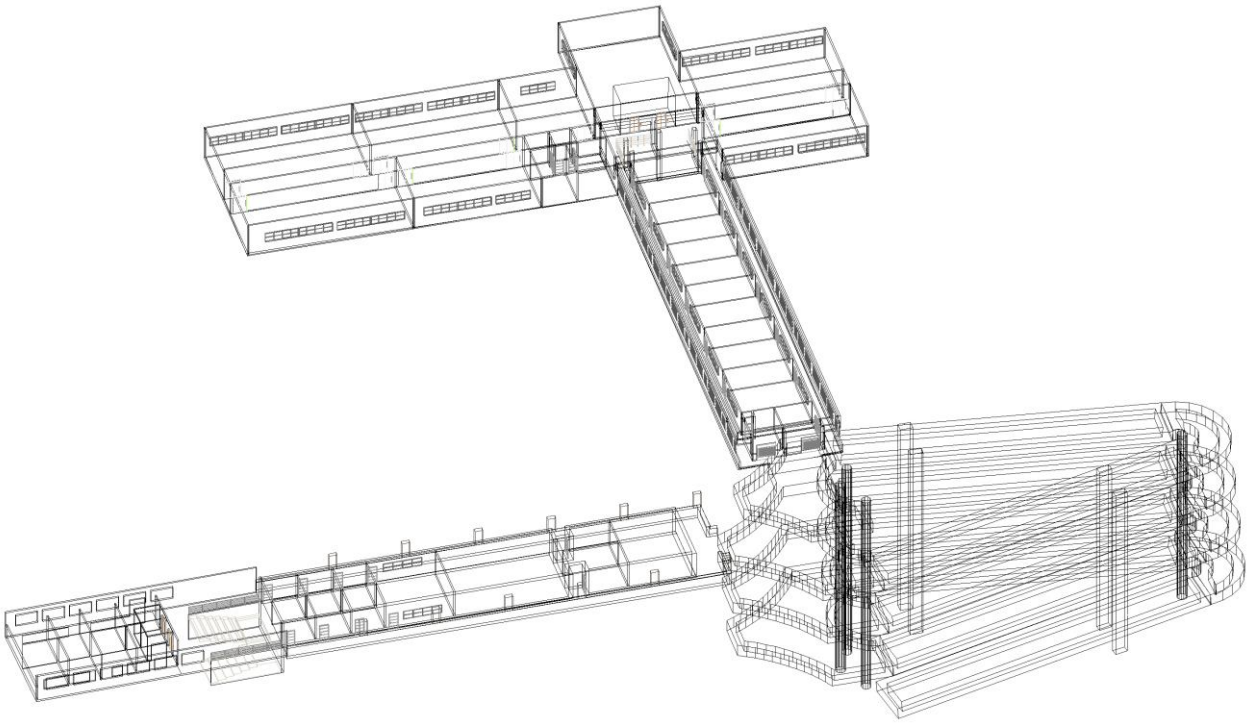
Com propósito de amenizar os erros (angulares e lineares) cometidos durante o processo de levantamento, foi efetuado a distribuição do erro igualmente entre os pontos levantados.

Tabela 1 – Erros de fechamento angular e linear.

Poligonal	**Erro Angular**	**Erro Linear (m)**
Enquadrada	0° 3' 15,34"	0,315
Fechada	0° 3' 46"	0,470

A partir das irradiações levantadas em campo foi possível representar a área de estudo em questão tridimensionalmente, como mostra a Figura 4.

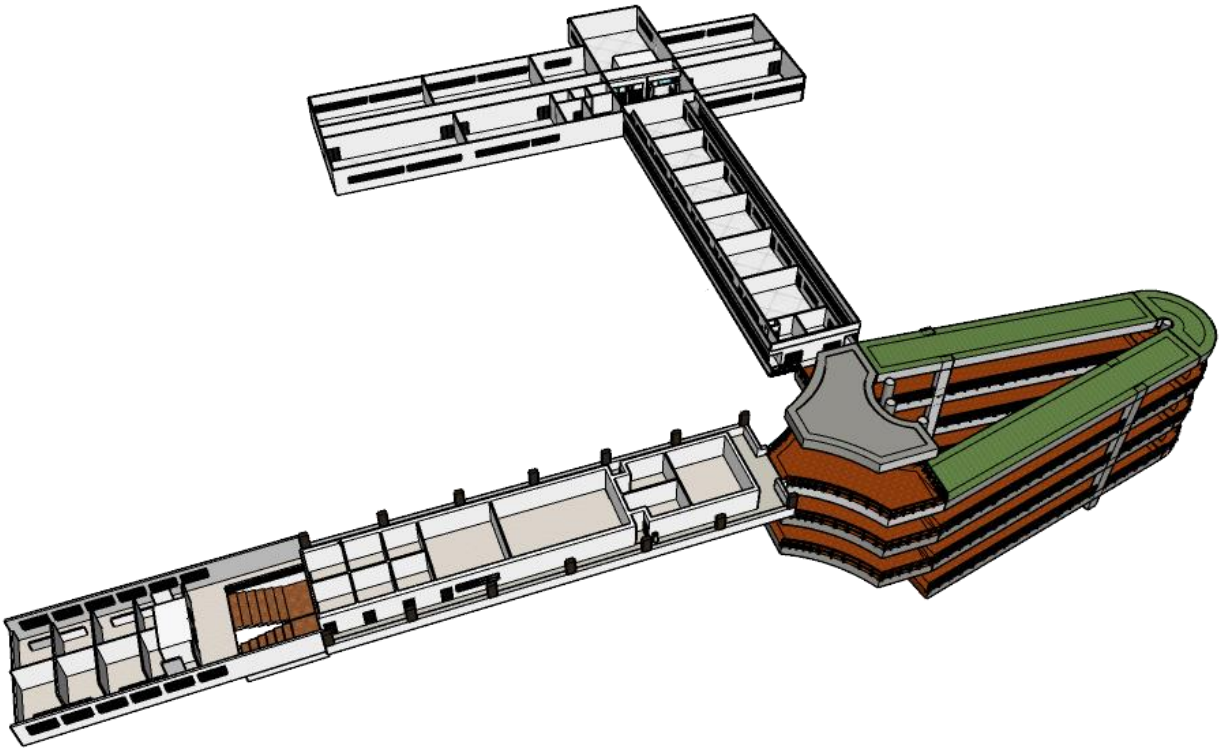
Figura 4 – Vista tridimensional do 3º piso da Universidade Federal de Uberlândia - Campus Monte Carmelo



Fonte: Os autores (2018)

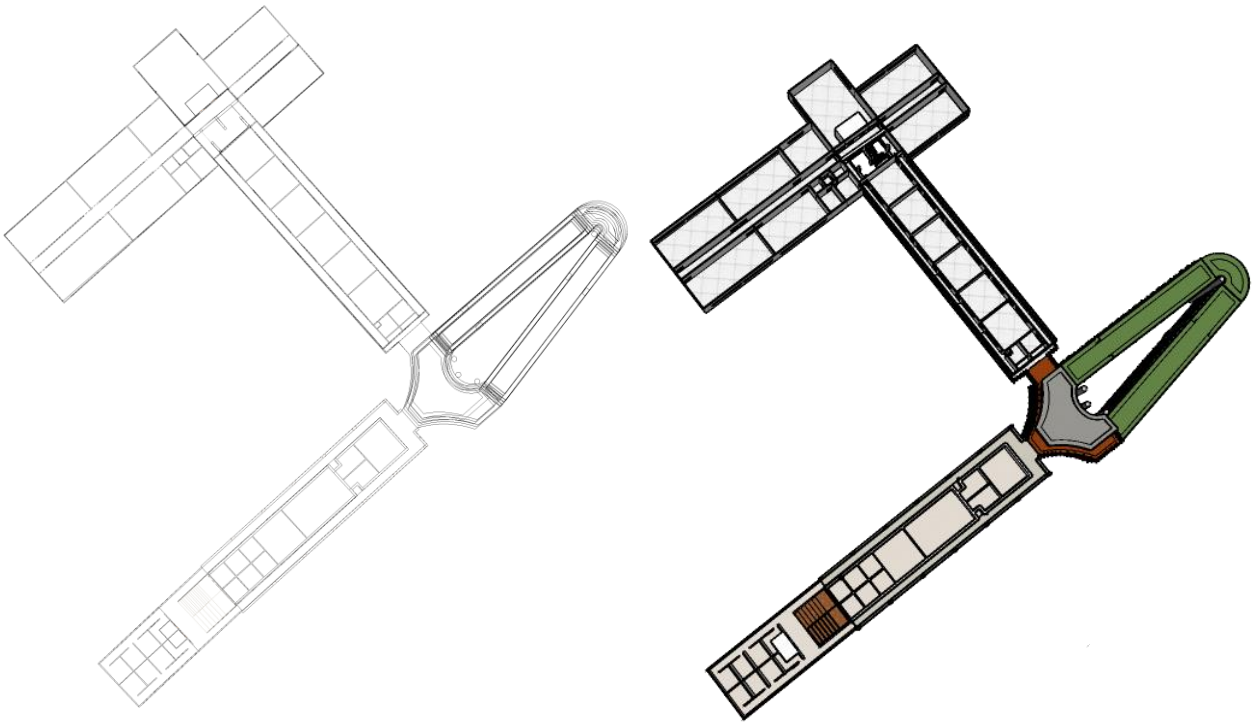
Para uma melhor adequação aos padrões convencionais de representação da área de estudo, tendo como base o modelo tridimensional gerado, foi possível realizar a texturização da edificação (Figura 5).

Figura 5 – Texturização tridimensional do 3º piso da Universidade Federal de Uberlândia - Campus Monte Carmelo



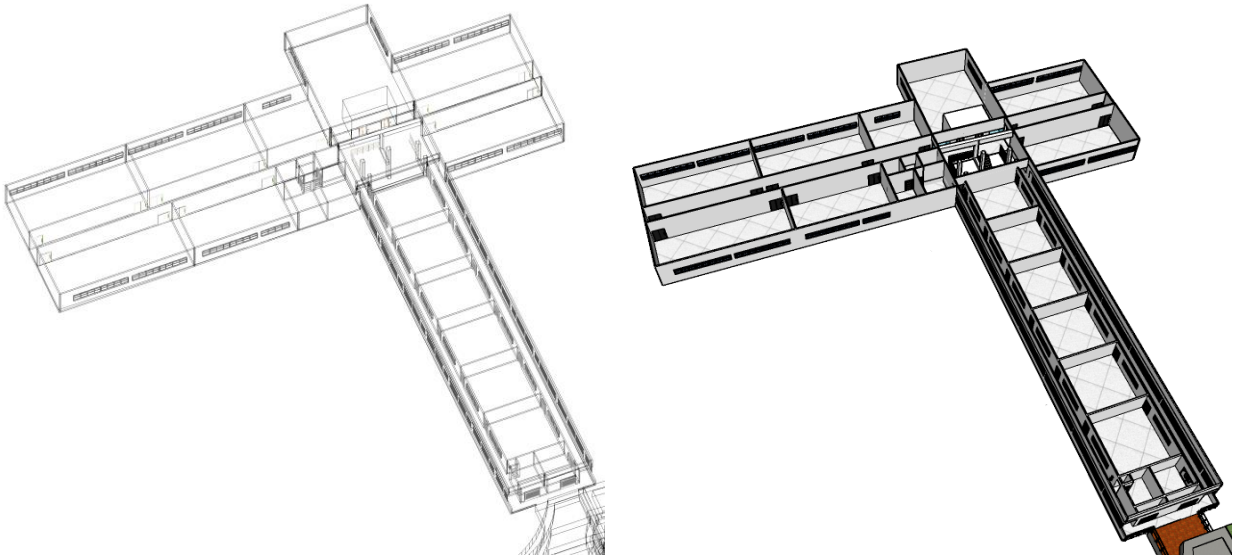
Fonte: Os autores (2018)

Figura 6 – Vista superior: Modelo tridimensional x Modelo tridimensional texturizado (UFU-MC)



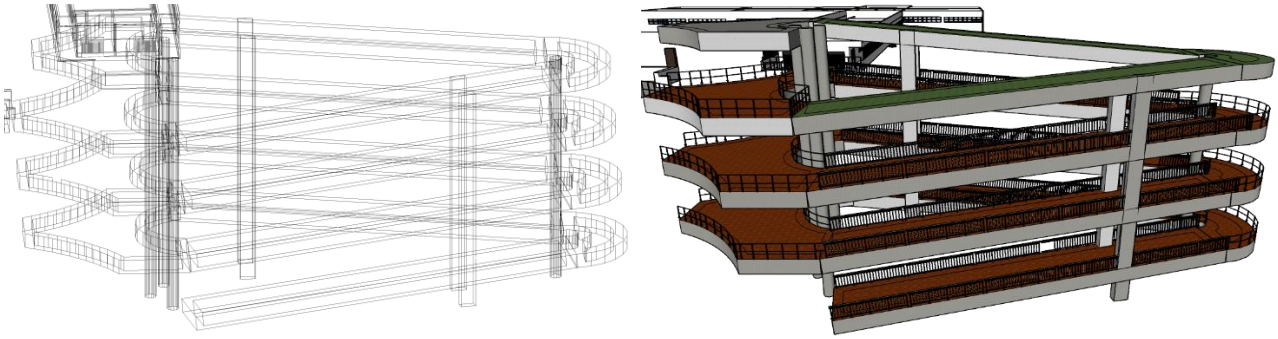
Fonte: Os autores (2018)

Figura 7 – Bloco B: Vista tridimensional x Vista tridimensional texturizado (UFU-MC)



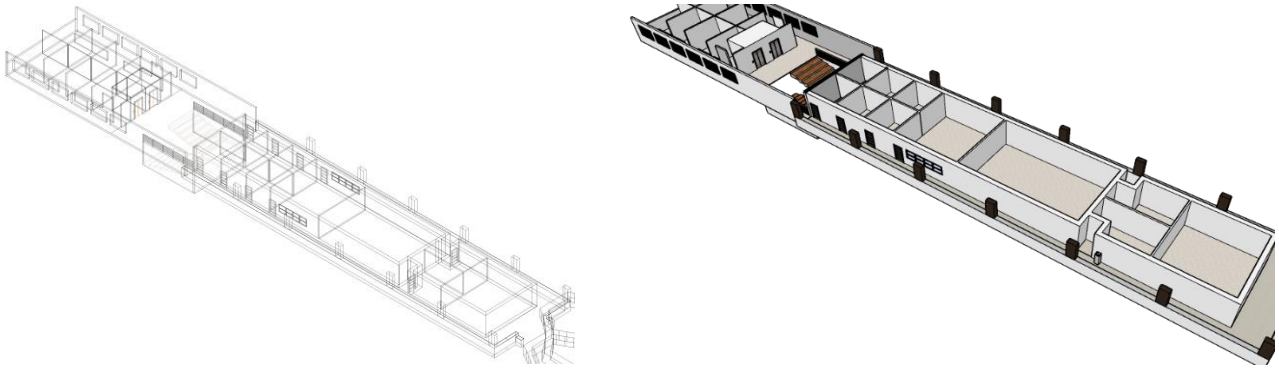
Fonte: Os autores (2018)

Figura 8 – Rampa de acesso x Rampa de acesso texturizada (UFU-MC)



Fonte: Os autores (2018)

Figura 9 – Bloco A: Vista tridimensional x Vista tridimensional texturizado (UFU-MC)



Fonte: Os autores (2018)

4. CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos, nota-se que o levantamento *as built* a partir do método topográfico mostrou-se como uma ferramenta de extrema eficiência quando o objetivo é representar fielmente uma construção já estabelecida. Entretanto, a execução do levantamento é uma tarefa intensa e que exige uma equipe devidamente qualificada para a aplicação, pois requer o uso de técnicas e habilidades para lidar com as dificuldades encontradas no decorrer do levantamento, no qual os integrantes puderam ter experiências similares a uma obra de engenharia, onde havia alunos, professores e funcionários transitando a todo momento, sendo estes obstáculos comparado ao trânsito de operários e máquinas.

A Estação Total foi utilizada com o intuito de demonstrar que é possível obter resultados de qualidade similar comparados com uma Estação Total Robótica com *Laser Scanner*, que possui um custo financeiro maior, mas que gera dados com altíssima precisão com mais facilidade. Em contra partida, o processamento dos dados levantados utilizando a Estação Total é menos demorado, pois possui uma densidade menor de informações quando comparado ao *Laser Scanner*, que necessita de bom *hardware* (computador) para processamento dos dados.

Os erros de fechamento angular e lineares mensurados podem ser atribuídos ao fato de que a Estação Total é utilizada em diversas disciplinas ministradas na Universidade Federal de Uberlândia, no qual o equipamento é manuseado de forma incorreta, prejudicando a precisão estipulada pelo fabricante, sendo necessário realizar o procedimento de retificação e calibração para correção de possíveis erros. De toda forma o erro elevado não prejudicou no desenvolvimento trabalho, onde foi possível obter um produto preciso (mas não acurado) e representar de forma realista a estrutura do prédio.

O objetivo principal do trabalho foi representar tridimensionalmente a edificação pelo método da Estação Total, mostrando que é possível obter um produto final muito próximo da realidade por um método simples e principalmente de baixo custo. Toda experiência adquirida durante a realização do trabalho em campo e os processamentos, permitiram verificar a importância deste tipo de levantamento topográfico e contribuíram para aperfeiçoar o conhecimento dos discentes na área de topografia de minas. Desse modo, todos os objetivos propostos no trabalho foram alcançados.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Professor Dr. George Deroco Martins, por toda orientação e ensinamentos obtidos na disciplina de Topografia de Minas e Industrial, que foram de extrema importância para a execução deste trabalho. Agradecimentos também ao Laboratório de Topografia (LABTOPO), por disponibilizar todos os equipamentos e softwares necessários.

REFERÊNCIAS

ROCCO, J. **Metodologia para o posicionamento de poligonais em obras metroviárias**. Tese de Doutorado. São Paulo, 2013.

VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. **Fundamentos de Topografia**. Curitiba, 2012. 205p. Apostila das Disciplinas Topografia I e II. Departamento de Geomática, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

IZIDORO, R. S.; SANTOS, A. P.; DAL POZ, W. R.; RODRIGUES, D. D.; **A importância do as built ("como construído) em projetos de controle dimensional voltados para topografia industrial**. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 4. 2012, Recife. Anais. Pernambuco: 2012, p. 001-009.

MAPAS IONOSFÉRICOS PARA O TERRITÓRIO BRASILEIRO UTILIZANDO KRIGAGEM ORDINÁRIA

GABRIEL OLIVEIRA JEREZ[1]
EDMUR AZEVEDO PUGLIESI[2]
EDILSON FERREIRA FLORES[3]
DANIELE BARROCA MARRA ALVES[2]

Universidade Estadual Paulista - UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT
Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas[1], Presidente Prudente, SP
Departamento de Cartografia[2], Presidente Prudente, SP
Departamento de Estatística[3], Presidente Prudente, SP
gabrielojerez@gmail.com, edmur.pugliesi@unesp.br, edilson-ferreira.flores@unesp.br, daniele.barroca@unesp.br

RESUMO - O desenvolvimento dos sistemas globais de navegação por satélite influenciou todas as atividades que envolvem posicionamento. Diversos fatores podem influenciar a qualidade do posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*), por exemplo, os erros aos quais os sinais transmitidos estão sujeitos. Dentre as diversas fontes, a ionosfera é uma das mais importantes a ser considerada, principalmente para usuários de receptores de apenas uma frequência. A mesma exige atenção especial, pois além de degradar a acurácia do posicionamento há uma grande dependência entre perdas do sinal e irregularidades ionosféricas, como a cintilação ionosférica. Para realizar o planejamento e análise do posicionamento GNSS é possível utilizar os mapas ionosféricos. Esses mapas apresentam índices ionosféricos de acordo com a região de ocorrência, o que permite o monitoramento do comportamento da atividade ionosférica. O presente trabalho teve objetivo de aplicar um método geoestatístico de interpolação, a krigagem ordinária, para a produção de mapas ionosféricos para o Brasil e o estado de São Paulo, a partir de índices ionosféricos estimados e medidos. O processo foi realizado utilizando dados de estações GNSS e de monitoramento pertencentes a redes brasileiras. Os produtos gerados apresentaram resultados coerentes com o esperado para as regiões e épocas consideradas.

ABSTRACT – The global navigation satellite systems development influenced all positioning activities. Several factors can influence GNSS (*Global Navigation Satellite System*) positioning quality, such as errors sources to which transmitted signals are subject. Among those sources, ionosphere is one of the more important to be considered, mainly for single frequency users. Ionosphere needs special attention because, besides degrading positioning accuracy, there is a great dependency between signal loss and ionospheric irregularities, such as ionospheric scintillation. For GNSS positioning planning and analysis is possible to use ionosphere maps. Such maps present ionospheric indexes related to occurrence region, that allows monitoring ionospheric activity behavior. This research intended to apply a geostatistical interpolation method, ordinary kriging, for ionosphere maps production, considering the Brazilian and São Paulo State region, using estimated and measured ionospheric indexes. The process was possible using GNSS and monitoring stations data from Brazilian networks. Products obtained presented results consistent with the expected for regions and periods considered.

1 INTRODUÇÃO

As aplicações da tecnologia GNSS (*Global Navigation Satellite System*) estão diretamente relacionadas à qualidade do posicionamento e, portanto, às influências que os sinais podem estão sujeitos. Por isso, é de fundamental importância realizar investigações sobre as fontes de erros aos quais os sinais GNSS estão sujeitos. O sinal transmitido pelos satélites até chegar ao receptor pode sofrer diversas formas de influência e degradação. Existem os erros relacionados ao satélite, à propagação do sinal, ao receptor e à própria estação. Em relação à propagação do sinal a atmosfera, em particular, tem grande influência, sendo a ionosfera uma das principais fontes de degradações e erros, principalmente, para usuários de receptores que possuem uma frequência (CAMARGO, 1999; SEEBER, 2003).

Por não ser um meio regular, a ionosfera é responsável por anomalias que podem causar diversos tipos de influência e degradação do sinal GNSS, dentre elas a cintilação. A cintilação ionosférica pode ocorrer quando o sinal atravessa um meio com variação na densidade de elétrons, podendo causar o enfraquecimento do sinal recebido pelos receptores e levando, em muitos casos, à perda do sinal (CONKER et al., 2003).

Uma das formas de avaliação do comportamento da ionosfera, tanto em relação às irregularidades quanto à cintilação, é por meio da análise dos índices ionosféricos. Estes podem ser obtidos, a partir de estações específicas de monitoramento, ou estimados, a partir de observações GNSS (PEREIRA e CAMARGO, 2017). A representação dos resultados pode ser dada a partir de valores numéricos e/ou visualmente, por meio de mapas ionosféricos. Os mapas ionosféricos apresentam índices ionosféricos de acordo com a região de ocorrência. Sendo assim, uma importante ferramenta para planejamento e análise das atividades que envolvem posicionamento GNSS.

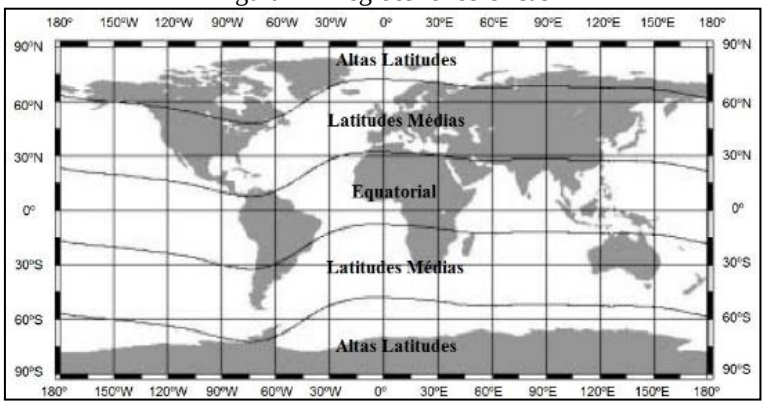
Neste contexto, o presente trabalho teve como intuito produzir mapas ionosféricos para o território brasileiro e para o estado de São Paulo, a partir de um método geoestatístico de interpolação, a krigagem ordinária, e avaliar sua compatibilidade com o comportamento esperado para o Brasil. Para isso, foram utilizados índices ionosféricos estimados e medidos, a partir de estações de redes brasileiras. Além dos mapas ionosféricos, foram gerados mapas dos erros padrão das krigagens realizadas para cada caso considerado.

2 IONOSFERA

Os sinais GNSS estão sujeitos a diversos erros, que podem estar relacionados ao satélite, à propagação do sinal, ao receptor ou a própria estação (MONICO, 2008). Quanto à propagação do sinal, a ionosfera é uma das principais fontes de erros. Os efeitos da mesma são proporcionais ao TEC (Total Electron Content – Conteúdo Total de Elétrons), que corresponde à quantidade de elétrons contida em uma coluna que vai do satélite ao receptor, com base de um metro quadrado. Esses valores variam no tempo e no espaço tendo relação, entre outros, com a localização no globo, atividade magnética, estação do ano e ciclos de manchas solares (CAMARGO, 1999).

Em relação à localização geográfica, os níveis de densidade de elétrons são mais intensos nas regiões equatoriais (onde se situa grande parte do território brasileiro), menos intensos nas latitudes médias e seguem comportamento menos previsível nas altas latitudes. Nas regiões equatoriais os efeitos da ionosfera são relacionados, entre outros, à anomalia equatorial com intensidade maior no pico local da anomalia (latitudes geomagnéticas aproximadas de 15º). Isso faz com que o Brasil se encontra em região privilegiada para estudos relacionados à ionosfera (SEEBER, 2003; MONICO, 2008). A Figura 1 apresenta as regiões ionosféricas, onde é possível verificar que quase todo o território nacional se encontra em na região equatorial.

Figura 1 – Regiões ionosféricas



Fonte: Adaptado de FONSECA JUNIOR (2002)

As variações temporais podem ser diurnas, sazonais e em ciclos de longo período. As diurnas ocorrem devido a mudanças em regiões da ionosfera, que ocorrem devido a recombinações de elétrons e íons distribuídos em suas camadas. As mudanças sazonais se relacionam às variações na densidade de elétrons causadas pela mudança do ângulo zenital do Sol e pelo fluxo de ionização, que mudam devido às estações do ano. Já os ciclos de longo período correspondem aos ciclos solares, que ocorrem em intervalos de aproximadamente 11 anos, sendo associados às manchas solares (McNAMARA, 1991).

A ionosfera possui irregularidades, por exemplo as bolhas ionosféricas, que podem prejudicar o sinal GNSS. Essas irregularidades na densidade de elétrons podem causar mudanças na fase e amplitude do sinal de rádio recebido, ocasionando muitas vezes a degradação ou até mesmo perda do sinal. A esse efeito é dado o nome de cintilação ionosférica (CONKER et al., 2003). A cintilação tem comportamento específico e relacionado à região, tendo relação com as

variações na densidade de elétrons. As regiões com maior ocorrência de cintilação são as do pico da anomalia equatorial (próximo às latitudes geomagnéticas de 15º). As cintilações em altas latitudes são mais fracas que as observadas em regiões da anomalia equatorial, nessas regiões a ocorrência de cintilação está relacionada às irregularidades do plasma ionosférico. Já nas regiões de altas latitudes a ocorrência se relaciona às tempestades geomagnéticas (SKONE, 1998).

Para avaliar a influência da ionosfera podem ser levados em conta diversos índices, entre estes os de irregularidade, que classificam o comportamento da ionosfera. e os de cintilação ionosférica, que quantificam a intensidade da mesma. Entre os índices de irregularidades pode-se citar o fp e o Fp (MENDILLO et al., 2000), o I_{ROT} (WANNIGER, 1993) e o ROTI (PI et al., 1997), todos baseados na taxa de variação do TEC. Entre os índices de cintilação pode-se citar o S4 (CONKER et al., 2003), o $\sigma\phi$ (VAN DIERENDONCK et al., 1993), o $S\phi$ (FORTE, 2005) e o σ_{CHAIN} (MUSHINI et al., 2012), sendo que os mais utilizados são o S4, para cintilação de amplitude e o $\sigma\phi$, para cintilação de fase. De maneira geral o índice S4 consiste em um indicador da magnitude das cintilações da amplitude (CONKER et al., 2003).

A partir dos índices algumas classificações foram propostas. A classificação do índice ROTI desenvolvida por Pereira e Camargo (2014) é dada por: baixos níveis de irregularidades ($ROTI \leq 0,05$), irregularidades moderadas ($0,05 < ROTI \leq 0,2$) e fortes níveis de irregularidades ($ROTI \geq 0,2$) (Pereira e Camargo, 2014). Já Tiwari et al. (2011) realizaram a classificação dos índices S4 em: cintilação fraca ($S4 \leq 0,5$), cintilação moderada ($0,5 < S4 \leq 1,0$) e cintilação forte ($S4 \geq 1,0$). Utilizando as classificações dos índices e com os valores obtidos a partir de dados coletados por estações de monitoramento de cintilação ionosférica, ou mesmo estimados a partir de dados de estações GNSS, tem-se uma forma de avaliação dos períodos de maior ou menor influência da ionosfera, possibilitando diversos estudos e análises.

3 MAPAS IONOSFÉRICOS

Como mencionado anteriormente, a atmosfera tem grande influência na propagação dos sinais GNSS, sendo a ionosfera uma das principais fontes. O comportamento da ionosfera e o cálculo da refração ionosférica são proporcionais ao TEC (HOFMANN-WELLENHOF et al, 2008). Alguns mapas ionosféricos podem fornecer diversos índices, além dos valores de TEC, que podem ser obtidos por meio de várias metodologias. O conceito geral de mapa ionosférico consiste na representação do comportamento ionosférico de acordo com a posição geográfica em que o mesmo ocorre. A partir disso e de métodos de interpolação é possível a identificação de áreas e períodos mais suscetíveis às influências da ionosfera.

Dependendo da técnica empregada certas limitações podem surgir, principalmente em relação a regiões com ausência de informação. Esse é o caso quando se considera uma rede GNSS, por exemplo, onde regiões oceânicas ou de difícil acesso possuem número de estações muito pequeno. Já outras técnicas, como a rádio ocultação, podem oferecer cobertura mais homogênea do planeta, porém, existe limitação nas camadas da atmosfera que são percorridas pelo sinal (RAM et al., 2016).

Neste sentido, uma abordagem que pode ser empregada é a modelagem da ionosfera por meio de solução inter-técnica. Com este conceito busca-se integrar dados provenientes de diferentes técnicas com o objetivo de refinar os resultados obtidos e preencher as lacunas de informação remanescentes em determinadas abordagens (TODOROVA et al., 2008; SCHMIDT et al., 2008; CHEN et al., 2017). Além disso, com a utilização de dados de mais de uma tecnologia também é possível obter mais controle dos resultados alcançados com cada técnica.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o trabalho foram utilizados dados da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), que realiza a coleta de dados GNSS, e da Rede CIGALA/CALIBRA (*Concept for Ionospheric Scintillation Mitigation for professional GNSS in Latin America / Countering GNSS high Accuracy applications Limitations due to Ionopheric disturbances in BRAzil*), que realiza a coleta e monitoramento de índices de cintilação e irregularidades ionosféricas. Algumas estações da RBMC foram, ainda, utilizadas separadamente, na região em que se forma uma sub-rede com maior densidade de estações, a Rede GNSS-SP. A seguir são apresentadas as estações que compõe as redes utilizadas, RBMC e Rede CIGALA/CALIBRA (Figura 2) e Rede GNSS-SP (Figura 3). Vale ressaltar que as estações estão sujeitas a falhas de coleta, portanto, a representação das redes não indica diretamente todas as estações utilizadas, apenas as configurações disponíveis.

Figura 2 – Estações da RBMC e da Rede CIGALA/CALIBRA, respectivamente

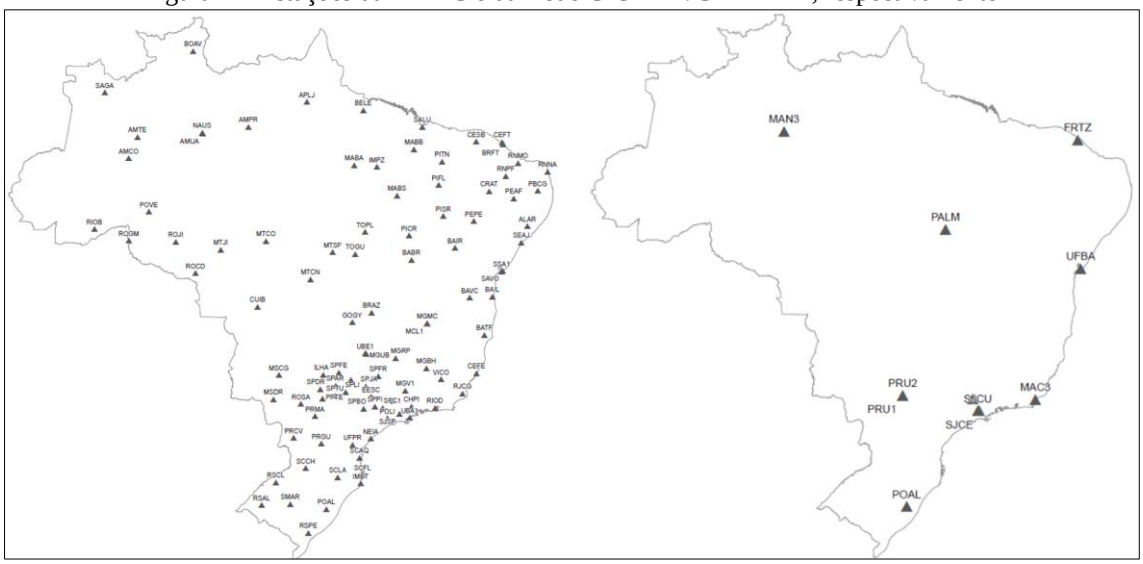


Figura 3 – Estações da Rede GNSS-SP

Os dados utilizados foram coletados nos dias 15 de junho e 15 de outubro de 2017, por caracterizarem, respectivamente, períodos de baixa e alta atividade ionosférica. O software Ion_Index (PEREIRA e CAMARGO, 2017) foi utilizado para estimar os índices ROTI, e os índices S4 foram consultados no banco de dados da rede CIGALA/CALIBRA, a partir de uma ferramenta disponível online (http://is-cigala-calibra.fct.unesp.br/is/).

Para possibilitar a execução do trabalho foram gerados arquivos em formato *shapefile* com as coordenadas das estações e respectivos índices relacionados. Os mapas foram construídos no *ArcGIS (ArcMap)* versão 10.6, utilizando ferramentas de krigagem ordinária. Os mapas de erros padrão das krigagens também foram produzidos no *ArcMap*. A escolha do número de classes foi realizada considerando o número de estações presente em cada mapa. Foi calculado o número de classes a partir da fórmula de *Sturges*. Além disso, foi analisado o comportamento do histograma dos dados, que indicou o mesmo número de classes obtido anteriormente, como o que apresentava características mais próximas de uma distribuição normal. Além disso, foi considerada a escala geográfica, a amplitude dos dados e a natureza do fenômeno, com isso, para os mapas de todo o território nacional foram consideradas oito classes, já para os mapas do estado de São Paulo foram adotadas quatro classes.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

Os primeiros mapas obtidos foram para todo o território brasileiro. Foram utilizados os índices ROTI estimados a partir dos dados de 99 estações da RBMC. Primeiramente são apresentados os resultados da krigagem, bem como o respectivo mapa de erro padrão, para dados de junho (Figura 4) e em seguida para dados de outubro (Figura 5). Os intervalos das classes foram definidos manualmente para a comparação do comportamento da ionosfera ao longo do tempo. A determinação dos intervalos considerou a amplitude dos índices para a divisão igual dos intervalos e não a

distribuição dos mesmos, uma vez que os estudos e análises relacionados à ionosfera, em geral, visam classificar o comportamento da mesma de acordo com a sua intensidade.

Figura 4 – Mapa ionosférico a partir de dados da RBMC de junho e respectivo mapa de erro padrão

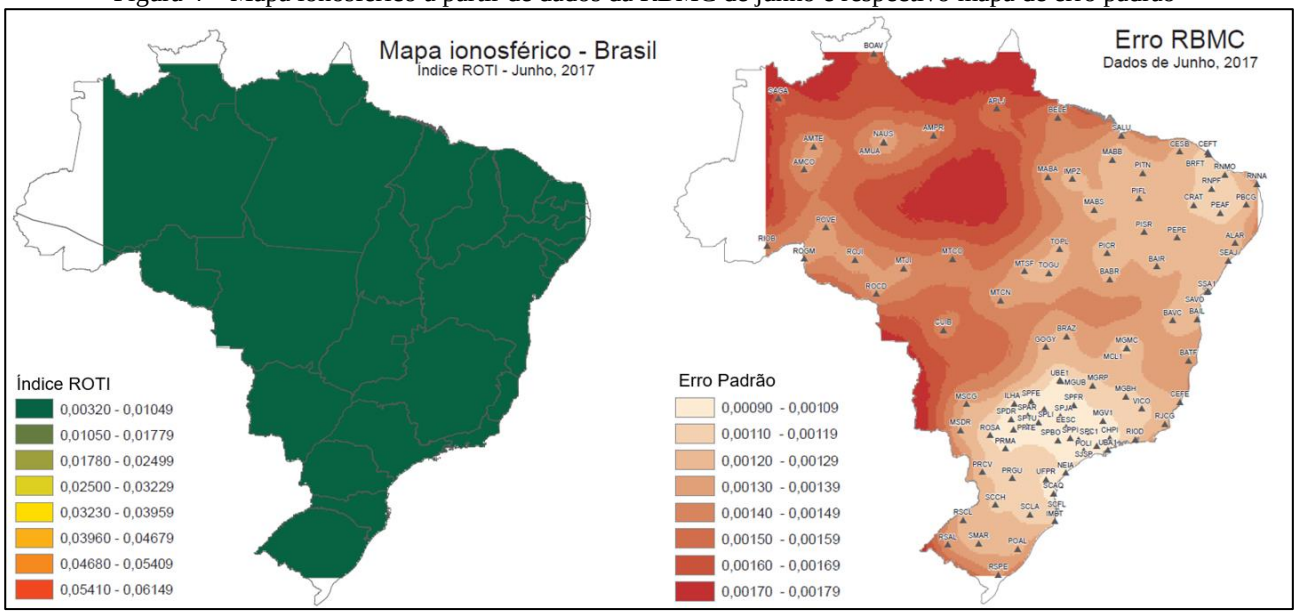
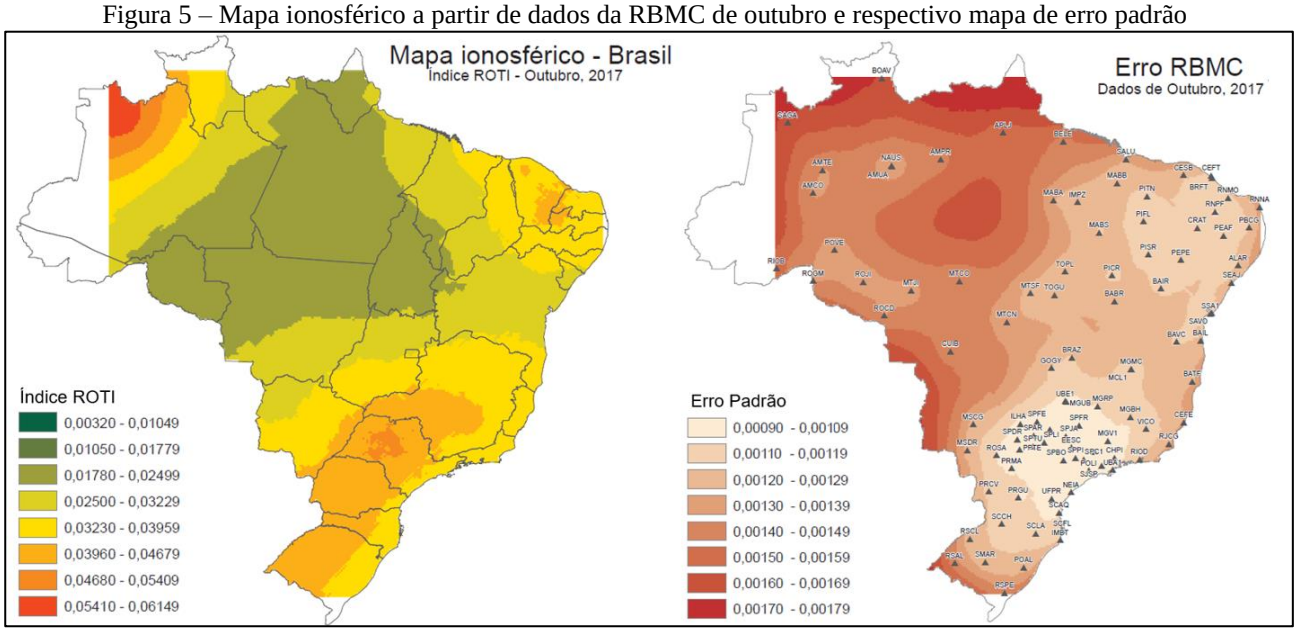


Figura 5 – Mapa ionosférico a partir de dados da RBMC de outubro e respectivo mapa de erro padrão



Em relação ao comportamento da ionosfera no mês de junho, caracterizado por baixa atividade ionosférica, todo o território ficou inserido em uma mesma classe. Para os resultados de outubro fica evidente a maior atividade ionosférica, principalmente próximo à região de Presidente Prudente, afetada pela anomalia equatorial. Além disso, é possível verificar também altos índices na região nordeste do país, próxima ao equador geomagnético. Quanto aos mapas de erro padrão, conforme esperado, não há grande variação de um mês para o outro, uma vez que basicamente as mesmas estações foram utilizadas. Ficaram evidentes os menores valores para a região com maior concentração de estações, estado de São Paulo. Nesses resultados fica evidente a influência da densidade de estações quando se trata de modelagens considerando todo o território nacional. No mapa ionosférico de outubro os altos valores apresentados na região norte são correspondentes a região com erros elevados no mapa de erro padrão, portanto, não é possível realizar afirmações quanto a este comportamento.

A mesma proposta foi realizada, agora para o território paulista, o qual possui maior densidade de estações (sub-rede da RBMC), correspondente à Rede GNSS-SP. Os mapas novamente apresentam os resultados da krigagem e o respectivo mapa de erro padrão para dados de junho (Figura 6) e, em seguida, para dados de outubro (Figura 7).

Figura 6 – Mapa ionosférico a partir de dados da rede GNSS-SP de junho e respectivo mapa de erro padrão

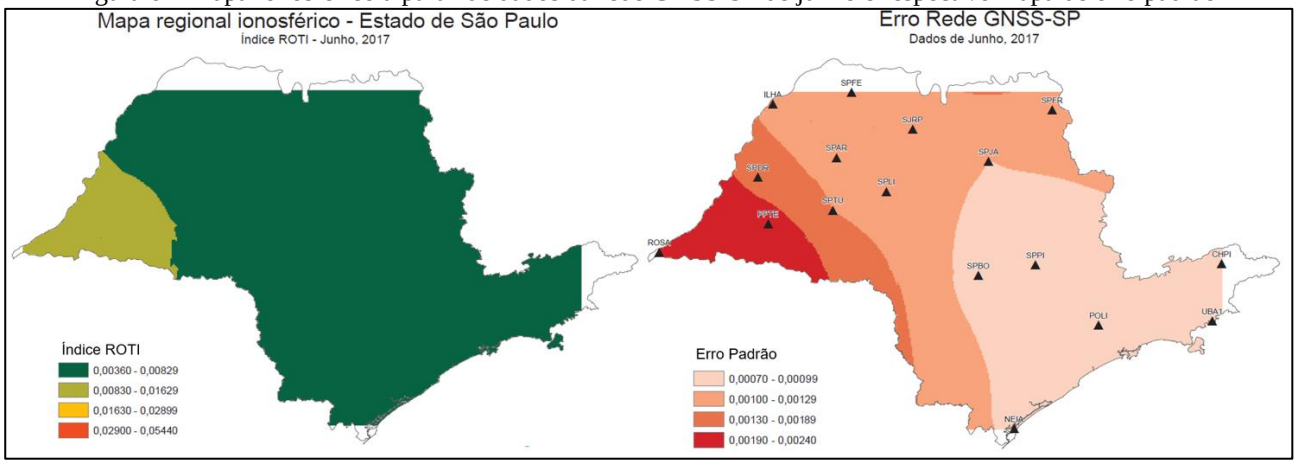
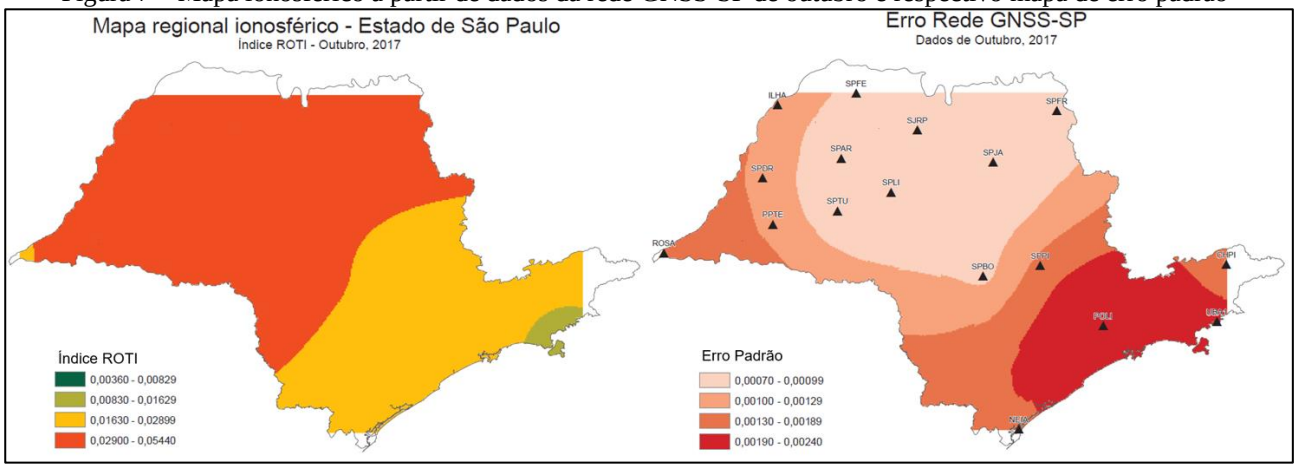


Figura 7 – Mapa ionosférico a partir de dados da rede GNSS-SP de outubro e respectivo mapa de erro padrão



O comportamento observado anteriormente foi confirmado com a ionosfera se mostrando mais ativa no mês de junho, principalmente para a região de Presidente Prudente. Em relação ao comportamento do erro padrão, foi notada diferença significativa de um mês para o outro, estando essas diferenças relacionadas à densidade das estações e à disponibilidade dos dados para cada mês. Apesar de a região próxima à Presidente Prudente ser mais densa, para o dia do mês de junho nem todas as estações estavam disponíveis.

A última abordagem foi a geração de mapas a partir do índice de cintilação, S4, medido pelas estações da Rede CIGALA/CALIBRA. Como o índice ROTI é obtido a cada cinco minutos e o índice S4 é coletado por época, foram considerados os valores máximos e médios de S4 para o mesmo período em que foram estimados os índices ROTI. Assim, os primeiros mapas apresentam os resultados para dados de junho e outubro (Figura 8) com valores máximos de S4. Em seguida, são apresentados os mapas que utilizaram valores médios de S4, também para dados de junho e outubro (Figura 9). Neste caso, a escolha de classes se mostrou diferente das anteriores, uma vez que, apesar do intuito de gerar um mapa regional para o estado de São Paulo, as estações estão distribuídas com pouca densidade por todo o território nacional. Com isso, esse último conjunto de representações teve o objetivo apenas de apresentar uma forma de comparação com os mapas já obtidos na proposta anterior. Isto porque os dados desta rede não são suficientes em extensão para gerar mapas para todo o território nacional, e em densidade suficiente para gerar mapas regionais. Essa limitação levou à escolha de quatro classes (baseada nos valores obtidos para o caso anterior) apesar de apenas duas serem representadas na região de interesse.

Figura 8 – Mapas ionosféricos a partir de valores máximos de S4 com dados de junho e outubro

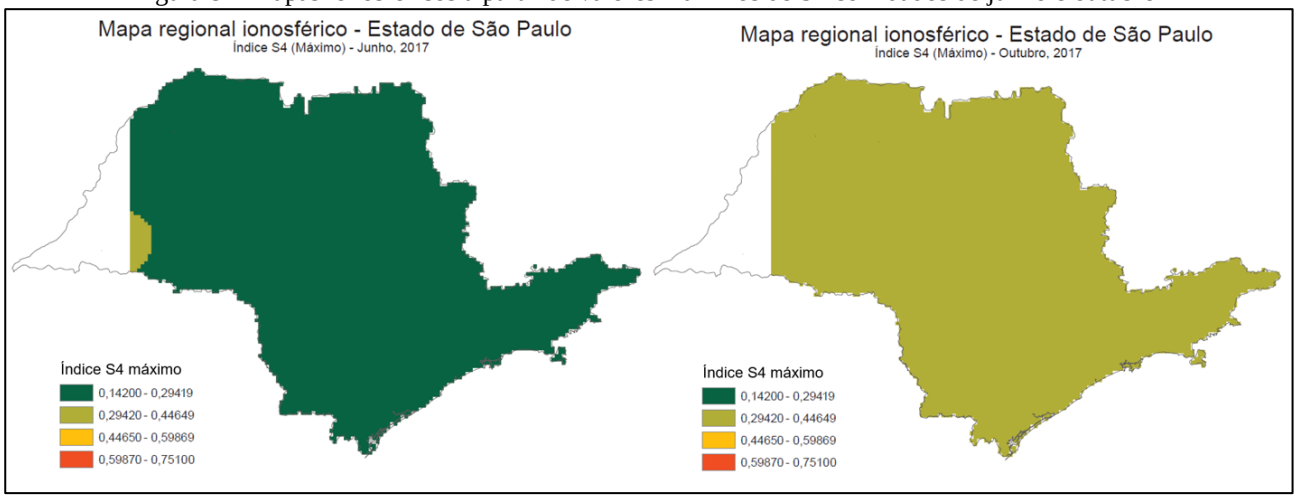
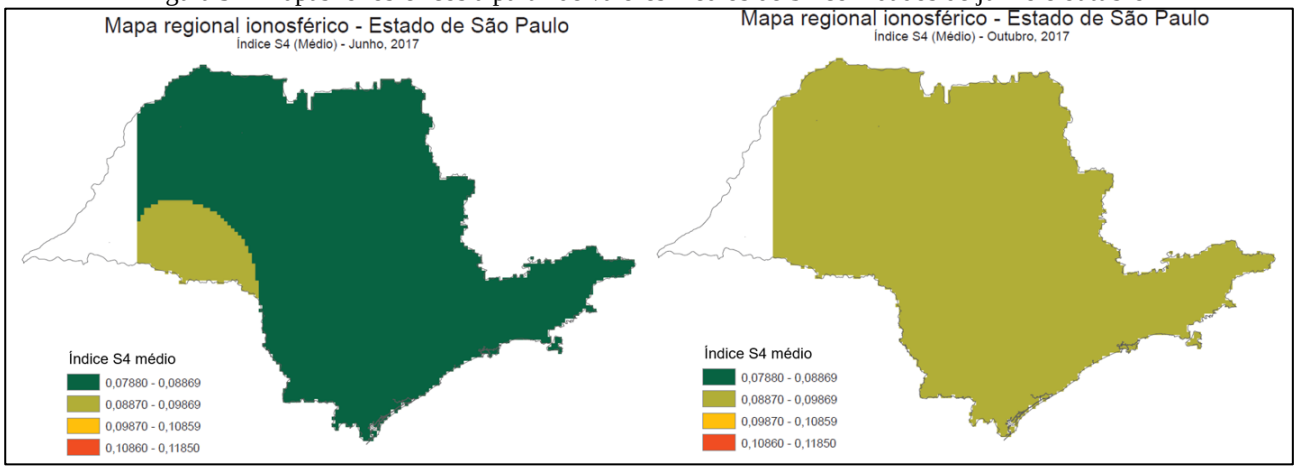


Figura 9 – Mapas ionosféricos a partir de valores médios de S4 com dados de junho e outubro



Novamente, foi possível notar comportamento ionosférico mais regular em junho, tanto para valores máximos quanto para valores médios. Os índices mais altos foram observados novamente na região próxima à Presidente Prudente e, para o mês de outubro, toda a região teve mesma classificação, com índices mais altos que em junho. Vale enfatizar que esta ultima abordagem foi desenvolvida apenas para comparação com o caso anterior, uma vez que a quantidade de estações da rede utilizada não é suficiente para a modelagem da área selecionada.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo produzir mapas ionosféricos a partir de índices ionosféricos para a região brasileira, utilizando o método de interpolação por krigagem ordinária.

Para isso foram utilizados dados das estações RBMC e CIGALA/CALIBRA, das quais índices de irregularidade e cintilação ionosférica podem ser medidos e estimados. Os mapas construídos possibilitaram verificar o comportamento característico da atividade ionosférica em diferentes meses e regiões do Brasil. Indicando que a metodologia utilizada se mostrou coerente para o caso analisado, podendo ser considerada em estudos futuros de monitoramento da atividade ionosférica e apoio às atividades que envolvem posicionamento GNSS.

Esse tipo de produto possui grande importância para o posicionamento GNSS. Isto porque a ionosfera é uma das principais fontes de erro a que os sinais estão sujeitos, podendo interferir diretamente na qualidade da posição obtida. Portanto, produtos como esses podem ser empregados tanto em análises e monitoramento da ionosfera, como no planejamento de atividades de posicionamento GNSS.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a disponibilidade dos dados utilizados da rede de monitoramento dos Projetos CIGALA/CALIBRA, financiados pela Comissão Europeia (CE), no âmbito do FP7-GALILEO-2009-GSA e FP7-GALILEO-2011-GSA-1a, respectivamente, e pela FAPESP (Projeto 06/04008-2).

REFERÊNCIAS

CAMARGO, P. O. **Modelo regional da ionosfera para uso em posicionamento com receptores GPS de uma frequência**. 1999. 191f. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CHEN, P., YAO, Y., YAO, W. *Global ionosphere maps based on GNSS, satellites altimetry, radio occultation and DORIS.* ***GPS Solutions,*** V. 21 (2), p. 639-650, 2017.

CONKER, R. S.; EL-ARINI, M. B.; HEGARTY, C. J.; HSIAO, T. *Modeling the Effects of Ionospheric Scintillation on GPS/Satellite-Based Augmentation System Availability*. ***Radio Science***, V. 38 (1), p. 1-23, 2003.

FONSECA JUNIOR, E. S. **O sistema GPS como ferramenta para avaliação da refração ionosférica no Brasil**. 2002. 176f. Tese de Doutorado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

FORTE, B. *Optimum detrending of raw GPS data for scintillation measurements at auroral latitudes.* ***Journal of atmospheric and solar-terrestrial physics***, v. 67(12), p. 1100-1109, 2005.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. ***GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo, and more***. New York: Springer-Verlag, 2008. 516p.

McNAMARA, L. F. ***The ionosphere: communications, surveillance, and direction finding.*** Florida: Krieger Publishing Company, 1991. 237p.

MENDILLO, M.; LIN, B.; AARONS, J. The application of GPS observations to equatorial aeronomy. **Radio Science**, Vol. 35 (3), pp. 885-904, 2000.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Fundamentos, Definição e Aplicação**. 2 ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 476p.

MUSHINI, S. C.; JAYACHANDRAN, P. T.; LANGLEY, R. B.; MACDOUGALL, J. W.; POKHITELOV, D. *Improved amplitude-and phase-scintillation indices derived from wavelet detrended high-latitude GPS data.* ***GPS Solutions***, v. 16(3), p. 363-373, 2012.

PEREIRA, V. A. S.; CAMARGO, P. O. *Brazilian active GNSS networks as systems for monitoring the ionosphere*. ***GPS Solutions,*** V. 21 (3), p. 1013-1025, 2017.

PEREIRA, V. A. S.; CAMARGO, P. O. Padrões para classificação dos índices de irregularidades da ionosfera: IROT e ROTI. In: **Anais do V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Instituto de Tecnologia de Pernambuco, Universidade Federal do Paraná, Recife, 12-14. 2014.

PI, X.; MANNUCCI, A. J.; LINDQWISTER, U. J.; HO, C. M. Monitoring of global ionospheric irregularities using the worldwide GPS network. **Geophysical Research Letters**, Vol. 24 (18), pp. 2283-2286, 1997.

RAM, S. T., SU, S., TSAI, L., LIU, C. H. *A self-contained GIM-aided Abel retrieval method to improve GNSS-Radio Occultation retrieved electron density profiles*. ***GPS Solutions***, V. 20 (4), p. 825-836, 2016.

SCHMIDT M, KARSLIOGLU MO, ZEILHOFER C. *Regional multidimensional modeling of the ionosphere from satellite data*. *In:* ***Proceedings of the TUJK Annual Scientific Meeting***, Ankara, p. 88–92, 2008.

SEEBER, G. ***Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications***. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003. 610p.

SKONE, S. ***Wide area ionosphere grid modeling in the auriral region***. 1998. 198f. PhD Dissertation – The University of Calgary, Calgary.

TIWARI, R.; SKONE, S.; TIWARI, S.; STRANGEWAYS, H. J. *3WBMod Assisted PLL GPS Software Receiver for Mitigating Scintillation Affect in High Latitude Region*. *In:* ***General Assembly and Scientific Symposium, 2011 XXXth URSI***. IEEE, p. 1-14, 2011.

TODOROVA, S.; SCHUH, H.; HOBIGER, T. *Using the Global Navigation Satellite Systems and satellite altimetry for combined Global Ionosphere Maps*. ***Advances in Space Research***, V. 42 (4), p. 727-736, 2008.

VAN DIERENDONCK, A. J.; KLOBUCHAR, J. A.; HUA, Q. *Ionospheric scintillation monitoring using commercial single frequency C/A code receivers. In:* ***Proceedings of the Institute of Navigation***. Alexandria, p. 1324–1333, 1993.

WANNINGER, L. Ionospheric monitoring using IGS data. In: 1993 IGS WORKSHOP, 1993, Berne. **Proceedings…** Berne: Beuther, G.; Brockmann, E. pp. 351-360, 1993.

METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO DE COORDENADAS PLANIMÉTRICAS COM PRECISÃO MILIMÉTRICA: TRIANGULATERAÇÃO E PROCESSAMENTO PELO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS.

FRANCISCO JAIME BEZERRA MENDONÇA[1]
ANDRÉ VICTOR SILVA MENEZES[2]
RAFAEL LOPES MENDONÇA[3]

[1, 2] Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
[3] Universidade Federal da Paraíba – UFPB
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - PPGECAM
[1]jaimeufpe@gmail.com,[2]andrevictorsm27@gmail.com,[3]rafaellomendonca@gmail.com

RESUMO – Apresenta-se a metodologia de um levantamento topográfico planimétrico com o objetivo de implantar pontos de precisão para trabalhos de engenharia. Realizado no campus Joaquim Amazonas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) foram considerados procedimentos para minimizar os inevitáveis erros acidentais: centragem forçada; medição do ângulo horizontal e da respectiva distância horizontal em duas séries, nas posições direta e inversa da luneta da Estação Total. As observações os ângulos horizontais e as distâncias configuram uma triangulateração. As observações foram processadas considerando-se o método dos mínimos quadrados e constatou-se na análise que a hipótese básica é rejeitada no teste global do qui-quadrado, o que levou a investigar o motivo dos resíduos não apresentarem uma distribuição normal. Pesquisou-se a existência de erros grosseiros considerando-se o teste *data snooping* – Baarda. Concluiu-se que o problema estava em superestimar a precisão da medição angular. No ajustamento final, após considerar uma estimativa compatível com a precisão da medição angular, a hipótese básica não é rejeitada ao nível de significância de 5% no teste global, e as coordenadas determinadas da rede planimétrica apresentam precisão milimétrica.

ABSTRACT - The methodology of a planimetric topographic survey with the objective of implanting precision points for engineering works is presented. Held at the Joaquim Amazonas campus of the Federal University of Pernambuco (UFPE), procedures were considered to minimize the inevitable accidental errors: forced centering; measurement of the horizontal angle and its horizontal distance in two series, in the direct and inverse positions of the Total Station telescope. The observations the horizontal angles and the distances constitute a triangulation. The observations were processed considering the least squares method and it was verified in the analysis that the basic hypothesis is rejected in the global chi-square test, which led to investigate the reason the residues did not present a distribution normal. It was investigated the existence of gross errors considering the test data snooping - Baarda. It was concluded that the problem was to overestimate the accuracy of the angular measurement. In the final adjustment, after considering an estimate compatible with the angular measurement accuracy, the basic hypothesis is not rejected at the significance level of 5% in the global test, and the determined coordinates of the planimetric network have millimetric precision.

1. INTRODUÇÃO

É crescente a demanda por uma metodologia que assegure a determinação de coordenadas planimétricas com precisão abaixo do centímetro. A indicação inicial é o levantamento com receptores de sinais GNSS que comprovadamente, adotando procedimento conhecido, determina-se coordenadas tridimensionais com precisão milimétrica.

Entretanto, a utilização de receptores de sinais GNSS apresenta uma restrição incontornável com relação à posição do ponto a ser levantado. O local deve está livre de obstáculos aos sinais enviados dos satélites ou a presença de

feições que refletem os sinais, causando um problema de multicaminhamento (MONICO, 2000). Não é possível utilizar para o levantamento de pontos a tecnologia GNSS em área industrial coberta, locais com vegetação alta e em áreas urbanas com muitos edifícios.

Apresenta-se uma alternativa para determinação de pontos utilizando um levantamento topográfico. Medem-se ângulos horizontais e distâncias e as observações são processadas com o método dos mínimos quadrados. Determinam-se as coordenadas planimétricas de dois pontos que formam um quadrilátero com dois pontos fixos, previamente conhecidos, determinados em locais acessíveis aos sinais de receptores de GNSS.

O método dos mínimos quadrados ajusta o conjunto das observações os oito ângulos horizontais e as cinco distâncias. A solução apresenta como resultados: as coordenadas planimétricas ajustadas dos dois pontos, os resíduos das observações, as observações ajustadas, a variância *a posteriori* e o valor do χ^2 (qui-quadrado), para o teste global qui-quadrado. Considerando-se a propagação de variâncias são obtidas as precisões das coordenadas e das observações ajustadas, o procedimento está de acordo com Gemael (1994) e Gemael, Machado, Wandersen (2015).

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

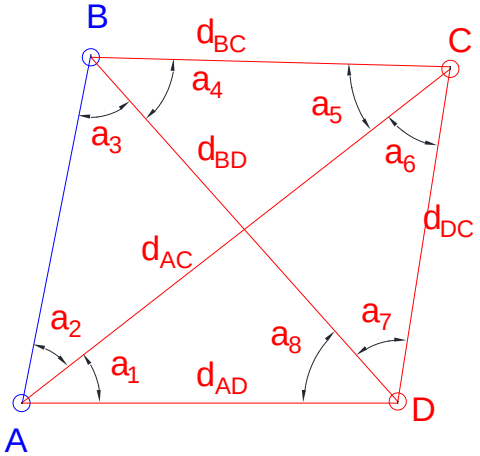
Segundo a NBR 13133(ABNT, 1991), Norma Brasileira para execução de Levantamento Topográfico, o levantamento topográfico é definido por:

> "*Conjunto de métodos e processos que, através de medição de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas. A estes pontos se relacionam os pontos de detalhe visando a sua exata representação planimétrica numa escala pré-determinada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistâncias também pré-determinadas e/ou pontos cotados*"

A escolha do método e da técnica de mensuração passou por analisar as opções apresentadas para levantar uma rede de pontos com levantamento topográfico: poligonação, triangulação, trilateração e triangulateração (SILVA & SAGATINE, 2015) e (MARTINS, 2013).

Optou-se por utilizar a triangulateração, esquematizada na figura1, considerando a praticidade do uso da estação total e por combinar as vantagens da triangulação e da trilateração. Além de permitir uma melhor análise estatística do cálculo com método dos mínimos quadrados, por envolver um número maior de observações e consequentemente uma maior redundância, (INCRA,2013).

Figura 1. Esquema da triangulateração.



Fonte: Adaptado de INCRA (2013)

Sendo:

A e B - Pontos de controle;
C e D - Pontos a determinar;
a_i - Ângulos horizontais medidos;
d_{11} - Distâncias entre os vértices.

2.1 Local e pontos de controle

Escolheu-se para aplicar a metodologia uma área do Campus Joaquim Amazonas da UFPE. No local está estabelecida uma rede de marcos geodésicos implantados e calculados por VILA FLOR (2008). A posição dos marcos no campus é ilustrada na figura 2.

Figura 2. Os círculos alaranjados são os marcos implantados e os com os números 7 e 4 foram utilizados.

Fonte : Adaptado de VILA FLOR (2008)

Na tabela 1 estão as coordenadas dos dois pontos utilizados como controle em três sistemas: as coordenadas geodésicas, na projeção UTM e as coordenadas no sistema topocêntrico (geodésico local) determinadas conforme GARNES (1998) e GARNES (2005).

Tabela 1. Coordenadas Geodésicas, na Projeção UTM e Topocêntricas dos marcos utilizados

ID	Latitude (Sul)	2,58σ (m)	Longitude (Oeste)	2,58σ (m)	Alt. Geoidal(m)	Projeção UTM (F=25 MC=33° Wgr.)		Coord.Topocêntricas	
						E (m)	N (m)	X (m)	Y (m)
EPS4	8°03' 05,84148"	0,001	34°57' 11,62465"	0,001	4,892	284742,576	9109481,118	149811,215	249927,136
EPS7	8°03' 08,21201"	0,002	34°57' 14,65599"	0,001	4,637	284650,091	9109407,837	149718,398	249854,310

Fonte: MENDONÇA, et. al (2010)

2.2 Equipamentos

Os equipamentos utilizados pertencem ao Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco. Uma estação total GPT 3200N – Topcon, dois tripés de madeira, três bases nivelantes, três suportes para prismas, três prismas circulares EPEX, com constante 0-30 mm e várias lanternas. Na Figura 3 são visualizados os equipamentos.

Figura 3. Equipamentos utilizados no levantamento.

Fonte: Autor

2.3 Centragem forçada

A metodologia considerou a centragem forçada para todos os quatro vértices. O procedimento descrito em (KAHMEN & FAIG, 1998) é imprescindível porque garante o controle da centragem durante todo o procedimento de medição, quando são trocadas a Estação Total por prismas com sinalizadores. A figura 4 observa-se a preparação antes das medições.

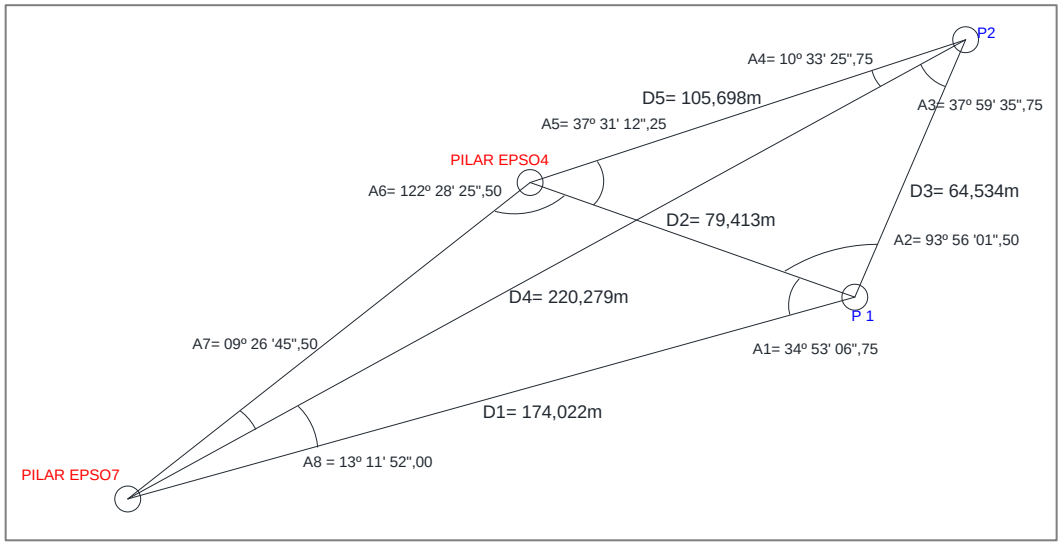
Figura 4 – Preparação da centragem antes das medições.

Fonte: Autor

2.4 Procedimento de medição

Optou-se por realizar o levantamento á noite buscando minimizar os problemas causados pelo calor. Foram utilizadas várias lanternas LED para iluminar os prismas e a estação total. As observações foram realizadas no dia 17 de setembro de 2016, iniciando ás 18:30 e concluídas ás 21 horas. Para controle da medição os ângulos horizontais foram medidos em duas séries, alternando a posição direta PD e inversa PI da luneta (VEIGA; ZANETTI; FAGGION, 2012). Cada ângulo foi observado quatro vezes e para cada medição angular foi também medida a distância horizontal entre os pontos. Posteriormente calculou-se o valor médio das quatro medições para cada ângulo e distância, esses valores que foram considerados como observações no ajustamento pelo método dos mínimos quadrados. A figura 5 apresenta o desenho da rede com os valores médios das observações dos ângulos e das distâncias horizontais.

Figura 5 – Desenho da rede com os valores médios das observações



Fonte: Autor

Sendo:

PILAR EPS07 e PILAR EPSO4 - Pontos de controle com coordenadas conhecidas;
P1 e P2 - Pontos a determinar as coordenadas planimétricas;
Nº N' N",N - Média de quatro medições do ângulo horizontal;
NNN,NNN m – Médias de quatro medições da distância horizontal.

3. RESULTADOS

Os cálculos foram realizados com o software livre Scilab. Na tabela 2 encontram-se os dados de entrada, com as estimativas de precisão e todos os resultados: as coordenadas ajustadas dos pontos com os desvios; as observações ajustadas com os resíduos e desvio; a variância á posteriori e o valor do qui-quadrado para nove graus de liberdade.

Tabela 2. Resultado da triangulatelação.

Dados de entrada		
Coordenadas Fixas Topocêntricas		
EPS04		EPS07
X: 149811,215 m		X: 149718,398 m
Y: 249927,136 m		Y: 249854,310 m
Observação dos ângulos e das distâncias		
Lb (° e m)	Alinhamento	Precisão do equipamento
A1 = 34,8852	EPS7-P1-EPS4	5"
A2 = 93,9338	EPS4-P1-P2	5"
A3 = 37,9933	P1-P2-EPS4	5"
A4 = 10,5572	EPS7-P2-EPS4	5"
A5 = 37,5201	P2-EPS4-P1	5"
A6 = 122,4738	P1-EPS4-EPS7	5"
A7 = 9,4460	EPS4-EPS7-P2	5"
A8 = 13,1978	P2-EPS7-P1	5"

D1 = 174,0220 m	P1-EPS7	3 mm + 2ppm	
D2 = 79,4130 m	P1-EPS4	3 mm + 2ppm	
D3 = 64,5340 m	P1-P2	3 mm + 2ppm	
D4 = 220,2790 m	P2-EPS7	3 mm + 2ppm	
D5 = 105,6980 m	P2-EPS4	3 mm + 2ppm	
Resultados			
P1 (m)	Desvio padrão(m)	P2 (m)	Desvio padrão(m)
X = 149886,1120	0,0028	X = 149911,6749	0,0036
Y = 249900,7502	0,0028	Y = 249959,9991	0,0040
Observação dos ângulos e distâncias ajustadas		Resíduo (“ e m)	Variância Posteriori
La (° e m)	Desvio padrão (“ e m)		
A1 = 34,8846	4,0702	-2,2628	3,2667
A2 = 93,9306	6,7307	-11,3448	
A3 = 37,9912	6,0633	-7,3525	
A4 = 10,5567	4,2544	-1,4903	Qui- Quadrado
A5 = 37,5214	5,8918	4,9376	
A6 = 122,4745	6,4399	2,5845	
A7 = 9,4474	3,9364	4,9682	29,4002
A8 = 13,1936	2,3378	-15,0400	
D1 = 174,0249	0,0026	0,0029	
D2 = 79,4089	0,0031	-0,0041	Graus de Liberdade
D3 = 64,5283	0,0031	-0,0057	
D4 = 220,2865	0,0033	0,0075	9
D5 = 105,6985	0,0033	0,0005	

4. DISCUSSÃO

Uma análise rápida dos resultados indica que o objetivo de chegar uma metodologia de levantamento topográfico com precisão milimétrica havia sido plenamente alcançado, considerando que as coordenadas topocêntricas determinadas dos pontos P1 e P2 não apresentam desvio padrão maior que quatro milímetros. Entretanto, a análise isolada da precisão das coordenadas ajustadas não é suficiente para concluir que o resultado de um ajustamento pelo método dos mínimos quadrados está concluído. É necessário também analisar a distribuição dos resíduos. O método é composto de dois modelos um funcional e outro aleatório e deve considerar que as observações são provenientes de uma amostra que contém erros acidentais, com uma distribuição normal.

Em Gemael (1994) encontra-se o teste global qui-quadrado que permite verificar se os resíduos aleatórios são provenientes da distribuição normal. O teste analisa se a função $\mathbf{v}^T\mathbf{P}\mathbf{v}$ tem distribuição qui-quadrado. Sendo formulado:

H_0: $\hat{\sigma}_0^2 = \sigma_0^2$ (hipótese nula)

H_1: $\hat{\sigma}_0^2 \neq \sigma_0^2$ (hipótese alternativa)

H_0 não é rejeitada ao nível de significância α (em geral 5%) se estiver no intervalo da região de aceitação da distribuição qui-quadrado, isto é, entre o percentil inferior e o percentil superior (figura 6), à direita ou a esquerda dos percentis a hipótese nula é rejeitada ao nível de significância adotado. Sendo o qui-quadrado obtido na expressão:

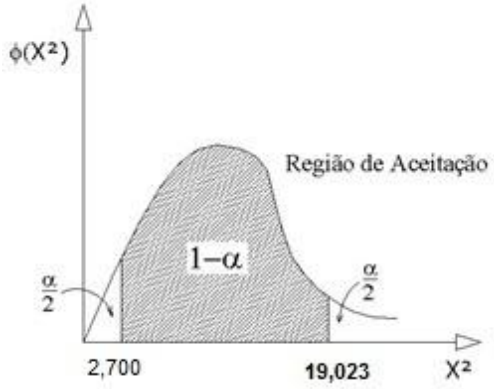
$$\chi^{2^*} = \frac{\mathbf{v}^T\mathbf{P}\mathbf{v}}{\hat{\sigma}_0^2}$$

Sendo:

σ_0^2 =Variância a priori

$\hat{\sigma}_0^2$ = Variância á posterior

Figura 6. Distribuição qui-quadrado com a região de aceitação do teste



Fonte: Adaptado de GEMAEL(1994)

Fazendo o teste do qui-quadrado ao nível de significância de 5% com nove graus de liberdade a tabela apresenta para $\chi^2_{\alpha/2} = 2{,}700$ e para $\chi^2_{\alpha/2} = 19{,}023$ e o valor calculado é 29,401. O resultado do teste é que o valor calculado está fora do intervalo, portanto a hipótese básica é rejeitada ao nível de significância de 5% indicando que o ajustamento não está concluído. É necessário identificar e corrigir o motivo dos resíduos não apresentarem uma distribuição normal.

O problema pode ter sido causado por várias possibilidades: sistema mal-condicionado; modelo matemático inconsistente e estimativa da precisão das observações superestimadas ou subestimadas (GEMAEL, 1994). As duas primeiras possibilidades, para o exemplo, devem ser descartadas o modelo da triangulateração é consistente e o sistema é normal, sendo necessário analisar as outras possibilidades: existência de erros grosseiros ou sistemáticos e a estimativa da precisão das observações.

Não é possível separar o efeito da presença de erros grosseiros ou sistemáticos da estimativa da precisão. Uma observação que contém erro recebe uma estimativa inadequada correlacionando os dois problemas.

4.1 Teste Baarda

Optou-se por pesquisar a existência de erros grosseiros considerando o teste data *snooping* (BAARDA, 1968, p.27). Teste estatístico do resíduo padronizado (W) realizado após o ajustamento pelo método dos mínimos quadrados, (MORAES, 1997) e (STRINGHINI, MORAES, FARRET, 2008).

O resíduo padronizado quando a matriz variância/covariância das observações é diagonal é determinado por:

$$W_i = \frac{v_i}{\sigma_{v_i}}$$

Sendo:

v_i - o resíduo da observação i;

σ_{v_i} - o desvio padrão da observação i, determinado a partir da matriz variância/covariância dos resíduos.

Considerando que o resíduo padronizado W_i tem distribuição normal é possível fazer o teste de hipótese:

H_0 - a observação não contém erro grosseiro.

A hipótese básica H_0 será rejeitada se $|W_i| > k$. O valor k vai depender do nível de significância considerado, sendo os mais utilizados: (1 - α) = 95% quando o valor de K é 1,96 e para (1 - α) = 99% o valor de K é 2,57.

O resultado do teste, após os cálculos dos resíduos padronizados para cada observação na tabela 3, indica que a hipótese de erros grosseiros deve ser afastada. A hipótese básica H_0, a observação não contém erro grosseiro, não foi rejeitada para nenhuma observação. Todos os valores calculados para os resíduos padronizados são menores que o valor crítico para o nível de significância de Para (1 - α) = 95%.

Na tabela 3 encontram-se os valores dos resíduos padronizados para as treze observações: os oito ângulos horizontais e as cinco distâncias.

Tabela 3. As observações com os resíduos padronizados.

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	D1	D2	D3	D4	D5
-0,28	-1,88	-1,10	-0,19	0,72	0,41	0,61	-1,72	0,52	-0,86	-1,20	1,41	0,10

Confirmada a não indicação de erros grosseiros nas observações, a pesquisa do problema do teste global do qui-quadrado volta-se para a estimativa da precisão das observações se superestimadas ou subestimadas. A precisão das observações foi estimada considerando as especificações do equipamento, a estação total GPT 3200N – Topcon tem a indicação de 3 mm + 2 ppm para a medição da distância com prisma e o desvio de 5’’(cinco segundos) para a medição angular.

O valor do qui-quadrado calculado de 29,401 é superior ao tabelado como limite superior de 19,023. É uma indicação que se deve pesquisar a possibilidade dos valores estarem superestimados. Para realizar esse estudo a estimativa da precisão da medição angular, considerando os resíduos, foi alterada de 5” (cinco segundos) para 10” (dez segundos) e o ajustamento da triangulateração foi reprocessado. A tabela 3 apresenta os novos valores ajustados.

Tabela 3. Novo resultado da triangulatelação.

Dados de entrada			
Coordenadas Fixas Topocêntricas			
EPS04		EPS07	
X: 149811,215 m		X: 149718,398 m	
Y: 249927,136 m		Y: 249854,310 m	
Observação dos ângulos e das distâncias			
Lb (° e m)	Alinhamento	Precisão do equipamento	
A1 = 34,8852	EPS7-P1-EPS4	10"	
A2 = 93,9338	EPS4-P1-P2	10"	
A3 = 37,9933	P1-P2-EPS4	10"	
A4 = 10,5572	EPS7-P2-EPS4	10"	
A5 = 37,5201	P2-EPS4-P1	10"	
A6 = 122,4738	P1-EPS4-EPS7	10"	
A7 = 9,4460	EPS4-EPS7-P2	10"	
A8 = 13,1978	P2-EPS7-P1	10"	
D1 = 174,0220 m	P1-EPS7	3 mm + 2ppm	
D2 = 79,4130 m	P1-EPS4	3 mm + 2ppm	
D3 = 64,5340 m	P1-P2	3 mm + 2ppm	
D4 = 220,2790 m	P2-EPS7	3 mm + 2ppm	
D5 = 105,6980 m	P2-EPS4	3 mm + 2ppm	
Resultados			
P1 (m)	Desvio padrão(m)	P2 (m)	Desvio padrão(m)
X = 149886,1114	0,0024	X = 149911,6745	0,0031
Y = 249900,7585	0,0035	Y = 249959,9983	0,0048
Observação dos ângulos e distâncias ajustadas		Resíduo (“ e m)	Variância Posteriori

La (° e m)	Desvio padrão (“ e m)		
A1 = 34,8854	4,9870	0,5524	1,5893
A2 = 93,9292	6,7655	-16,5399	
A3 = 37,9915	7,3193	-6,2124	
A4 = 10,5570	5,2226	-0,6937	Qui- Quadrado
A5 = 37,5223	6,3698	8,1960	
A6 = 122,4732	8,4441	-1,9844	
A7 = 9,4475	4,8239	5,4821	14,3033
A8 = 13,1939	7,7210	-13,8000	
D1 = 174,0239	0,0024	0,0019	
D2 = 79,4089	0,0027	-0,0041	Graus de Liberdade
D3 = 64,5292	0,0028	-0,0048	
D4 = 220,2858	0,0024	0,0068	9
D5 = 105,6979	0,0025	0,0001	

Constata-se na tabela 3 que após o ajustamento o novo valor obtido para qui-quadrado é de 14,3033. Valor que se encontra no intervalo da região de aceitação da distribuição qui-quadrado, maior que 2,700 e menor que 19,023, portanto a hipótese básica não é rejeitada ao nível de significância de 5%. O ajustamento pelo método dos mínimos quadrados está concluído e se aceita que as observações são provenientes de uma amostra que contém erros acidentais com uma distribuição normal.

Os novos resultados do ajustamento da rede de triangulateração são coerentes com as alterações realizadas. Ao reduzir a estimativa de precisão dos valores estimados os novos resultados necessariamente apresentam uma menor precisão.

5. CONCLUSÕES

O levantamento topográfico realizado com uma estação total, formando uma triangulateração, obteve pontos topográficos de precisão milimétrica para trabalhos de engenharia em locais inacessíveis ao uso receptores de sinais GNSS.

A correção da estimativa de precisão das observações, que estavam superestimadas, não comprometeu o objetivo de obter coordenadas ajustadas com precisão milimétrica. No processamento inicial o maior desvio padrão das coordenadas finais ajustadas, tabela 2, não é maior que quatro milímetros e no segundo processamento com a adequação da estimativa, mesmo tendo aumentado, ainda não é superior a cinco milímetros, tabela 3.

Recomenda-se um teste para determinar a estimativa da precisão da medição angular da estação total GPT 3200N – Topcon.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos estudantes: Fábio Vinícius Marley Santos Lima, José Augusto Alencar de Sá, Raquel Arcoverde Vila Nova e Tácito Richarles Ferreira da Silva, da disciplina Tópicos Especiais de Ajustamento, ministrada no segundo semestre 2016 que participaram das medições da rede.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- **NBR 13.133 - Execução de levantamento topográfico - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1994, 35 p.

BAARDA, W. **A testing procedure for use in geodetic networks.** *Netherlands Geodetic Commission*. V. 2, n. 5, 1968

GARNÉS, S. J. A. **Sistema de projeção e orientação das plantas topográficas**. In.: **COBRAC 98**. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário · UFSC Florianópolis · 18 a 22 de Outubro 1998.

GARNÉS, S..J.A., SIQUEIRA, V.P.; CACHO, J.P. **Definição para implantação do sistema topográfico local de Campo Grande-MS e análise das fórmulas da NBR-14.166.** In: Anais do IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, CD-ROM, 2005, Curitiba-PR, 2005.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Editora da UFPR, 1994. 319p.

GEMAEL, C.; MACHADO, A. M. L.; WANDRESEN, R. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas.** Editora UFPR. 2 ed. Curitiba-PR, 2015. 430p.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – INCRA (2013), **Manual Técnico de Posicionamento: georreferenciamento de imóveis rurais**. 1ª Ed. 2013.

KAHMEN, H, FAIG, W. **Surveying-New York.** Ed. de Gruyter, Berlin, 1988, 578p.

MARTINS, D.O. **Determinação de coordenadas espaciais a partir do método das distâncias mínimas**. 2013. 253p.. Dissertação - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Transporte, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

MENDONÇA, F. J. B.; GARNÉS, S. J. A.; PEREIRA, C. M.; BARROSO NETO, J. A.; MELO, W. D. A. **Análise do ajustamento por mínimos quadrados de uma trilateração topográfica com injunções nos planos UTM e topocêntrico**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife – PE, 27-30 de Julho de 2010.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS**: Descrição, Fundamentos e Aplicações. 1.ed. São Paulo: Unesp, 2000. 287p.

MORAES, C. V. **Aplicação do ajustamento ás poligonais**. 1997. 162f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas)-Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, Curitiba.

SILVA, I, SEGANTINE, P. C. L. **Topografia para Engenharia. Teoria e Prática de Geomática.** 1. ed. Editora Elsevier. Rio de Janeiro, 2015.

STRINGHINI, M.; MORAES, C. V.; FERRET, J. C. Estimativa da qualidade de linhas poligonais topográficas. **Ciência Rural,** v.38, n. 6, set, 2008.

VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. **Fundamentos de Topografia** – Engenharia Cartográfica e de Agrimensura. Universidade Federal do Paraná. 2012. 274p.

VILA FLOR, C. D. R. **Rede geodésica cadastral do campus Recife da UFPE: Fase I – planejamento e implantação da rede principal**. Trabalho final de graduação. Relatório parcial. Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008

METODOLOGIA PARA VERIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE NIVEL DIGITAL CONFORME A ISO 17123 – 2

ERMERSON DE VASCONCELOS SILVA [1]
WELISSON JOSÉ DOS SANTOS [2]
PRISCILLA HELIÊNAY OLIVEIRA DO NASCIMENTO PESTANA [3]
ANDREA DE SEIXAS[4]

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências – CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica - DECart
[1, 2, 3 e 4] Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação, Recife, PE
ermerson.geoif@gmail.com, welissonsantos93@gmail.com, priscillahelienay@hotmail.com, aseixas@ufpe.br

RESUMO – Os níveis geodésicos de precisão são susceptíveis a erros sistemáticos, até mesmo durante seu manuseio, a configuração geométrica de seus eixos, poderá se modificar, tendo assim, que se submeter sempre a verificações e retificações para poder garantir os resultados das observações de campo e minimizar os inevitáveis erros aleatórios durante seu manuseio. Este trabalho tem o objetivo de apresentar os procedimentos de campo para teste em níveis geodésicos de precisão de luneta, avaliar e classificar o instrumento de medição, em relação a sua precisão conforme a norma ISO 17123 – 2 (parte 2) de 2001. De acordo com o Método Simples e Composto, respectivamente, as medidas estão dentro do limite aceitável. No método simples a diferença entre as médias aritméticas dos dois conjuntos de 10 medidas em relação as épocas de medição foram menores ou iguais a ±0,218 mm e levando-se em consideração o método completo foi observado que os desvios padrão determinados com valores de ±0,136 mm, ±0,155 mm e ±0,070 mm para as três épocas consideradas foram inferiores ao valor encontrado para o teste estatístico recomendado pela norma. Portanto para os dois métodos aplicados foi possível constatar que com 95% de confiança, a hipótese nula não deve ser rejeitada.

ABSTRACT - The precision geodetic levels are susceptible to systematic errors, even during their handling, the geometric configuration of their axes, can be modified, thus having to always be subjected to checks and corrections in order to guarantee the results of the field observations and minimize the inevitable errors during handling. The objective of this paper is to present the field procedures for testing precision geodetic levels, to evaluate and to classify the measuring instrument in relation to its precision according to ISO 17123-2 (part 2) of 2001. According to simplified and full test procedure, respectively, the measurements are within the acceptable limit. In the simplified method the difference between the arithmetic means of the two sets of 10 measurements in relation to the measurement times were less than or equal to ± 0.000218 m and considering the full method it was observed that the standard deviations determined with values of ± 0.000136 m, ± 0.000155 m and ± 0.000070 m for the three periods considered were lower than the value found for the statistical test recommended by the standard. Therefore for the two methods applied it was possible to verify that with 95% confidence, the null hypothesis should not be rejected.

1 INTRODUÇÃO

A automatização dos níveis, durante as últimas décadas, tem como causa a exigência cada vez maior sobre a precisão e a produtividade no nivelamento geométrico. O nivelamento geométrico é realizado via métodos ópticos ou ópticos - eletrônicos de medição, com um aparelho denominado nível, este devidamente posicionado e nivelado, cujo eixo horizontal da luneta é tangente à superfície equipotencial ao longo do eixo óptico e cujo eixo vertical coincide com a direção do vetor força da gravidade (KAHMEN e FAIG, 1988).

O nivelamento geométrico é um método comumente empregado na engenharia, para trabalhos que envolvem altimetria, utilizando-se como acessório a miras (réguas graduadas) colocadas geralmente a mesma distância do nível (equipamento de medição). O método determina o desnível entre pontos observados (diferença entre a leitura de ré e da vante).

Os níveis são subdivididos em quatro categorias: níveis ópticos, níveis de inclinação, níveis automáticos e níveis digitais. Todos os níveis, possuem duas componentes em comum: luneta para materializar uma linha de visada e permitir que uma leitura seja realizada sobre uma mira graduada e um sistema para orientar (limbo horizontal) a linha de visada em um plano horizontal (KAHMEN e FAIG, 1988; GHILANI e WOLF, 2013).

Os níveis digitais podem ser considerados como uma fusão de uma câmera digital e de um nível automático. Este tipo de equipamento elimina erros na leitura, além da automação na coleta e armazenamento de dados. Conforme Veiga (2002), os níveis digitais possuem os mesmos componentes mecânicos e ópticos de um instrumento óptico automático, mas diferem desses no que diz respeito à forma de leitura, pois se fundamentam na decodificação de um código de barras, que substitui a graduação centimétrica nas miras convencionais (VEIGA, 2002).

Devido a sua grande aplicação e aos critérios de qualidade exigidos para os levantamentos, tanto legalmente, através de normas e especificações técnicas, quanto do ponto de vista da qualidade dos resultados obtidos, torna-se necessária à realização de verificações, retificações e posteriormente a classificação dos mesmos (BRUM, 2005) e (ISO, 2001).

De acordo com o VIM (2012), o processo de verificação e retificação fornece evidência objetiva de que um dado item satisfaz requisitos especificados, ou seja, confirma que as propriedades relativas ao desempenho ou aos requisitos legais são satisfeitas por um Sistema de Medição.

Os níveis são susceptíveis a erros sistemáticos, até mesmo durante seu manuseio, a configuração geométrica de seus eixos, poderá se modificar, tendo assim, que se submeter sempre a verificações e retificações para poder garantir os resultados das observações de campo e minimizar os inevitáveis erros aleatórios durante seu manuseio. No Campus Recife da Universidade Federal de Pernambuco, foi implantada uma base de verificação e retificação de níveis, conforme a Norma ISO 17123 parte 2 (2001), para a realização de testes, com os objetivos de apresentar os procedimentos de campo para testes em níveis de luneta, detectar erros de colimação, avaliar e classificar o instrumento de medição, em relação a sua precisão conforme a norma ISO citada acima. O que permitiu a realização da análise de classificação do nível digital DNA-03 (Leica). Neste contexto serão apresentados os procedimentos de campo e os resultados obtidos conforme norma ISO 17123 – 2 de 2001.

A verificação do erro de colimação pode ser realizada utilizando processos denominados de Nivelamento médio ou Peg test, Método Kukkamäki, Método Förstner e Método Näbauer, nesse trabalho, utilizou-se o método de verificação Kukkamäki, utilizando-se os comandos embutidos do nível digital DNA-03 da Leica. A verificação da classificação do nível foi realizada empregando-se dois procedimentos denominados de método simples e método completo (ISO, 2001). O método simplificado é empregado na checagem da precisão de um nível óptico para ser usado em nivelamentos radiantes, para tarefas onde as linhas de nivelamento são desiguais. O procedimento para o teste com o método completo deve ser adotado para determinar a melhor medição atingível de precisão de um determinado nível e respectivo acessório (Mira) (SILVA, 2017).

2 METODOLOGIA PARA A VERIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE NÍVEL DIGITAL

A seguir serão abordados os tópicos: a construção de uma base de verificação e retificação de nível, processos de verificação de nível, fonte de erros no nivelamento com níveis, classificação de acordo com a ISO 17123-2 (parte 2) 2001, realização das campanhas de medição e processamento e análise estatística de acordo com a referida norma.

2.1 Construção de uma base de verificação e retificação de nível

No Campus Recife da Universidade Federal de Pernambuco foi construída uma base de verificação e retificação de níveis de luneta próxima a parada de ônibus, localizada na frente do prédio em construção do Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustível - LITPEG/CTG (SEIXAS e SEIXAS, 2015), conforme ilustração na Fotografia 1.

Fotografia 1 - Alinhamento dos pinos de superfície semiesféricas da base de verificação e retificação.

Data: 22/09/2015

Os procedimentos para a implantação seguiram as recomendações contidas na Norma Internacional ISO 17123 – parte 2 (2001). A base tem 60 m de comprimento, subdividida em trechos de 10 m. Foram implantados 4 pinos com superfícies semiesféricas a cada 20 m, denominados RN (A, B, C e D) e 3 pontos auxiliares (E1, E2 e E3) com pregos cravados equidistantes entre os pontos A e B, B e C, C e D, respectivamente.

A verificação do alinhamento dos pontos da base de verificação e retificação de níveis foi realizada a partir de uma estação total de 5" de precisão angular e 5mm + 5ppm*D de precisão linear. De acordo com a NBR 13133 (1994) esta estação total é classificada de média precisão.

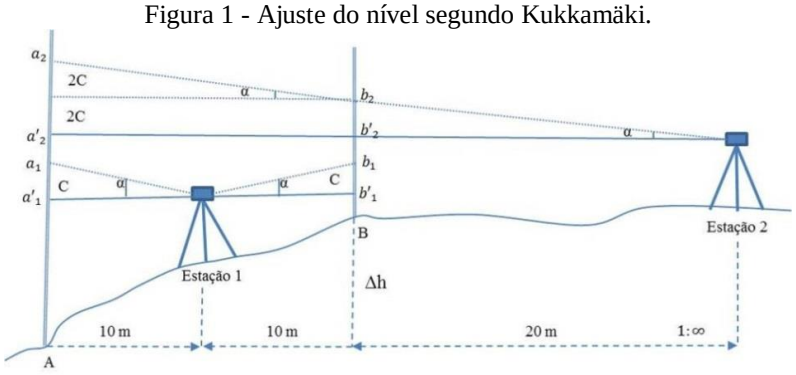
Com a base, implantada, a etapa seguinte, foi a verificação de um equipamento de Nível digital de Alta Precisão da Leica: DNA-03, com uma precisão de ± 0,3 mm por duplo quilometro nivelado. Conforme a (ISO, 2001).

2.2 Processos de verificação de nível

Segundo Espartel (1987), Kahmen e Faig (1988), Deumlich e Staiger (2002) apud Souza (2012) os níveis de luneta são verificados e retificados empregando-se diferentes métodos. Espartel (1987) apresenta o método de verificação denominado de nivelamento médio; Kahmen e Faig (1988), apresentam o método Kukkamäki e Deumilich e Staiger (2002) apud Souza (2012) apresentam os métodos de nivelamento médio, Kukkamäki, Förstner e Näbauer. Neste trabalho, dar-se-á ênfase ao método de verificação e retificação Kukkamäki.

Desta forma, antes de cada campanha de medição, foi aplicado o método Kukkamäki a partir dos comandos embutidos do nível digital para verificar o erro de colimação (C), descrito nas Equações 1 e 2. Quando necessário, foi feito o ajuste deste erro. De acordo com Kahmen e Faig (1988, p. 327), o teste é composto por duas estações (I e II), onde a I está localizada a 10 metros de ambas as miras e a II está localizada a 40 m de A e 20 m da estação B, conforme é mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Ajuste do nível segundo Kukkamäki.



Fonte: KAHMEN e FAIG (1988).

No primeiro momento, instala-se o nível entre os dois pontos A e B, com distância de 10m para ré e vante, método de visadas iguais, e procede-se a leitura. Estas conterão o erro de colimação (C) vertical do nível igual, por estarem a distâncias iguais; logo após o instrumento é instalado a 20m de B e 40m de A, e procede-se a leitura, visadas extremas. Neste caso, as leituras obtidas conterão erros proporcionais à distância da mira, onde os seguintes valores devem ser obtidos, Equação 1 e 2:

$$2C = (a_2 - b_2) - (a_1 - b_1) \quad (1)$$

$$a'_2 - b'_2 = a_1 - b_1 = \Delta h \quad (2)$$

2.3 Fontes de Erros no Nivelamento com Níveis

Conforme Ghilani e Wolf (2013), o processo de medição requer uma combinação de habilidade humana e equipamentos mecânicos precisos e exatos. Entretanto, não importa quão cuidadosamente é feita a medição, os dados levantados não são exatos e sempre irão conter erros. Na perspectiva de alcançar os melhores resultados é importante entender completamente os diferentes tipos de erros, as suas fontes e magnitudes. Estes esperados sob condições variáveis, assim como a sua forma de propagação.

Bomford (1983), destaca alguns possíveis causadores de erros no processo de nivelamento: a maré terrestre, refração atmosférica, erro de colimação, erro de verticalidade da mira e erro de graduação. Além dos erros citados em (BOMFORD, 1983), Corrêa (2012), destaca também o erro sistemático, denominado erro de índice, erro este devido à contagem do zero da mira.

O exemplo do erro de colimação, de acordo com Ghilani e Wolf (2013), não causará erros no nivelamento geométrico, desde que a distância de ré e de vante estejam equidistantes. Desta forma, existe a necessidade do emprego de métodos que possam verificar o erro de colimação do nível.

Para minimizar os efeitos de alguns erros presentes no nivelamento geométrico devem ser observados alguns cuidados operacionais, tais como (IBGE, 1983): nivelamento e contranivelamento; posicionamento equidistante das miras em relação ao nível; limitação do comprimento da linha de visada.

2.4 Classificação de nível de acordo com a ISO 17123- parte 2 (2001)

Basicamente este procedimento busca (ISO, 2001):

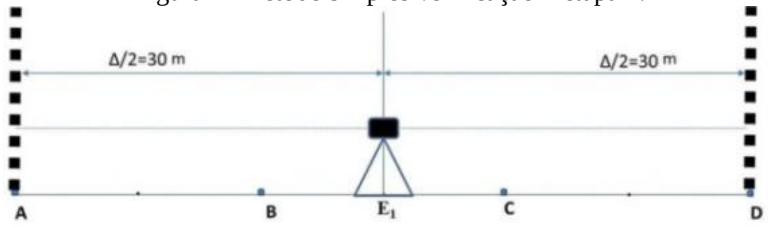
- ✓ Indicar se a precisão do nível está dentro da tolerância determinada;
- ✓ Estabelecer a qualidade do instrumento para uma tarefa específica, assim como satisfazer os requisitos de outras normas.

2.4.1 Método simples

O princípio prático do método simples é conferir a precisão de um nível para ser empregado em um nivelamento de áreas, para tarefas onde as linhas de nivelamento são desiguais.

Neste método são determinadas, em uma primeira etapa, diferenças de altitude entre dois pontos A e D, separados aproximadamente por 60 metros e distantes de 30m da estação E_1 do nível (Figura 2). Esta configuração minimiza a influência da refração, curvatura terrestre e o erro de colimação. Nesta posição é observado um conjunto de 10 leituras, variando-se para cada leitura ré e vante a altura do instrumento (ISO, 2001).

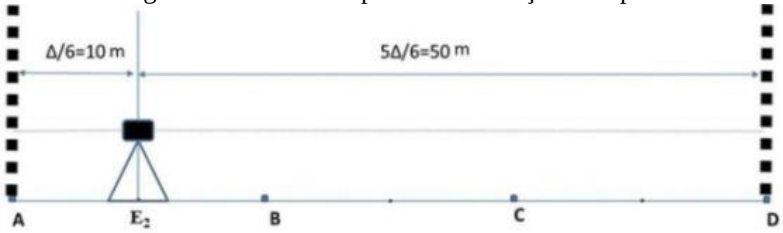
Figura 2- Método simples verificação – etapa 1.



Fonte: ISO 17123 – 2 (2001, p. 4).

Em uma segunda etapa o instrumento é deslocado de sua posição inicial E_1 e instalado a 1/6 da distância entre A e D, ou seja, a 10m de A em E_2 e a 50m do ponto D, como ilustra a Figura 3. Nesta posição é observado outro conjunto de 10 leituras, variando-se também para cada leitura ré e vante a altura do instrumento (ISO, 2001).

Figura 3 - Método simples de verificação – etapa 2.



Fonte: ISO 17123 – 2 (2001, p. 4).

Portanto, de acordo com a norma (ISO, 2001), calcula-se a diferença entre as médias aritméticas dos dois conjuntos de 10 medidas ($\overline{d_1} - \overline{d_2}$). Em seguida, é verificado se o módulo desta diferença é menor que 2,5 vezes o desvio padrão empírico s (Equação 3):

$$\left|\overline{d_1} - \overline{d_2}\right| < 2{,}5 \times s \quad (3)$$

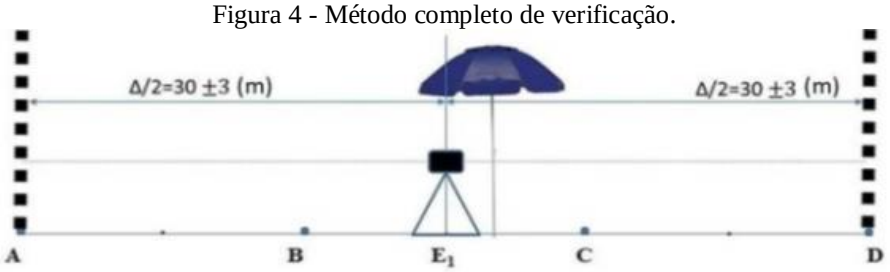
Onde: s é o desvio padrão e 2,5 o valor que representa a estatística de 95% de confiança dos resultados obtidos.

2.4.2 Método completo

O método completo requer a adoção de alcance de visadas iguais em um lance (variação máxima de 10% entre o alcance da leitura ré e da leitura vante). Normalmente é usado para testes de nível de precisão alta, muito alta e altíssima, utilizado para aplicações em seções longitudinais em grandes levantamentos na Engenharia Civil (ISO, 2001).

Neste procedimento o instrumento deverá ser instalado a uma mesma distância das miras A e D (Δ/2=30m ± 3m), para minimizar o erro de refração, esfericidade da terra e o erro de colimação (Figura 4) (ISO, 2001).

Figura 4 - Método completo de verificação.



Fonte: ISO 17123 – 2 (2001, P. 6).

São realizadas duas séries de medidas, a primeira com 20 observações (leituras ré e vante, respectivamente nas Miras A e D), variando-se a altura do instrumento, sendo que com 10 observações realizadas, troca-se o sentido das visadas nas miras, ou seja, a mira ré em A passa a ser vante e a mira vante em B passa a ser ré.

A norma estabelece uma série de testes estatísticos a serem empregados para o teste completo. Nestes, são empregados o desvio padrão experimental s do desnível medido na linha de teste. Perguntas que deverão ser respondidas com os testes são (ISO, 2001):

a) O desvio padrão experimental s é menor ou igual ao indicado pelo fabricante ou outro valor indicado de desvio padrão (σ)?
b) Os dois desvios padrão experimental, s e $\tilde{s}$ determinados a partir de dois grupos diferentes de medidas pertencem a mesma população?

Os desvios padrão s e $\tilde{s}$ podem ser obtidos quando: duas amostras de medidas no mesmo instrumento, mas com observadores diferentes; duas amostras de medidas no mesmo instrumento, mas em diferentes épocas; duas amostras de medidas em diferentes instrumentos.

c) A diferença (δ) obtida dos dois levantamentos compensados é igual à zero?

2.5 Realização das Campanhas de Medição

2.5.1 Método Kukkamäki

Antes da realização do método simples e do método composto foi verificado o erro de colimação a partir do método de Kukkamäki descrito no item 2.2.

2.5.2 Método simples

Conforme a ISO 17123 parte 2 (2001) em 31 de outubro de 2015 e 07 de novembro de 2016 foi realizado o método simples de verificação da precisão do nível digital DNA 03 (Fotografia 2), (SILVA, 2017).

Fotografia 2 - Método simples de verificação do nível digital DNA 03 (Leica).

Data: 31/10/2015

2.5.3 Método completo

Os levantamentos de campo onde ocorreu a aplicação do método completo descrito na ISO 17123 (parte 2) foram realizados em 30 de novembro de 2016 (SILVA, 2017), 16 de janeiro de 2017 (SANTOS, 2017) e 15 de maio de 2018. Os procedimentos de campo referentes ao método foram aplicados nos turnos matutino, noturno e vespertino, respectivamente. A duração média do procedimento foi de aproximadamente 3 horas. A Fotografia 3 ilustra a aplicação do método.

Fotografia 3 – Aplicação do Método Completo da Norma ISO 17123 parte 2 (ISO, 2001).

Data: 16/01/2018

2.6 Processamento e análise estatística de acordo com a norma

As etapas de processamento necessárias para a obtenção dos resultados aritméticos e estatísticos através da aplicação dos métodos simples e completo da ISO 17123 parte 2 (2001) são expostas nos Quadros 1 (Equações 4 a 10) e Quadro 2 (Equações 11 a 23).

Quadro 1 – Etapas de Processamento Conforme Método Simples da Norma ISO 17123 parte 2 (2001)

Processamento	**Equação**	**Ordem Numérica**
Desnível (1-20)	$d_j = x_{A,j} - x_{B,j} \quad j = 1, \dots 20$	(4)
Desnível Médio (1-10)	$\overline{d_1} = \frac{\sum_{j=1}^{10} d_j}{10}$	(5)
Desnível Médio (11-20)	$\overline{d_2} = \frac{\sum_{j=11}^{20} d_j}{10}$	(6)
Resíduos (1-20)	$r_j = \overline{d_1} - d_j \quad j = 1, \dots 20$	(7)
Somatório dos Resíduos (1-10)	$\sum_{j=1}^{10} r_j = 0$	(8)
Desvio Padrão	$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{10} r^2{}_j}{v}}$	(9)
Teste Estatístico	$\lvert\overline{d_1} - \overline{d_2}\rvert < 2{,}5 \times s$	(10)

Quadro 2 – Etapas de Processamento Conforme Método Completo da Norma ISO 17123 parte 2 (2001)

Processamento	**Equação**	**Ordem Numérica**
Desnível	$d_j = x_{A,j} - x_{B,j} \quad j = 1, \dots 40$	(11)
Desnível Médio (1-20)	$\overline{d_1} = \frac{\sum_{j=1}^{20} d_j}{20}$	(12)
Desnível Médio (21-40)	$\overline{d_2} = \frac{\sum_{j=21}^{40} d_j}{20}$	(13)
	$\delta = \overline{d_1} - \overline{d_2}$	(14)
Resíduos (1-20)	$r_j = \overline{d_1} - d_j \quad j = 1, \dots 20$	(15)
Resíduos (21-40)	$r_j = \overline{d_1} - d_j \quad j = 1, \dots 40$	(16)
Somatório dos Resíduos (1-20)	$\sum_{j=1}^{20} r_j = 0$	(17)
Somatório dos Resíduos (21-40)	$\sum_{j=21}^{40} r_j = 0$	(18)
Desvio Padrão	$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{40} r^2{}_j}{v}}$	(19)
Desvio Padrão Experimental por Duplo Km Nivelado	$s_{ISO-LEV} = \frac{s}{\sqrt{2}} \times \sqrt{\frac{1000\ m}{60\ m}} = s \times 2{,}89$	(20)
Teste Estatístico – Questão (a)	$s \leq \sigma \times 1{,}19$	(21)
Teste Estatístico – Questão (b)	$0{,}52 \leq \frac{s^2}{\widetilde{s^2}} \leq 1{,}91$	(22)
Teste Estatístico – Questão (c)	$\| \boldsymbol{\delta} \| \leq \frac{S}{\sqrt{10}} \times 2{,}02 \leq s \times 0{,}64$	(23)

Maiores detalhes sobre as equações e etapas de processamento do método simples e completo de verificação da precisão do nível digital, podem ser observados na referida norma.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Método Kukkamäki

A aplicação do método de Kukkamäki ocorreu na base de verificação e retificação de níveis sempre de maneira prévia a execução dos métodos simples e completo descrito na ISO 17123 parte 2 (2001). Na Tabela 1, têm-se os respectivos valores dos resultados determinados para o erro de colimação C e ajustados automaticamente no nível.

Tabela 1 - Resultados do erro de colimação c durante a verificação e ajuste do equipamento.

Medição	C (erro de colimação) (mm)	Datas
1	0,05	31 / 10 / 2015
2	-0,03	07 / 11 / 2016
3	0,04	30 / 11 / 2016
4	-0,01	16 / 01 / 2018
5	0,08	15 / 05 / 2018

Os erros de colimação (C), especificado na Tabela 1 é provocado pela falta de paralelismo entre a linha de visada e o plano formado pelo sistema de pêndulo, conforme Figura 1.

3.2 Método Simples

Os resultados obtidos na verificação da precisão do nível digital, conforme a norma ISO 17123 – 2 (2001), utilizando o método simples são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise da verificação do nível digital utilizando o método simples da ISO 17123 parte 2 (2001).

Datas	Observações	Médias Aritméticas das Observações (mm)	Desvio Padrão (s) (mm)	Estatística de 95% (mm)	
31/10/2015	$\overline{d_1}$	-16,474	±0,127	0,318	Aceito
	$\overline{d_2}$	-16,692			
	$\overline{d_1} - \overline{d_2}$	-0,218			
07/11/2016	$\overline{d_1}$	-20,089	±0,043	0,108	Aceito
	$\overline{d_2}$	-20,084			
	$\overline{d_1} - \overline{d_2}$	-0,005			

Conforme a Tabela 2, a diferença ($\overline{d_1} - \overline{d_2}$) obtida entre as amostras do dia 31 de outubro de 2015 foi de ($\overline{d_1} - \overline{d_2}$) = -0,218 mm, com um desvio padrão s = 0,127 mm e as amostras do dia 07 de novembro 2016, foi de ($\overline{d_1} - \overline{d_2}$) = -0,005 mm, com um desvio padrão s = ±0,043 mm . Portanto, de acordo com o teste $|\overline{d_1} - \overline{d_2}| < 2{,}5 \times s$, as medidas estão dentro do limite aceitável de acordo com a ISO 17123-2 (ISO, 2001).

3.3 Método Completo

De acordo, com a norma ISO 17123-2, calculou-se a diferença entre as médias aritméticas dos dois conjuntos de 20 medidas ($\overline{d_1} - \overline{d_2}$). Em seguida, foi verificado se o módulo desta diferença foi menor que 2,89 vezes o desvio padrão (*s*). Os resultados são apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3 - Resultados da verificação do nível digital pelo método completo da ISO 17123-2 (2001) para a campanha realizada em 30 de novembro de 2016.

Observações	Média aritmética (mm)	Desvio padrão (mm)	Estatística de 95% (mm)
$\overline{d_1}$	-20,469	±0,136	0,394
$\overline{d_2}$	-20,438		
$\overline{d_1} - \overline{d_2}$	-0,031		

Tabela 4 - Resultados da verificação do nível digital pelo método completo da ISO 17123-2 (2001) para a campanha realizada em 16 de janeiro de 2017.

Observações	Média aritmética (mm)	Desvio padrão (mm)	Estatística de 95% (mm)
$\overline{d_1}$	-21,11	±0,155	0,448
$\overline{d_2}$	-21,14		
$\overline{d_1} - \overline{d_2}$	0,03		

Tabela 5 - Resultados da verificação do nível digital pelo método completo da ISO 17123-2 (2001) para a campanha realizada em 15 de maio de 2018.

Observações	Média aritmética (mm)	Desvio padrão (mm)	Estatística de 95% (mm)
$\overline{d_1}$	-16,29	±0,07	0,02
$\overline{d_2}$	-16,28		
$\overline{d_1} - \overline{d_2}$	0,010		

Com relação ao teste estatístico, este considerou duas amostras de medidas realizadas com o mesmo instrumento, mas com observadores diferentes. Em continuidade, o seguinte teste estatístico Qui-Quadrado (χ^2) foi realizado:

$$s \leq \sigma\sqrt{\frac{\chi^2_{0,95}(38)}{38}} = s \leq \sigma\sqrt{\frac{53,38}{38}} = \chi^2_{0,95}(38) = 53,38 = s \leq \sigma\sqrt{\frac{53,38}{38}} = s \leq \sigma \times 1,19$$

Sendo:

σ O desvio padrão de referência para o teste, este igual a ±0,3 mm (precisão do equipamento usado).

Desta forma, conclui-se que, com 95% de confiança, a hipótese nula não deve ser rejeitada, pois os valores do desvio padrão encontrado nas três campanhas de medição onde se aplicou o método completo da norma foram inferiores aos valores atribuídos ao teste estatístico realizado $\sigma \times 1,19$, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Aplicação de Teste Estatístico aos Dados Obtidos Com a Aplicação do Método Completo

Teste Estatístico	Resultados		Datas
	s	$\sigma \times 1,19$	
$s \leq \sigma \times 1,19$	0,136 mm	0,357 mm	30/11/2016
	0,155 mm	0,357 mm	15/01/2017
	0,070 mm	0,357 mm	15/05/2018

4 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi apresentar os procedimentos de campo para teste em níveis geodésicos de precisão de luneta, avaliar e classificar o instrumento de medição, em relação a sua precisão conforme a norma ISO 17123 – 2 (parte 2) de 2001. Para isso, foram realizadas: a construção de uma base de verificação e retificação de nível, campanhas de medição e processamento e análise estatística de acordo com a referida norma.

Desta forma, verificou-se que, o equipamento testado conforme as especificações da ISO 17123 – 2 apresentou resultados satisfatórios. Pelo método simples de calibração (ISO 17123-2, 2001) realizado em duas épocas distintas, conforme a Tabela 1, a diferença ($\overline{d_1} - \overline{d_2}$) obtida entre as amostras do dia 31 de outubro de 2015 e 07 de novembro 2016 foi de (-0,218 mm e -0,005 mm), com um desvio padrão (±0,127 mm e ±0,043 mm), respectivamente. Pelo método completo realizado no dia 30 de novembro de 2016, 15 de janeiro de 2017 e 15 de maio de 2018 os desvios padrão encontrados foram de ±0,136 mm, ±0,155 mm e ±0,07 mm sendo, portanto, menores que o valor atribuído ao teste estatístico realizado $\sigma \times 1,19$ igual a ±0,357 mm.

Portanto, para se estabelecer uma credibilidade em dados mensurados é de grande importância o emprego de equipamentos e acessórios confiáveis. Nisso está a importância desta verificação, que demostrou que as observações do nível digital DNA 03 empregado são confiáveis para o procedimento do método de nivelamento geométrico. De acordo com a norma e com os resultados obtidos o nível digital é classificado em altíssima precisão, ou seja, desvio padrão para duplo quilômetro nivelado menor ou igual a ±0,5 mm.

AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos à PROPESQ/UFPE pelas bolsas de pesquisa CAPES/PROPESQ, ao Departamento de Engenharia Cartográfica pela concessão dos Equipamentos e acessórios locados no Laboratório de Geodésia – LAGEO, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, ao Projeto de Pesquisa nº 3076.040512/2015-15 PROPESQ/UFPE e o Projeto de Pesquisa nº 23076.016133/2018-57, pela concessão de bolsa de pesquisa associada ao Trabalho de Conclusão de Curso (Diretoria do CTG associada ao projeto nº 3076.040512/2015-15) e aos alunos do Programa de Pós-Graduação que contribuíram para a aquisição de dados em campo.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13133: Execução de Levantamento Topográfico**. Rio de Janeiro – RJ, 1994.

BOMFORD, G. Geodesy. **Oxford**: University Press, 4. ed., 1983.

BRUM, E. V. P. **Verificação e classificação de níveis de acordo com normas internacionais**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Centro de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, PR, 2005.

CORRÊA, C. P**. Metodologia para Controle de Recalques em Estruturas de Concreto Armado por Meio de Nivelamento Geométrico de Precisão** Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2012.

DEUMILICH. F.; STEIGER, R. **Instrumentenkunde der Vermessungstechnik**. Aufl. 9. Wichmann, 2002.

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia**. Porto Alegre: Editora Globo. 7ª. Ed.1987.

GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. **Geomática /** Charles D. Ghilani, Paul R. Wolf; Tradução Daniel Vieira; revisão técnica Alessandro Salles Carvalho – São Paulo: Pearson education do Brasil, 2013. Title original: Elementary Surveying: an Introduction to Geomatics. 13 ed. Norte Americana.

IBGE. Resolução - PR nº 22, de 21-07-83 - **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos, 1983** – www.ibge.gov.br (acessado em 02/07/2011).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDSATION. **ISO 17123: Optics and Optical Instruments – Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments – Part 2:** Levels. Geneva, 2001.

KAHMEN, H.; FAIG, W**. Surveying**. Berlin: ed. De Gruyter, 1988.

SANTOS, W.J. **A contribuição da Topografia e da Geodésia no estudo de terrenos inclinados e áreas de risco.** Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2017.

SEIXAS, A; SEIXAS, J. **Controle e Monitoramento de Recalques - Edifício em Construção do Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustíveis - LITPEG CTG/UFPE**. Projeto de Pesquisa - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2015.

SILVA, E. V. **Monitoramento de Estruturas Geodésicas Altimétricas e Estabelecimento de Padrões de Referência Metrológica: Campus Recife da UFPE.** Dissertação de mestrado em desenvolvimento - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências, da Universidade Federal de Pernambuco, 2017.165p.

SOUZA, A. **Análise e comparação de estruturas geodésicas tridimensionais definidas por métodos planialtimétricos de medição**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2012.

VEIGA, L. A. K. **Homogeinização de dados provenientes de diferentes níveis digitais.** In: Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática. São Paulo, 2002.

VOCABULÁRIO INTERNACIONAL DE METROLOGIA (VIM): **Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados (VIM 2012).** Duque de Caxias, RJ: INMETRO, 2012.

WOLF, P. R**.;** GHILANI, C. D. **Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics** / Charles D. Ghilani, Paul R. Wolf. — 13th ed. p. cm. isbn-13, 2012.

MÉTODOS DE MEDIÇÃO TOPOGRÁFICOS E GEODÉSICOS APLICADOS AO ESTUDO DE TERRENOS INCLINADOS SUSCEPTÍVEIS A ÁREAS DE RISCO

WELISSON JOSÉ DOS SANTOS[1]
ANDREA DE SEIXAS[2]
MARCIO BEZERRA DA SILVA[3]
MARCELLA FERNANDES DE OLIVEIRA MELO[4]

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
[1, 2, 3]Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação, Recife, PE
[4]Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Recife, PE
welissonsantos93@gmail.com, aseixas@ufpe.br, smarcio817@gmail.com, marcella_0402@hotmail.com

RESUMO - O estudo e a análise de terrenos inclinados susceptíveis a áreas de risco exigem por parte dos setores responsáveis por seu acompanhamento um elevado grau de atenção. O desenvolvimento de metodologias de prevenção, monitoramento e contenção nessas localidades é de extrema importância e exige uma aplicação periódica. Pretende-se neste trabalho analisar um terreno inclinado, a partir da implantação de estruturas geodésicas tridimensionais, utilizando diferentes métodos de levantamentos topográficos e geodésicos. Os métodos do nivelamento geométrico de altíssima precisão, nivelamento trigonométrico, interseção a ré e o posicionamento GNSS/RTK – *Global Navigation Satellite System*/*Real Time Kinematic,* foram empregados para a definição dos pontos de referência, enquanto que para a definição dos pontos-objeto foram empregados o método da interseção a vante 2D, método de nivelamento geométrico, e posicionamento GNSS/RTK. A utilização de diferentes Métodos de Medição Terrestres e de posicionamento geodésico por satélites para a definição de pontos-objeto permite comparar qualitativamente e quantitativamente os mesmos, tomando como referência a qualidade posicional obtida, a análise dos custos envolvidos, o tempo de desenvolvimento em campo, a viabilidade e a eficácia apresentada por cada método. Os experimentos ocorreram nas adjacências da Igreja Nossa Senhora do Carmo localizada no Sítio Histórico de Olinda-PE.

ABSTRACT - The study and analysis of sloping terrains susceptible to risk areas requires a high degree of attention from the sectors responsible for their monitoring. The development of methodologies for prevention, monitoring and containment in these locations is extremely important and requires periodic application. This paper intends to analyze an inclined terrain, from the implantation of three-dimensional geodesic structures, using different topographic and geodetic survey methods. The methods of high-precision geometric leveling, trigonometric leveling, resection and the GNSS/RTK - *Global Navigation Satellite System*/*Real Time Kinematic* positioning were used for the definition of the field of reference points, while in the definition of the object-point field were used the 2D forward intersection method, geometric leveling method and GNSS / RTK positioning. The use of different terrestrial measurement methods and geodesic positioning by satellites to define the field of object points allows a qualitative and quantitative comparison between them, taking as reference the positional quality obtained, the analysis of the costs involved, the development time in the field, the viability and the effectiveness presented by each method. The experiments were conducted in the vicinity of Our Lady of Carmel Church located in the Historical Site of Olinda.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado das cidades brasileiras aliado a falta de políticas de ocupação urbana obriga boa parte da população brasileira, no geral os mais pobres, a ocuparem terrenos íngremes localizados na grande maioria das vezes nas periferias dos centros urbanos. A comunidade científica costuma nomear estas localidades através do termo áreas de risco, pois seus habitantes estão expostos a fenômenos, que podem lhes causar efeitos prejudiciais. Tais fenômenos podem ter causas naturais ou induzidas.

Cabe ao poder público realizar a gestão destas localidades, promovendo medidas que tenham como meta prevenir, mitigar ou até mesmo conter os riscos sob os quais os habitantes destas localidades estão sujeitos. Na prática a gestão de áreas de risco no Brasil exige um esforço gigantesco por parte dos órgãos governamentais e devido às dimensões continentais do nosso país e sua volumosa população nem sempre é possível realizar o monitoramento destas áreas com

eficiência, visto o alto número de casos de fenômenos de movimentação gravitacional de massas, que ocorrem principalmente em épocas de pluviosidades volumosas.

Desastres podem ser evitados a partir da correta identificação e caracterização de áreas de risco e o sucesso destes estudos exige uma ampla interdisciplinaridade entre as Ciências Exatas e Humanas, sendo necessário destacar o papel vital exercido pela Engenharia, que por meio de ciências, como a Geodésia, a Topografia, a Geotecnia, a Fotogrametria e o Sensoriamento Remoto, proporcionam a aquisição de dados técnicos essenciais para a geração de produtos precisos e acurados acerca da localidade estudada.

Neste trabalho será apresentada uma metodologia de caráter preventivo que pode vir a ser utilizada em trabalhos técnicos que envolvam a definição de características topográficas e geotécnicas em terrenos inclinados susceptíveis a áreas de risco, abordando inclusive operações de terraplenagem (corte e aterro) que podem vir a ser realizadas. O desenvolvimento da metodologia na área de estudo analisada consistiu em materializar estruturas geodésicas (pontos-objeto e pontos de referência) a partir de métodos topográficos e geodésicos.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Características da Área de Estudo

O local escolhido para a aplicação dos métodos de medição topográficos/geodésicos foi as adjacências da Igreja Nossa Senhora do Carmo, localizada no Sítio Histórico de Olinda – Pernambuco. Segundo IPHAN (2017), a Igreja foi fundada no ano de 1580 ainda com o nome de Capela de Santo Antônio, com a chegada dos Carmelitas no ano seguinte foram realizadas ampliações em sua estrutura, a edificação é considerada a mais antiga da ordem dos Carmelitas nas Américas.

Na Figura 1 é possível notar as feições relativamente inclinadas da área de estudo. Ressalta-se que apesar da área de estudo possuir um terreno inclinado em estado natural não foi possível realizar a implantação de pontos-objeto nela, pois devido ao caráter histórico do local isto somente seria possível com a autorização dos órgãos competentes, o que demandaria um tempo de espera acima do previsto para o recebimento de respostas que poderiam vir a ser negativas.

Sendo assim, optou-se por aplicar os métodos de levantamentos sobre a escadaria artificial construída no terreno, detalhes acerca da materialização dos pontos-objeto podem ser vistos no item 2.3.2.

Figura 1 – Igreja Nossa Senhora do Carmo, Olinda – Pernambuco.

Data: 27/01/2017

2.2 Materiais

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes equipamentos, acessórios e softwares:

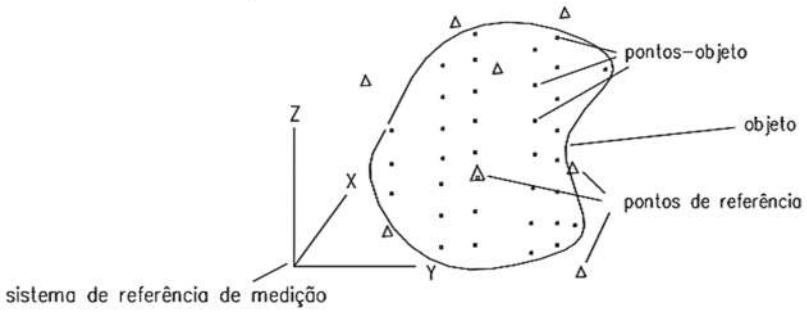
- 02 Estações totais Topcon GPT-3200N: precisão angular de 5” e precisão linear de 5mm + 5ppm;
- 01 Nível Topcon ATB4: precisão de 2 mm por duplo Quilômetro nivelado;
- 01 Nível digital Leica DNA-03: precisão de 0,3 mm por duplo Quilômetro nivelado;
- 01 Mira de ínvar de 2 metros de código de barras Leica;
- 01 Mira de alumínio centimetrada de 4m de alumínio e de encaixe;
- 02 Receptores GNSS Topcon Hiper L1/L2: Precisão horizontal de 3 mm + 0,5 ppm e Precisão vertical de 5mm + 0,5 ppm;
- Acessórios para o levantamento de campo, tais como: prismas, bastões, tripés, suportes bastão – tripé, trenas, miras graduadas, sapatas, marreta, fita adesiva e apoio logístico.

2.3 Estruturas Geodésicas Tridimensionais

De acordo com Torge (2003), estruturas geodésicas tridimensionais podem ser definidas como campos de pontos planialtimétricos precisos e materializados. Estes campos de pontos representam a referência para o estabelecimento dos posicionamentos de alcance global, regional e local. A definição de tais estruturas é uma das etapas iniciais na execução de projetos de infraestrutura relacionados a engenharia.

Partindo-se deste contexto e utilizando as malhas de referências implantadas no Sítio Histórico de Olinda em (GAMA,2008) e (SOUZA, 2012) e densificadas em (SANTANA NETO, 2016) e (GOMES, 2016), definiu-se uma estrutura geodésica formada por um conjunto de pontos de referência e um conjunto de pontos-objeto, conforme Figura 2.

Figura 2: Estrutura Geodésica Tridimensional



Fonte: Silva, Seixas e Romão (2004).

2.3.1 Pontos de Referência

De acordo com Silva, Seixas e Romão (2004), os pontos de referência são formados por um conjunto de pontos materializados na superfície terrestre com valores posicionais conhecidos, intencionalmente preparados para a definição de um sistema de referência de medição estável. Ainda neste contexto, Silva, Seixas e Romão (2004), afirmam que a distribuição dos pontos de referência deve seguir uma dada configuração geométrica otimizada, de modo que seja possível obter a melhor propagação de erros aceitáveis das observações simuladas, o melhor rendimento de observações dos pontos-objeto e uma estabilidade para a realização do Sistema de Referência de Medição ao longo do tempo.

Os levantamentos de campo responsáveis pela definição dos pontos de referência tiveram início no dia 25/01/2017 com a realização de um nivelamento geométrico de altíssima precisão com início e fim na RN-394D (IBGE, 2011) e uma duração de aproximadamente 5 horas. A partir deste levantamento foi possível redeterminar a altitude ortométrica da RNNSC localizado em frente a área de estudo, porém localizada na parte inferior da escadaria. Em seguida foi empregado o método da interseção a ré descrito em Kahmen e Faig (1988), este método foi utilizado para a definição das coordenadas planimétricas de dois novos vértices integrantes dos pontos de referência, denominados neste trabalho de IC1 e IC2. Os levantamentos de campo ocorreram no dia 23/01/2018 com uma duração de 4 horas e uma equipe composta por quatro pessoas. A aplicação do método em campo consistiu em obter medidas angulares e lineares a partir de um vértice com coordenadas desconhecidas (IC1 e IC2) a vértices com coordenadas conhecidas, ressalta-se que os vértices IC1 e IC2 foram materializados no terreno por hastes metálicas de 20 cm. Na área de estudo em questão já havia pontos de referência tridimensionais pré-existentes no Sistema Geodésico Brasileiro SIRGAS2000 definidos a partir da tecnologia GNSS e apresentados em (GAMA, 2008) e (SOUZA, 2012). Além destes, também foram utilizados vértices planialtimétricos pré-existentes materializados com hastes metálicas e implantados pelo método da poligonação 3D e apresentados em (SANTANA NETO, 2016) e (GOMES, 2016). Neste trabalho foi utilizada como origem do Sistema Geodésico Local (SGL) o vértice denominado BVM. Assim, os dados da poligonal apresentados em (SANTANA NETO, 2016) e (GOMES, 2016) foram recalculados para este SGL. Os pontos de referência planialtimétrica pré-existentes e respectivas coordenadas são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Pontos de Referência Planialtimétrica Pré-existentes na Área de Estudo no SGL SIRGAS2000

Vértice	X (m)	Y (m)	Altitude Ortométrica (m)	Sistema de Referência	Método
INSC	150410,5438	249944,7026	8,244	SGL	Poligonação
CARMO	150366,5379	249952,8888	7,693	SGL	Poligonação
FOCCA	150352,1718	249931,9872	8,822	SGL	Poligonação

Os vértices IC1 e IC2 ainda foram levantados utilizando o método GNSS/RTK, nessa situação o receptor GNSS base foi posicionado no vértice INSC enquanto o receptor móvel foi posicionado sobre os vértices integrantes do campo de pontos de referência, inclusive sobre os pré-existentes. Utilizou-se como critério de aceitação das observações realizadas o momento em que as precisões horizontais e verticais fossem menores que 2cm e 2,5cm, respectivamente. Na Figura 3 é possível visualizar uma perspectiva aérea do campo de pontos de referência utilizado.

Figura 3 – Campo de Pontos de Referência Planialtimétrica

Fonte: Google Earth (2017).

2.3.2 Pontos-Objeto

Os pontos-objeto são formados por um conjunto de pontos que discretizam um objeto, sendo definidos por sua localização e monumentalização. Os pontos-objeto ficam plenamente caracterizados pela metodologia de instrumentação temporal utilizada. A localização destes pontos poderá ser otimizada, entre outras variáveis, em função da forma do objeto e das condições, que favoreçam a execução das medições, como por exemplo a dificuldade de monumentalização de pontos, presença de causas influentes externas como vibrações e gradientes de temperatura (SILVA, SEIXAS, ROMÃO, 2004).

Neste trabalho, discretizou-se um terreno inclinado a partir de pontos-objeto materializados sobre a escadaria da Igreja Nossa Senhora do Carmo, devido à grande extensão desta escadaria utilizou-se apenas três lances específicos da mesma, aqui denominados de objeto 1, objeto 2 e objeto 3, conforme Figura 4. Ao todo foram materializados com fitas adesivas sobre estes objetos 68 pontos-objeto.

Devido a localidade ser tombada pelo patrimônio histórico nacional não foi possível materializar pontos utilizando pinos ou chapas metálicas. Nesse caso foi preciso desenvolver uma metodologia diferenciada para a materialização destes pontos-objeto. A estratégia utilizada foi definir com o auxílio de uma trena o ponto médio das lajotas quadriculares que compunham a escadaria e a partir disso materializá-los com marcações gráficas em uma fita adesiva, conforme Figura 5.

Figura 4 – Identificação dos Objetos 1, 2 e 3

Figura 5 – Materialização de Ponto-Objeto

A partir da materialização dos pontos-objeto foram aplicados os métodos de levantamentos topográficos/geodésicos. O primeiro dos métodos a ser aplicado foi a interseção a vante descrita em (KAHMEN e FAIG, 1988), onde a partir dos vértices de referência IC1 e IC2 foram realizadas medições angulares e lineares nas posições direta e inversa da luneta para os 68 pontos-objeto materializados. A operação contou com a utilização simultânea de duas estações totais e uma equipe composta por seis pessoas, a aplicação do procedimento durou aproximadamente seis horas.

Para complementar os métodos de medição utilizados para a definição dos pontos-objeto foram aplicados a técnica GNSS/RTK (MONICO, 2008) e o Nivelamento Geométrico (ESPARTEL, 1987) a partir de um nível automático analógico e mira de alumínio de encaixe.

2.4 Terraplenagem

A quadriculação do terreno descrita no item 2.3.2 teve como objetivo realizar uma discussão acerca de procedimentos de terraplenagem que podem ser utilizadas para conter ou mitigar processos gravitacionais de massa que frequentemente ocorrem em terrenos inclinados. Sendo assim, os pontos-objeto implantados nos objetos 01 e 02 foram uniformemente espaçados em quadriculados de aproximadamente 80 centímetros, ao passo que o objeto 03 teve pontos-objeto implantados em quadriculados de 1,6 metros. Na Figura 6 é possível visualizar a malha quadriculada adotada nos objetos 01 e 02, onde os pontos-objeto na tonalidade preta referem-se ao objeto 01 e os pontos na tonalidade azul denotam o objeto 02.

Figura 6 – Malha Quadriculada Implantada nos Objetos 1 e 2

O1P4	**O1P8**	**O1P12**	**01P16**	**01P20**	**01P24**	**01P28**	**O1P32**
O1P3	**O1P7**	**O1P11**	**01P15**	**01P19**	**01P23**	**01P27**	**O1P31**
O1P2	**O1P6**	**O1P10**	**01P14**	**01P18**	**01P22**	**01P26**	**O1P30**
O1P1	**O1P5**	**O1P9**	**01P13**	**01P17**	**01P21**	**01P25**	**O1P29**
O2P3	**O2P6**	**O2P9**	**02P12**	**02P15**	**02P18**	**02P21**	**O2P24**
O2P2	**O2P5**	**O2P8**	**02P11**	**02P14**	**02P17**	**02P20**	**O2P23**
O2P1	**O2P4**	**O2P7**	**02P10**	**02P13**	**02P16**	**02P19**	**O2P22**

Fonte: Santos (2017)

Como o objeto 03 possui um conjunto de pontos não uniformes como os objetos 01 e 02, o cálculo dos volumes de corte e aterro para este objeto não foi realizado. Para o estudo do terraplenagem na área de estudo determinou-se que as obras de terraplenagem deveriam obter um plano inclinado de 1 para 7, com rampa de -20 %, sem a exigência de uma altura determinada para este plano, neste caso os volumes finais de corte e aterro serão idênticos, tal hipótese é descrita, como exemplo de aplicação de terraplenagem em planos inclinados, em (BORGES, 1992). Os volumes de corte e aterro foram obtidos considerando os dados altimétricos advindos do método de nivelamento geométrico e posicionamento RTK.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Pontos de Referência

3.1.1 Nivelamento Geométrico de Altíssima Precisão

O nivelamento geométrico de altíssima precisão utilizou como referência de nível a altitude ortométrica do vértice RN394-D (IBGE, 2011) com valor de 15,9082 metros. As altitudes ortométricas foram calculadas de acordo com o método do nivelamento geométrico composto e ajustadas pelo método proporcional as distâncias, conforme NBR 13133 (ABNT, 1994). As altitudes ortométricas das Referências de Nível ocupadas durante o nivelamento são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Altitudes Ortométricas determinadas por Nivelamento Geométrico de Altíssima Precisão

Referência de Nível	Altitude Ortométrica (m)
RNSP	12,72164
RNNSC	8,71939

O nível digital Leica DNA 03 utilizado durante as operações de campo possui, segundo seu fabricante um desvio padrão 0,3mm/km, sendo classificado conforme a NBR 13133 (ABNT, 1994) como um equipamento de muito alta precisão, vale ressaltar que a precisão do nível utilizado foi verificada com a aplicação do método completo da norma IS0 17123-2 (ISO, 2001), sendo o equipamento enquadrado neste caso como de altíssima precisão, tal classe não é prevista na NBR 13133. Os resultados encontrados com a aplicação do método completo são disponibilizados em (SANTOS, 2017). Na Tabela 2 é possível visualizar alguns indicadores de qualidade do nivelamento geométrico efetuado.

Tabela 2 – Parâmetros Encontrados na Aplicação do Método de Nivelamento Geométrico de Alta Precisão

Tolerância Altimétrica (mm/km)	**Erro de Fechamento (m)**	**Precisão (mm/km)**	**Distância Percorrida no Nivelamento (m) (RN394-D - RNNSC)**	**Distância Percorrida no Contranivelamento (m) (RNNSC - RN394-D)**
10,053	0,00096	0,64057	253,615	869,375

3.1.2 Nivelamento Trigonométrico

A Referência de Nível RNNSC foi considerada como como base para o transporte das altitudes ortométricas para os pontos de referência definidos neste trabalho (IC1 e IC2). A altitude foi transportada para os vértices através da aplicação do método de nivelamento trigonométrico, realizado simultaneamente a aplicação do método da interseção a ré. As altitudes ortométricas encontradas a partir da RNNSC são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Altitudes Ortométricas de IC1 e IC2 determinadas por Nivelamento Trigonométrico

Referência de Nível	**Altitude Ortométrica (m)**
IC1	14,857
IC2	14,644

O desnível encontrado entre o vértice RNNSC e o vértice IC1 foi de -6,138 metros, enquanto que o desnível encontrado entre RNNSC e IC2 foi de -5,925 metros.

3.1.2 Interseção a Ré

As fórmulas e cálculos necessários para obter as coordenadas planimétricas de um vértice a partir do método da interseção a ré são apresentadas em (KAHMEN e FAIG, 1988) e (WOLF e GHILANI, 1996), seguindo as mesmas e utilizando-se como pontos de referência planimétrica os vértices (CARMO, INSC e FOCCA) apresentadas no Quadro 1 foi possível encontrar as coordenadas X e Y dos vértices IC1 e IC2.

A abundância de vértices com coordenadas planimétricas conhecidas possibilitou a realização do ajustamento das observações de acordo com o modelo paramétrico do Método dos Mínimos Quadrados – MMQ descrito em (GEMAEL, 1994). A análise estatística das observações foi realizada através da aplicação do teste do Qui-Quadrado. Os valores encontrados com a aplicação deste teste foram menores que os valores críticos possíveis para a situação analisada, na qual o número de graus de liberdade é dois. Sendo assim, a um grau de confiança de 95% as coordenadas obtidas foram aceitas, o controle dos dados obtidos foi realizado com a verificação através do *software* Adjust Wolf e Ghilani (1996). Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Coordenadas Planimétricas em Sistema Geodésico Local SIRGAS2000 dos Vértices IC1 e IC2

Estação	**X(m)**	**Y(m)**	**Desvio Padrão X(m)**	**Desvio Padrão Y(m)**	**Qui-Quadrado**	**Graus de Liberdade**
IC1	150394,883	249898,512	0,022	0,022	0,000633	2
IC2	150371,870	249898,028	0,018	0,018	0,000484	2

Os valores de desvios padrão encontrados são compatíveis para os obtidos para os vértices CARMO, INSC e FOCCA que também obtiveram valores de ordem centimétrica através do método da poligonação.

3.1.3 GNSS/RTK

Os resultados obtidos com a aplicação do método GNSS/RTK são disponibilizados diretamente em campo, no entanto como sobre cada vértice ocupado (IC1 e IC2) foram realizadas três observações convencionou-se obter como coordenadas finais a média aritmética destas medidas. Na Tabela 5 é possível visualizar estes resultados no sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator – UTM SIRGAS2000.

Tabela 5 – Coordenadas Planialtimétricas dos Vértices IC1 e IC2

Estação	E(m)	N(m)	h (m)	Desvio Padrão (E, N) m	Desvio Padrão h(m)
IC1	296207,137	9113353,109	9,313	0,016	0,015
IC2	296184,113	9113352,509	9,129	0,013	0,018

Onde h representa a altitude geométrica.

3.2 Campo de Pontos-objeto

3.2.1 Interseção a Vante

O cálculo das coordenadas dos 68 pontos-objeto levantados sobre a superfície da escadaria utilizando o método da interseção a vante foi realizado com o auxílio do módulo interseção direta disponível no *software* AstGeoTop (GARNÉS, 2017). O processamento dos dados seguiu o mesmo procedimento adotado em campo, no qual a escadaria foi dividida em três setores denominados objeto 1, objeto 2 e objeto 3. Sendo assim, foi adotada uma nomenclatura para identificar corretamente os pontos. Pode-se citar como exemplo os pontos 01P1 e 03P10 que identificam respectivamente o primeiro ponto levantado no objeto 1 e o décimo ponto levantado no objeto 3 (Figura 6).

Considerando o fato de que o desvio padrão das componentes horizontais dos vértices IC1 e IC2 que serviram de base para a aplicação do método interseção a vante possuem ordens centimétricas e que as distâncias dos mesmos para os 68 pontos-objeto localizados na escadaria são inferiores a 21 metros, optou-se por realizar o processamento com injunção absoluta, desprezando-se os valores de desvio padrão encontrados para IC1 e IC2.

Sendo assim, foi possível constatar que 88% dos pontos coletados encontraram valores de desvios padrão para a componente X inferiores a ±5mm, enquanto que 95% dos desvios padrão encontrados para a componente Y foram inferiores a ±2mm.

3.2.2 Nivelamento Geométrico

Os processamentos necessários para a determinação da altitude ortométrica dos pontos-objeto através do nivelamento geométrico necessitaram da altitude do vértice IC2, pois nesta situação o transporte da altitude ortométrica foi realizado tomando este vértice como referência. Em campo foi necessário realizar as leituras dos fios estadimétricos (Fio Superior – FS, Fio Médio - FM, Fio inferior - FI) do nível analógico em relação a mira posicionada sobre cada vértice. Nessa situação, para controle, foi realizada uma comparação entre o valor médio calculado através das observações do fio superior e inferior e o valor do FM observado, caso a discrepância entre o valor calculado e o valor lido fosse superior a 0,001m era necessário ler novamente as observações FS, FM e FI.

A maior altitude ortométrica encontrada utilizando o método do nivelamento geométrico foi de 14,863 m para o ponto-objeto O1P28, enquanto a menor foi de 13,825m para o ponto-objeto 03P8. O valor do desnível máximo encontrado entre os pontos-objeto e o vértice IC2 foi de -0,819 m.

3.2.3 GNSS/RTK

O método GNSS/RTK oferece a vantagem de apresentar ao usuário os dados planialtimétricos coletados em campo em tempo real, sendo assim teoricamente não seria necessário um processamento dos dados em escritório, no entanto, neste trabalho cada ponto-objeto materializado teve no mínimo duas observações GNSS/RTK realizadas sobre sua superfície e neste caso, optou-se por considerar como coordenadas finais a média aritmética das observações.

Os 68 pontos-objeto levantados com a utilização do método GNSS/RTK foram obtidos a partir de soluções fixas e 83% destes pontos apresentaram desvios padrão em suas componentes horizontais inferiores a ±1cm, enquanto que 92% dos desvios padrão encontrados para a componente vertical foram inferiores a ±2cm e de acordo com (SEGANTINE, 2005) são compatíveis com as precisões esperadas para a aplicação do método.

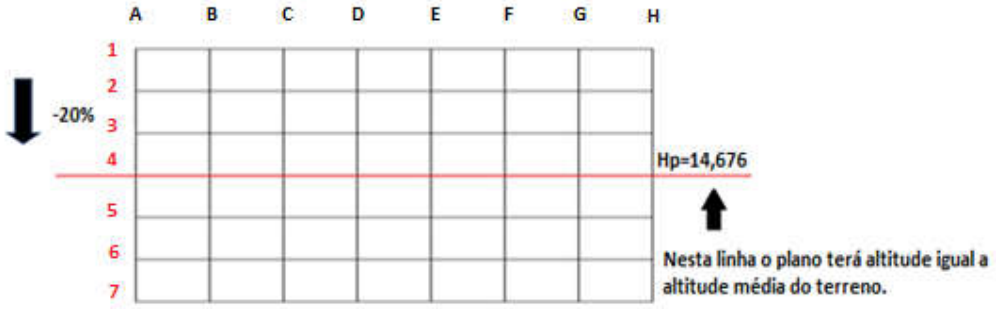
3.4 Terraplenagem

O primeiro passo para o cálculo dos volumes de corte e aterro foi descobrir a altitude média geral do terreno, neste caso, considerou-se como altitude média geral (Hm) a média aritmética das altitudes médias de cada quadrado. Tomando como base a Figura 6 (item 2.4), tem-se que a altitude média geral corresponde à média ponderada das altitudes dos vértices com os pesos 1, 2 ou 4, conforme cada altitude pertença a 1, 2 ou 4 quadrados.

Este método é conhecido como método das alturas ponderadas e está descrito em (BORGES, 1992). O valor da altitude média do terreno considerando as altitudes ortométricas advindas do método de nivelamento geométrico corresponde a 14,676 m. Na situação abordada a forma de conseguir volumes de corte e aterro idênticos consiste em

manter a altitude do plano inclinado no centro de gravidade da área igual àquela que resulte também em volumes de corte e aterro, ou seja, neste caso 14,676 m. O centro de gravidade do terreno analisado fica na linha 4 conforme Figura 7.

Figura 7 – Centro de Gravidade do Terreno



Fonte: Santos (2017)

Sabendo-se que no centro de gravidade a altitude ortométrica do plano inclinado é igual a altitude média do terreno e que a inclinação da rampa é de -20 %, ou seja, a cada 100 m a altitude do terreno deve aumentar ou diminuir 20 m, é possível determinar a altitude dos demais perfis vistos na Figura 7 com a simples aplicação de uma regra de três simples. Se em 100 m há uma variação de 20 m no desnível do terreno em 0,80 m (comprimento da malha quadriculada) ocorre uma variação de 0,16 m, sendo assim, os valores da altitude ortométrica dos pontos-objeto do perfil 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Altitudes Ortométricas dos Perfis via Nivelamento Geométrico

Perfil	Altitude Ortométrica (m)
1	15,156
2	14,996
3	14,836
4	14,676
5	14,516
6	14.356
7	14.196

Conhecendo-se as altitudes ortométricas do plano inclinado foi possível esquematizar os perfis e obter os volumes de corte e aterro seguindo os procedimentos descritos em (BORGES, 1992). O volume total de corte encontrado foi de 1,673 m³, enquanto o volume de aterro foi de 1,682 m³, atendendo, portanto, as condições iniciais que indicavam que os volumes de corte e aterro deveriam ser aproximadamente iguais.

O procedimento seguido para o cálculo dos volumes de corte e aterro com a utilização do método de posicionamento GNSS/RTK seguiu a mesma rotina que foi descrita para a obtenção destes volumes utilizando o método de nivelamento geométrico, apenas ressalta-se o fato de no método de posicionamento GNSS/RTK ter-se utilizado as altitudes geométricas ou elipsoidais coletadas, diferentemente do método de nivelamento geométrico, que utiliza as altitudes ortométricas.

A altitude geométrica média do terreno encontrada utilizando o método de posicionamento GNSS/RTK foi de 9,140 m. As altitudes geométricas impostas para o plano inclinado e os respectivos volumes de corte e aterro são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Altitudes Geométricas dos Perfis e Volumes Totais de Corte e Aterro via Método de Posicionamento GNSS/RTK

Perfil	Altitude Ortométrica (m)	Volume de Corte (m³)	Volume de Aterro (m³)
1	9,620	1,669	1,658
2	9,460		
3	9,300		
4	9,140		
5	8,980		
6	8,820		
7	8,660		

Percebeu-se ao final dos processamentos que os métodos empregados proporcionaram valores semelhantes de volumes de corte e aterro para o caso analisado neste trabalho, com discrepâncias de 0,004m³ para os volumes de corte e 0,024m³ para os volumes de aterro.

Os valores de discrepância encontrados indicam que a aplicação de qualquer um dos métodos, neste terreno inclinado não apresentará valores significativamente destoantes para o plano inclinado resultante das operações de terraplenagem.

4 CONCLUSÕES

O desenvolvimento de metodologias que possibilitem a discretização e o acompanhamento das características geométricas de terrenos inclinados é uma atividade de extrema relevância para a sociedade em geral, pois fornece dados aos setores públicos/privados responsáveis pela gestão destas localidades que lhes permitem desenvolver estratégias que possam vir a prevenir, mitigar e conter atividades como a movimentação gravitacional de massas que frequentemente ocorrem nestes locais e causam os mais variados impactos psicológicos e materiais para as pessoas expostas a tal risco.

A metodologia aplicada neste trabalho propôs expor a partir da utilização de métodos de medição topográficos e geodésicos as precisões, dificuldades e até mesmo a viabilidade encontrada entre a aplicação de um método ou outro. Os resultados dos processamentos dos dados coletados em campo mostraram que os padrões possíveis de serem alcançados por cada método de levantamento utilizado foram obtidos, tal fato pôde ser constatado através das literaturas disponíveis e por comparações realizadas entre os dados advindos dos métodos empregados.

A partir da definição de estruturas geodésicas tridimensionais foram empregados os seguintes métodos: nivelamento geométrico de altíssima precisão, interseção a ré e nivelamento trigonométrico para a definição dos pontos de referência, e para a definição dos pontos-objeto foram empregados os métodos do nivelamento geométrico, interseção a vante e posicionamento GNSS/RTK.

O nivelamento geométrico de alta precisão efetuado com o nível digital Leica DNA-03 foi compatível com a precisão especificada pelo fabricante, alcançando uma precisão de 0,64057 mm/km nivelado. O método da interseção a ré permitiu a obtenção de coordenadas planimétricas com precisão na ordem de centímetros para os pontos de referência, enquanto o método do nivelamento trigonométrico possibilitou para as coordenadas altimétricas destes mesmos pontos uma precisão milimétrica.

Para os 68 pontos-objeto espaçados em uma malha de 80 centímetros (objeto 1 e objeto 2) e 1,6 metros (objeto 3) obteve-se com o método da interseção a vante 2D desvios padrão de ordem milimétrica. Em 88% dos casos na componente X os valores encontrados foram inferiores a ±2mm e em 95% dos casos inferiores a ±5 mm na componente Y.

Com relação a determinação das altitudes ortométricas dos pontos-objeto, utilizou-se o método do nivelamento geométrico com o nível analógico ATB4, com o transporte de altitude sendo realizado através do vértice de referência IC2, a altitude média do terreno encontrada foi de 14,676 m, enquanto as máximas e mínimas encontradas foram de 14,863m e 13,825m, respectivamente, para os pontos-objeto 01P28 e 03P8.

Utilizando-se a técnica GNSS/RTK, obteve-se para os pontos-objeto desvios padrão mínimos e máximos de ±5 mm (01P17) e ±1,9 cm (03P8) para a componente horizontal, enquanto que os desvios mínimos e máximos para a componente vertical foram de ±7 mm (01P14) e ±2,1 cm (03P4).

Sobre a superfície do terreno inclinado, alvo dos estudos realizados neste trabalho, a execução de obras de terraplenagem poderia ser realizada tanto pelos métodos de nivelamento geométrico quanto pelo método de posicionamento GNSS/RTK, uma vez que as discrepâncias entre os volumes finais de corte e aterro encontrados são praticamente desprezíveis. Neste caso, a praticidade do uso do método de posicionamento GNSS/RTK pode ser uma alternativa bastante viável.

Para finalidades de monitoramento de áreas de risco deve haver uma aplicação periódica de métodos de levantamentos topográficos e geodésicos, pois os dados obtidos em épocas diferentes permitem o conhecimento geotécnico acerca do local estudado, possibilitando o conhecimento acerca dos parâmetros de movimentação do terreno inclinado, embora a metodologia tenha se mostrado plenamente aplicável aos casos em que necessita-se o conhecimento acerca das características geométricas de um terreno, a materialização dos pontos-objeto do modo como foi realizado neste trabalho não seria suficiente para a aplicação de campanhas de monitoramento na área de estudo, uma vez que o monitoramento exigiria a materialização temporária de alvos.

AGRADECIMENTOS

Nossos agradecimentos ao Departamento de Engenharia Cartográfica pela concessão dos Equipamentos e acessórios locados no Laboratório de Geodésia – LAGEO, ao Projeto de Pesquisa nº 3076.040512/2015-15 PROPESQ/UFPE pela concessão de bolsa de pesquisa associada ao Trabalho de Conclusão de Curso (Diretoria do CTG associada ao projeto nº 3076.040512/2015-15). A todos alunos do Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura que contribuíram para a aquisição de dados em campo: Carla Barbosa, Yan Lucas, Flávia Manhães e Júlio Simões.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13133: Execução de Levantamento Topográfico**. Rio de Janeiro – RJ, 1994.

BORGES, A. **Topografia aplicada à engenharia civil.** São Paulo – SP: Editora Blucher, 1992.

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia**. Porto Alegre: Editora Globo. 7ª. Ed.1987.

GAMA, L. **Experimentos e análises metodológicas do desempenho de estruturas geodésicas planimétricas implantadas com GPS e estação total: aplicações em levantamentos cadastrais urbanos.** Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2008.

GARNÉS, S. J. A. ***Programa AstGeoTop 2017.****Software* de cálculo, Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2017.

GEMAEL, C. ***Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas.*** Curitiba: Editora UFPR, 1994.

GOMES, L. **Aplicações de Dados Geodésicos no Entorno das Edificações Prediais Históricas da Cidade de Olinda - PE**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2016.

GOOGLE EARTH. **Programa Google Earth.** Software De Mapeamento. Acesso em 06/06/2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Relatório de Estação Geodésica RN394D.** Olinda - PE, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDSATION. **ISO 17123: Optics and Optical Instruments – Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments – Part 2:** Levels. Geneva, 2001.

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Olinda**. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/351/>. Acesso em 26.06.2017.

KAHMEN, H.; FAIG, W**. Surveying**. Berlin: ed. De Gruyter, 1988.

MONICO, J. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.** São Paulo – SP: Editora Unesp, 2008.

SANTANA NETO, J. P. **Densificação de estruturas geodésicas e transporte de coordenadas definidas por métodos planialtimétricos de medição.** Trabalho de Conclusão de Curso–Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2016.

SANTOS, W. J. **A contribuição da Topografia e da Geodésia no estudo de terrenos inclinados e áreas de risco.** Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2017.

SEGANTINE, P. **GPS: Sistema de Posicionamento Global**. São Carlos – SP: Editora EESC/USP, 2005.
SILVA, T. F.; DE SEIXAS, A.; ROMÃO, V. M. C. **Conceituação de Campos de Pontos na Medição de Deformação de Objeto**s. Anais do I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação. Recife, 2004.

SOUZA, A. M. B. **Análise e comparação de estruturas geodésicas tridimensionais definidas por métodos planialtimétricos de medição**. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2012.

TORGE, W. ***Geodaesie*, 2**. Aufage, Berlin: de Gruyter Lehrbuch, 2003.

WOLF, P.; GHILANI, C. ***Adjustment Computations: Spatial Data Analysis*.** New Jersey: Ed. John Wiley & Sons Inc. 3th ed, 1996.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

MONITORAMENTO DA ATIVIDADE IONOSFÉRICA UTILIZANDO ÍNDICES DE MULTICAMINHO

GABRIEL OLIVEIRA JEREZ[1]
DANIELE BARROCA MARRA ALVES[2]

Universidade Estadual Paulista - UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT
Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas[1], Presidente Prudente, SP
Departamento de Cartografia[2], Presidente Prudente, SP
gabrielojerez@gmail.com, daniele.barroca@unesp.br

RESUMO – O posicionamento pelo GNSS (*Global Navigation Satellite System*) pode ser influenciado por diversas fontes de erro. Ao passar pela ionosfera o sinal transmitido pode sofrer perturbações levando a variações na direção de propagação, velocidade e potência. Outro efeito que pode afetar o sinal GNSS é o multicaminho, que ocorre quando o sinal chega ao receptor por um caminho direto e outro indireto, devido à reflexão do mesmo em alguma superfície. Para controle de qualidade dos dados de uma estação diversos índices podem ser considerados, tanto de irregularidades e cintilação ionosférica quanto de multicaminho. No entanto, para o cálculo dos índices de multicaminho (MP1 e MP2) são consideradas as observáveis GNSS fase e pseudodistância, portanto, influências sofridas pelo sinal podem afetar diretamente a determinação dos índices. Isso faz com que a atividade ionosférica possa interferir na obtenção desses índices de multicaminho. Neste contexto, o presente trabalho propõe uma análise dos índices de multicaminho obtidos a cada época, considerando períodos de diferentes intensidades de atividade ionosférica. Os resultados obtidos demostraram que ocorre influência ionosférica no comportamento dos índices de multicaminho, indicando que os mesmos podem ser utilizados para monitoramento de períodos de irregularidade ionosférica ou ocorrência de cintilação.

ABSTRACT – GNSS (Global Navigation Satellite System) positioning can be affected by several errors sources. As it passes thru ionosphere, GNSS signal can suffer disturbances leading to variations in the signal propagation direction, velocity and strength. Other error source related to GNSS signal is the multipath, which occurs when the signal arrives to the receiver by a direct and an indirect path, due to a reflection in some surface. In order to control a station data quality, several indexes can be obtained, either for ionospheric irregularities and scintillation or for multipath intensity. However, the multipath indexes (MP1 and MP2) estimation considers GNSS observables, carrier phase and pseudorange, therefore, signal interferences may directly affect multipath indexes estimation. This means that the ionospheric activity can influence multipath indexes obtainment. In this context, this paper proposes an analysis of multipath indexes obtained for each epoch, considering different ionospheric activity periods. The results obtained presented ionospheric influence in multipath indexes regularity, indicating that it can be used for ionospheric irregularities and scintillation occurrence monitoring.

1 INTRODUÇÃO

O posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é aplicado em diversas áreas, científicas e comerciais. O sinal que é transmitido pelo satélite está sujeito a diversas fontes de erro na trajetória até o receptor, podendo ser relacionadas à região da estação, à propagação do sinal, ao satélite e ao receptor. A atmosfera tem grande influência no sinal propagado, sendo a ionosfera uma das principais fontes de degradação e erro (MONICO, 2008).

A ionosfera apresenta efeitos proporcionais ao Conteúdo Total de Elétrons (TEC - *Total Electron Content*). Os valores de TEC variam no tempo e no espaço tendo relação, por exemplo, com o fluxo de ionização solar, atividade geomagnética, estação do ano, ciclos de manchas solares e localização no globo (SEEBER, 2003; CAMARGO, 1999). Além disso, a ionosfera possui ainda irregularidades que podem afetar o sinal GNSS. Essas irregularidades podem causar mudanças na fase e na amplitude do sinal de rádio recebido, ocasionando muitas vezes a degradação ou até mesmo a perda do sinal. Esse efeito recebe o nome de cintilação ionosférica e tem comportamento específico e regional (CONKER et al., 2003). As regiões com maior ocorrência de cintilação são as dos picos da Anomalia de Ionização

Equatorial (AIE), próximo às latitudes geomagnéticas de ±15º (SEEBER, 2003; MONICO, 2008). Para verificar a ocorrência de cintilação diversos índices podem ser utilizados, entre esses o índice S4 (CONKER et al., 2003).

Ainda em relação à propagação do sinal GNSS, outro efeito que tem influência direta na precisão final do posicionamento é o multicaminho, que ocorre quando o sinal chega ao receptor por dois caminhos, um direto e outro indireto. O caminho indireto ocorre devido à reflexão do sinal em superfícies vizinhas ao receptor, ou mesmo de reflexões no próprio satélite, o que pode causar distorções nas observáveis coletadas pelo receptor (HOFMANN-WELLENHOF et al., 2008). Para verificar a ocorrência de multicaminho em uma estação podem ser utilizadas as combinações lineares MP1 e MP2, que correspondem a indicativos de ocorrência do efeito nas observáveis das portadoras L1 e L2, respectivamente (MONICO, 2008). Porém, como para o cálculo dos índices são consideradas as observáveis pseudodistância e fase da onda portadora, interferências no sinal têm influência direta nos valores estimados. Com isso, períodos de alta atividade ionosférica, que interferem no sinal transmitido, consequentemente, podem influenciar a estimativa dos índices de multicaminho.

Trabalhos anteriores que investigaram o multicaminho verificaram a influência da atividade ionosférica na estimativa dos índices. Alves et. al (2013) fizeram análises de índices de multicaminho em séries temporais de sete anos (2006 a 2012), sendo observada sazonalidade no comportamento dos resultados, associada à atividade ionosférica. Jerez et. al (2017) verificaram a correlação entre os índices de multicaminho estimados para arquivos de 24 horas com índices de irregularidades ionosféricas (ROTI – *Rate of* TEC *Index*) em uma série temporal de três anos (2014 a 2016). Neste trabalho foi possível verificar a influência tanto regional quanto sazonal da atividade ionosférica na estimativa dos índices de multicaminho.

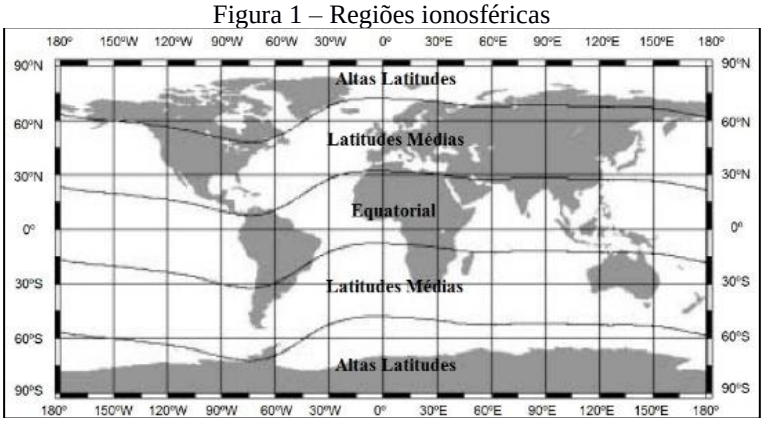
Neste sentido, no presente trabalho foi proposta a verificação da utilização dos índices de multicaminho como ferramenta de monitoramento da atividade ionosférica. Para isso, foram avaliados os índices estimados para cada época, considerando dois períodos com diferentes intensidades de atividade ionosférica. Os valores obtidos foram comparados com índices de cintilação ionosférica para verificar as semelhanças entre os mesmos.

2 IONOSFERA

Quando se considera o estudo da propagação de ondas eletromagnéticas, a atmosfera pode ser dividida em duas camadas, a troposfera (corresponde à camada mais próxima da superfície, até aproximadamente 50 km de altura) e a ionosfera (camada seguinte, de 50 km até aproximadamente 1000 km) (Seeber, 2003). Os efeitos da ionosfera são proporcionais ao TEC (Total Electron Content – Conteúdo Total de Elétrons), que corresponde à quantidade de elétrons contida em uma coluna que vai do satélite ao receptor, com base de um metro quadrado. Esses valores variam no tempo e no espaço tendo relação, entre outros, com a localização no globo, atividade magnética, estação do ano e ciclos de manchas solares (CAMARGO, 1999).

Considerando a localização geográfica, os níveis de densidade de elétrons são mais intensos em regiões equatoriais, menos intensos nas latitudes médias e seguem comportamento menos previsível nas altas latitudes (MCNAMARA, 1991). Nas regiões equatoriais os efeitos da ionosfera são relacionados, entre outros, à anomalia equatorial com intensidade maior no pico local da anomalia (latitudes geomagnéticas aproximadas de 15º). Isso faz com que o Brasil se encontre em região privilegiada para estudos relacionados a esse tema (SEEBER, 2003; VANI et. al, 2017). Na Figura 1 são apresentadas as regiões ionosféricas, nela é possível verificar que quase todo o território nacional se encontra na região equatorial.

Figura 1 – Regiões ionosféricas



Fonte: Adaptado de FONSECA JUNIOR (2002)

As variações temporais podem ser diurnas, sazonais e em ciclos de longo período. As diurnas ocorrem devido a mudanças em regiões da ionosfera, que ocorrem devido a recombinações de elétrons e íons distribuídos em suas camadas. As mudanças sazonais se relacionam às variações na densidade de elétrons causadas pela mudança do ângulo zenital do Sol e pelo fluxo de ionização, que mudam devido às estações do ano. Já os ciclos de longo período correspondem aos ciclos solares, que ocorrem em intervalos de aproximadamente 11 anos, sendo associados às manchas solares (MCNAMARA, 1991; VANI et. al, 2017).

A ionosfera possui irregularidades que podem influenciar o sinal GNSS. Uma vez que são capazes de causar mudanças na fase e amplitude do sinal recebido, ocasionando muitas vezes a degradação ou até mesmo perda do sinal. Efeito conhecido como cintilação ionosférica (CONKER et al., 2003). A cintilação tem comportamento específico e relacionado à região, tendo relação com as variações na densidade de elétrons. As regiões com maior ocorrência de cintilação são as do pico da anomalia equatorial (próximo às latitudes geomagnéticas de 15º). As cintilações em altas latitudes são mais fracas que as observadas em regiões da anomalia equatorial, nessas regiões a ocorrência de cintilação está relacionada às irregularidades do plasma ionosférico. Já nas regiões de altas latitudes a ocorrência se relaciona às tempestades geomagnéticas (SKONE, 1998).

Para avaliar a influência da ionosfera podem ser levados em conta diversos índices, entre estes os de irregularidade e os de cintilação ionosférica. Entre os índices de cintilação pode-se citar o S4 (CONKER et al., 2003), o $\sigma\phi$ (VAN DIERENDONCK et al., 1993), o $S\phi$ (FORTE, 2005) e o σ_{CHAIN} (MUSHINI et al., 2012), sendo que os mais utilizados são o S4, para cintilação de amplitude e o $\sigma\phi$, para cintilação de fase. De maneira geral o índice S4 consiste em um indicador da magnitude das cintilações da amplitude (CONKER et al., 2003). Para avaliar os índices diversas classificações foram propostas, Tiwari et al. (2011), por exemplo, realizaram a classificação dos índices S4 em: cintilação fraca ($S4 \leq 0{,}5$), cintilação moderada ($0{,}5 < S4 \leq 1{,}0$) e cintilação forte ($S4 \geq 1{,}0$).

3 MULTICAMINHO

O multicaminho ocorre quando o sinal chega ao receptor GNSS por outro caminho além do direto. Isso acontece devido à reflexão do sinal por alguma superfície como, por exemplo, carros, construções e árvores (SEEBER, 2003; SOUZA, 2008). Esse efeito causa distorções nas observáveis e não possui uma modelagem simples devido à particularidade do mesmo. Os métodos de modelagem, em geral, envolvem coletas em dias consecutivos ou uso de equipamentos para realizar a calibração das antenas, sendo modelagens específicas para cada estação (MONICO, 2008). Apesar da difícil modelagem algumas combinações lineares podem fornecer indicadores da ocorrência de multicaminho. As combinações MP1 e MP2, para as portadoras L1 e L2, respectivamente, são apresentadas por Fortes (1997):

$$MP1 = PD_{L1} - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right)\phi_{L1} + \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right)\phi_{L2}, \quad (1)$$

$$MP2 = PD_{L2} - \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right)\phi_{L1} + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right)\phi_{L2}, \quad (2)$$

com $\alpha = \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2$, PD: pseudodistância e ϕ: fase da onda portadora. Como pode ser verificado nas equações (1) e (2), os índices são obtidos por combinações das variáveis fase da onda portadora e pseudodistância. Por isso é esperado que eventos que levem a perdas de ciclo ou interferências nas observáveis tenham influência nos valores obtidos para os índices. Uma possibilidade de atenuar a ocorrência do efeito é o uso de antenas do tipo *choke ring*, o que garante a eliminação por completo do efeito. Em geral, o mais recomendado em relação ao multicaminho ainda é que se evite a ocorrência do mesmo (SEEBER, 2003; MONICO, 2008).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para este trabalho foram utilizados dados da estação PPTE pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), que realiza a coleta de dados GNSS, e da estação PRU2 pertencente à Rede CIGALA/CALIBRA (*Concept for Ionospheric Scintillation Mitigation for professional GNSS in Latin America / Countering GNSS high Accuracy applications Limitations due to Ionopheric disturbances in BRAzil*), que realiza a coleta de dados para o monitoramento e a estimativa de índices de cintilação e irregularidades ionosféricas. As duas estações estão localizadas na mesma cidade, Presidente Prudente, a uma distância inferior a duzentos metros uma da outra. Foram consideradas duas semanas de dados, uma em período de maior atividade ionosférica (01 a 07 de março de 2014) e uma em período de menor atividade (01 a 07 de junho de 2014).

A obtenção dos índices de multicaminho foi feita utilizando o *software* TEQC (*Translation, Editing and Quality Cheking*) da UNAVCO. O mesmo realiza a estimativa dos índices MP1 e MP2 a partir dos dados GNSS, sendo fornecidos os valores estimados por satélite visível, a cada época, bem como um valor médio para todo o período dos

dados. Como o intuito deste trabalho foi a verificação do comportamento dos índices por época, foi implementado um programa em linguagem C para a realização da leitura dos arquivos gerados (m12 e m21) e cálculo das médias dos índices. Vale ressaltar que foram consideradas médias simples dos índices obtidos para cada satélite, sem considerar, por exemplo, o ângulo de elevação dos mesmos.

Além desses dados, foram utilizados valores do índice de cintilação S4 da estação PRU2. Os mesmos foram consultados no banco de dados da Rede CIGALA/CALIBRA disponível na página do projeto. Os valores obtidos foram comparados para verificar a similaridade entre os mesmos, os resultados obtidos são apresentados na próxima seção.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

Nesta seção são apresentadas as plotagens dos índices de multicaminho e de cintilação de acordo com o dia selecionado. Nas Figuras 02 a 08 são apresentados os resultados do dia 01 a 07 de março, respectivamente. Nas Figuras 09 a 15 são apresentados os resultados de 01 a 07 de junho. Nos gráficos com índices de multicaminho (a) em azul são apresentados os valores de MP1, em vermelho os valores de MP2 e em amarelo as médias dos valores de MP1 e MP2.

Figura 2 – Índices de multicaminho (a) e cintilação (b) para o dia 01 de março de 2014.

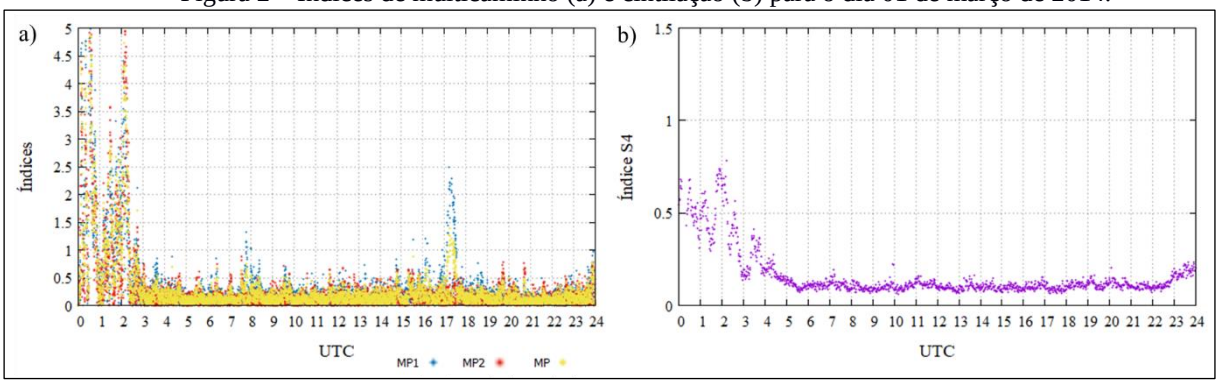


Figura 3 – Índices de multicaminho (a) e cintilação (b) para o dia 02 de março de 2014.

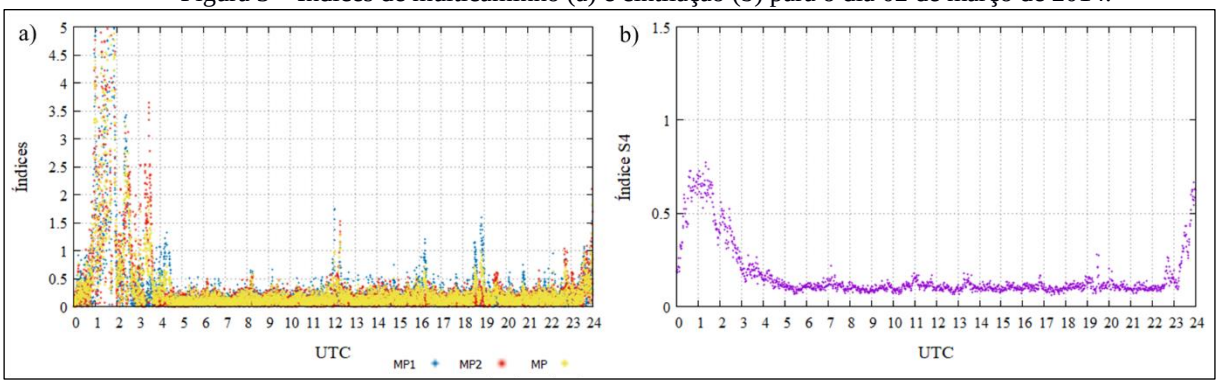


Figura 4 – Índices de multicaminho (a) e cintilação (b) para o dia 03 de março de 2014.

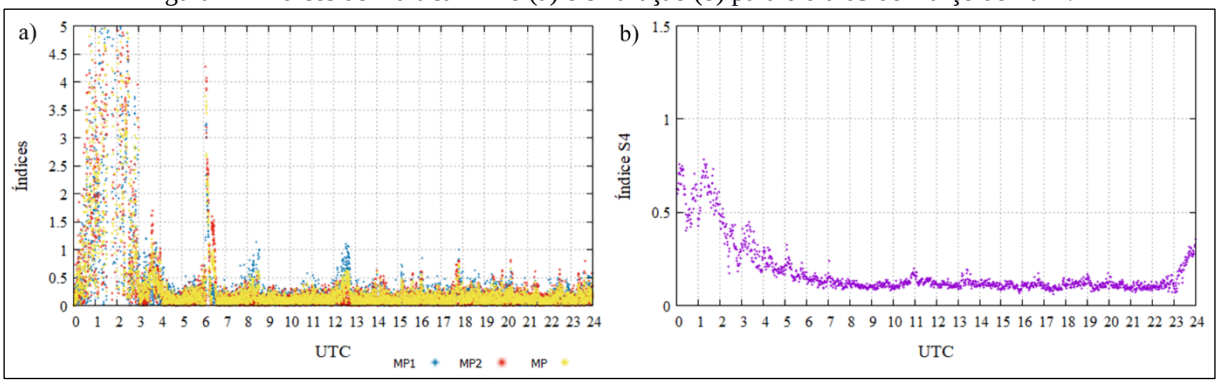


Figura 5 – Índices de multicaminho (a) e cintilação (b) para o dia 04 de março de 2014.

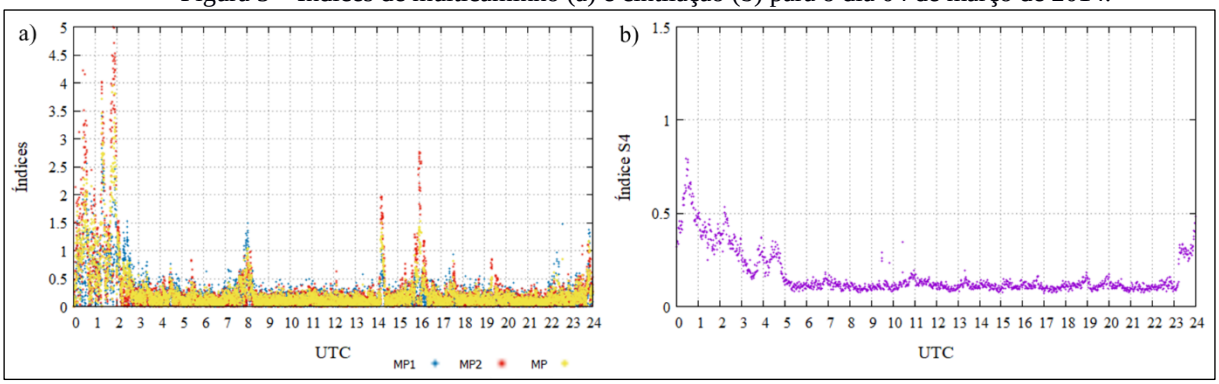


Figura 6 – Índices de multicaminho (a) e cintilação (b) para o dia 05 de março de 2014.

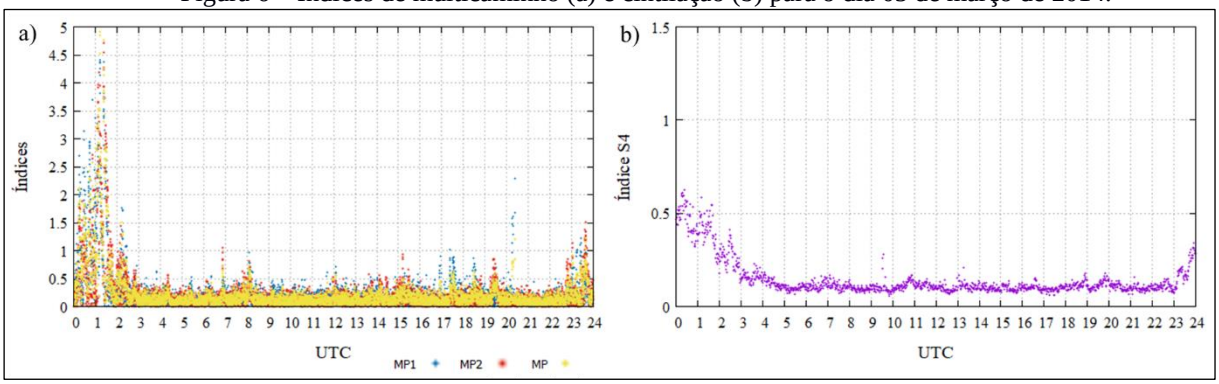


Figura 7 – Índices de multicaminho (a) e cintilação (b) para o dia 06 de março de 2014.

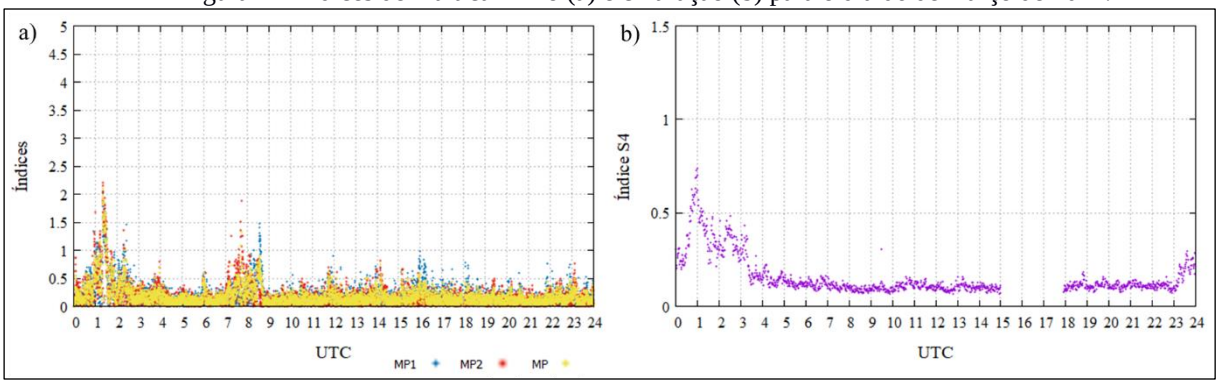


Figura 8 – Índices de multicaminho (a) e cintilação (b) para o dia 07 de março de 2014.

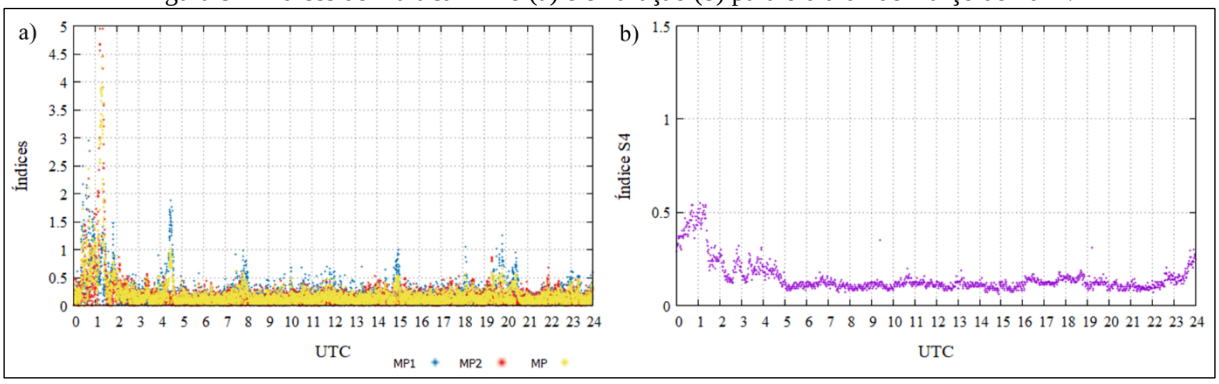


Figura 9 – Índices de multicaminho (a) e cintilação (b) para o dia 01 de junho de 2014.

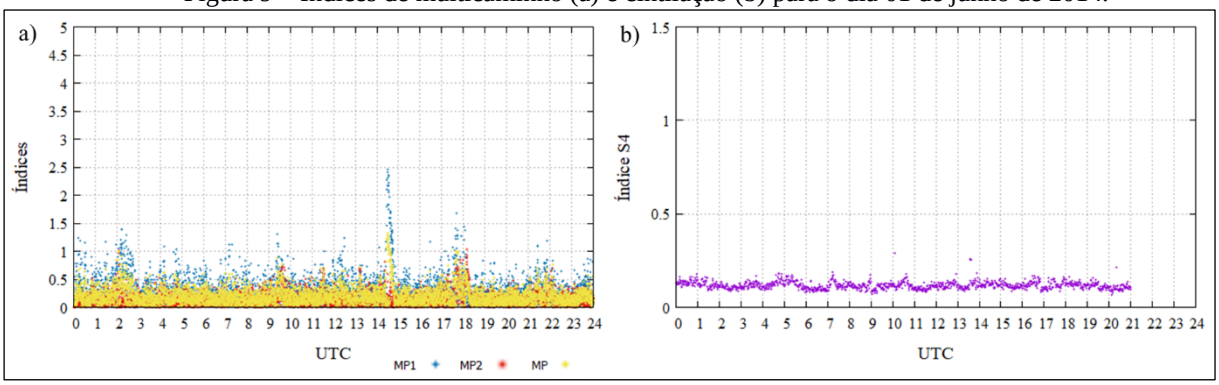


Figura 10 – Índices de multicaminho (a) e cintilação (b) para o dia 02 de junho de 2014.

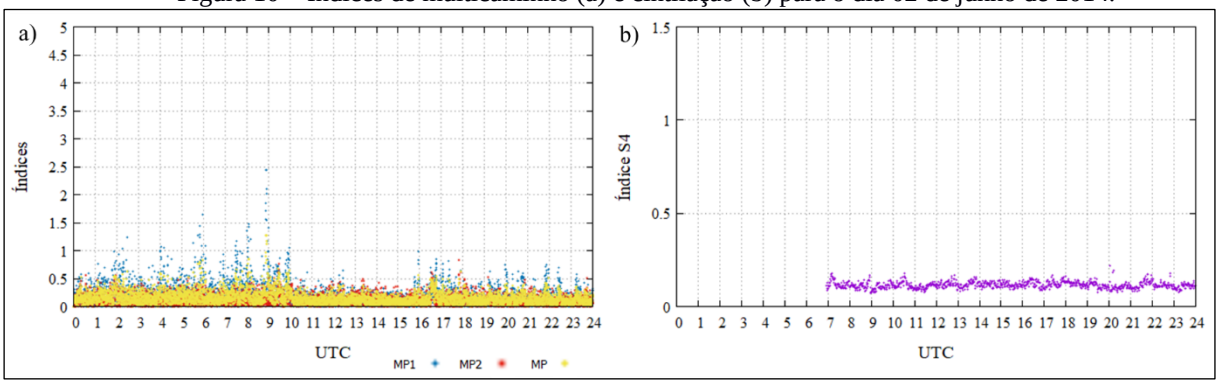


Figura 11 – Índices de multicaminho (a) e cintilação (b) para o dia 03 de junho de 2014.

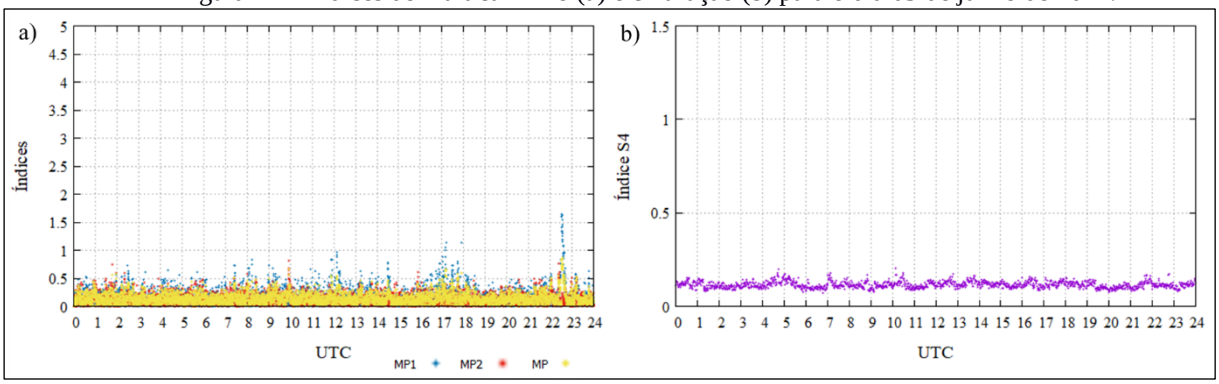


Figura 12 – Índices de multicaminho (a) e cintilação (b) para o dia 04 de junho de 2014.

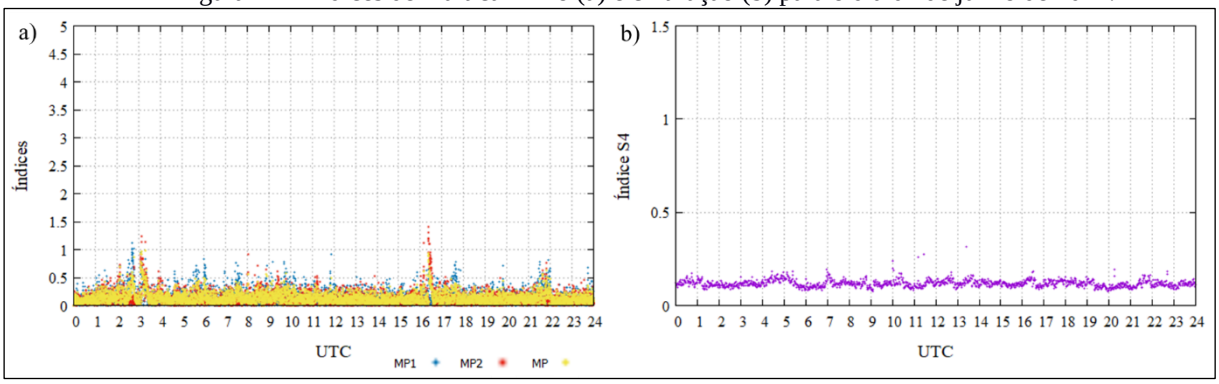


Figura 13 – Índices de multicaminho (a) e cintilação (b) para o dia 05 de junho de 2014.

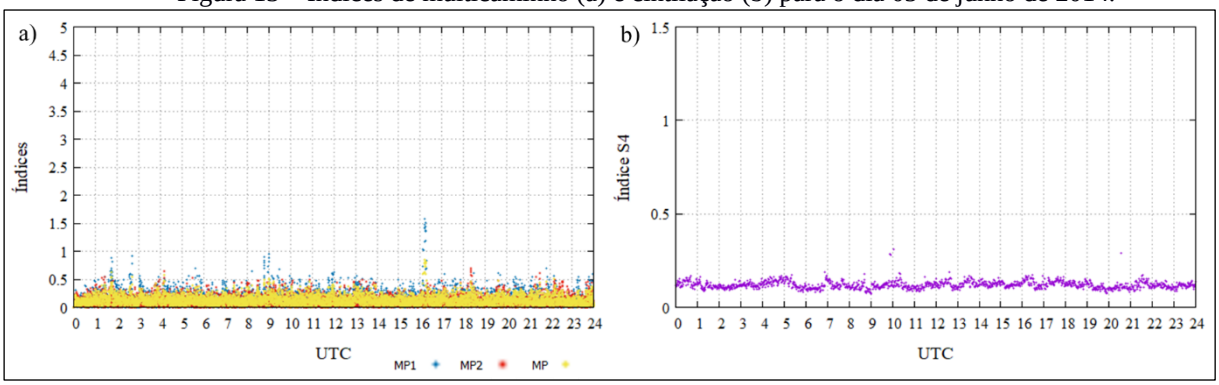


Figura 14 – Índices de multicaminho (a) e cintilação (b) para o dia 06 de junho de 2014.

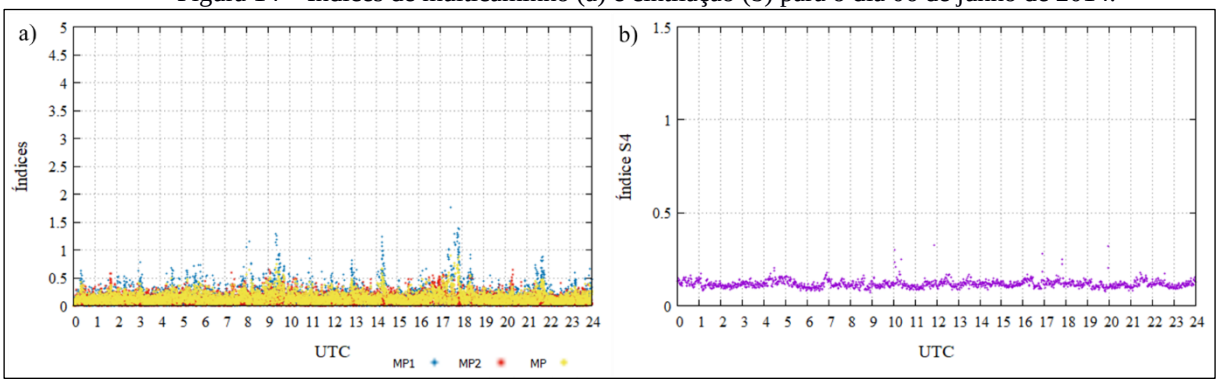
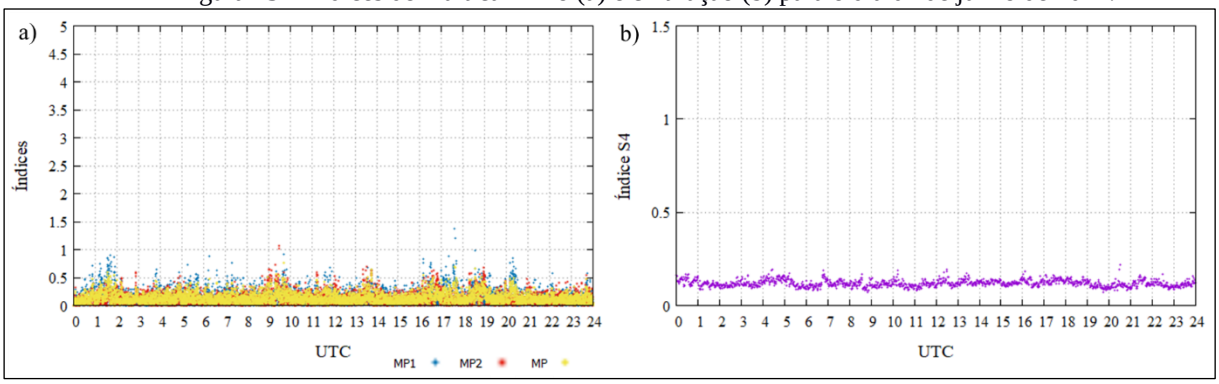


Figura 15 – Índices de multicaminho (a) e cintilação (b) para o dia 07 de junho de 2014.



Como pode ser verificado nas figuras apresentadas, apesar de ter sido aplicada uma metodologia simples de média dos valores estimados para cada época, os índices de multicaminho são capazes de refletir períodos longos de ocorrência de irregularidade ionosférica, propícios para a ocorrência de cintilação. De modo geral, os índices de multicaminho apresentam resultados semelhantes aos índices S4, salvo algumas exceções. Fica evidente o comportamento mais irregular em períodos com maior ocorrência de cintilação, como nos períodos de março, entre 23h e 04h UTC. Períodos esses em que ocorre elevação significativa nos índices de cintilação, comportamento semelhante observado nos índices de multicaminho. Já em períodos com atividade menos intensa, principalmente no mês de junho, o comportamento dos índices se mostra mais regular.

Em alguns períodos ocorreram picos nos índices de multicaminho que não foram acompanhados pelo mesmo comportamento do S4, porém, é possível notar que, em geral, as variações ocorrem apenas em um dos índices, MP1 ou MP2. Esta pode ser uma possibilidade de melhoria do método, considerar a variação entre os dois índices, desconsiderando épocas em que ocorre diferença significativa entre os mesmos. Outra possibilidade de continuidade ao trabalho é a utilização do arquivo que apresenta os ângulos de elevação dos satélites para o cálculo das médias dos índices.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho buscou-se avaliar a possibilidade de utilização de índices de multicaminho para monitoramento da atividade ionosférica. Para isso foram utilizados dados GNSS da estação PPTE (pertencente à RBMC) para a obtenção dos índices MP1 e MP2, para cada época. Isso foi possível com o uso do *software* TEQC e de um programa de leitura dos arquivos de saída e cálculo de valores médios dos índices. Para comparação com a atividade ionosférica, foram utilizados dados da estação PRU2 (pertencente à Rede CIGALA/CALIBRA), sendo consultados os valores do índice S4 disponíveis no banco de dados do projeto.

A partir da comparação dos resultados obtidos foi possível verificar relação entre os índices de multicaminho estimados e a ocorrência de cintilação ionosférica. Alguns instantes apresentaram picos nos índices de multicaminho, sem ter correspondência nos resultados de cintilação. No entanto, a maior parte desses casos não apresentou picos em ambos os índices de multicaminho (MP1 e MP2), com isso, uma possibilidade de melhoria da metodologia é a utilização da diferença entre os índices para filtrar os valores a serem utilizados para o monitoramento. Neste trabalho foi utilizada uma ferramenta disponível gratuitamente (TEQC) que, em uma abordagem simples e utilizando apenas dados GNSS, pode auxiliar a identificação de períodos de atividade ionosférica mais intensa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a disponibilidade dos dados utilizados da rede de monitoramento dos Projetos CIGALA/CALIBRA, financiados pela Comissão Europeia (CE), no âmbito do FP7-GALILEO-2009-GSA e FP7-GALILEO-2011-GSA-1a, respectivamente, e pela FAPESP (Processo 06/04008-2).

REFERÊNCIAS

ALVES, D. B. M.; SOUZA, E. M.; KANESHIRO, V. Y.; SOUZA, J. S. Análise de séries temporais de multicaminho em estações de monitoramento contínuo. **Boletim de Ciências Geodésicas**, V.19 (3), p. 353-373, 2013.

CAMARGO, P. O. **Modelo regional da ionosfera para uso em posicionamento com receptores GPS de uma frequência**. 1999. 191f. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CONKER, R. S.; EL-ARINI, M. B.; HEGARTY, C. J.; HSIAO, T. *Modeling the Effects of Ionospheric Scintillation on GPS/Satellite-Based Augmentation System Availability*. ***Radio Science***, V. 38 (1), p. 1-23, 2003.

FORTE, B. *Optimum detrending of raw GPS data for scintillation measurements at auroral latitudes.* ***Journal of atmospheric and solar-terrestrial physics***, v. 67(12), p. 1100-1109, 2005.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. ***GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo, and more***. New York: Springer-Verlag, 2008. 516p.

JEREZ, G. O.; ALVES, D. B. M.; PEREIRA, V. A. S.; SOUZA, A. L. C. **Investigação da relação entre os índices de multicaminho dos sinais GNSS e os efeitos ionosféricos**. In: Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Exposicarta, Rio de Janeiro-RJ, p-83-87, 2017.

McNAMARA, L. F. ***The ionosphere: communications, surveillance, and direction finding.*** Florida: Krieger Publishing Company, 1991. 237p.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Fundamentos, Definição e Aplicação**. 2 ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 476p.

MUSHINI, Sajan C. et al. *Improved amplitude-and phase-scintillation indices derived from wavelet detrended high-latitude GPS data.* ***GPS Solutions***, v. 16(3), p. 363-373, 2012.

SEEBER, G. ***Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications***. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003. 610p.

SKONE, S. ***Wide area ionosphere grid modeling in the auriral region***. 1998. 198f. PhD Dissertation – The University of Calgary, Calgary.

SOUZA, E. M. **Análise de wavelets para deecção e correção do multicaminho no posicionamento relativo GNSS estático e cinemático**. 2008. 165 f. Tese de Doutorado em Ciências Cartográficas – Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, Presidente Prudente.

TIWARI, R.; SKONE, S.; TIWARI, S.; STRANGEWAYS, H. J. *3WBMod Assisted PLL GPS Software Receiver for Mitigating Scintillation Affect in High Latitude Region*. *In:* ***General Assembly and Scientific Symposium, 2011 XXXth URSI***. IEEE, p. 1-14, 2011.

VAN DIERENDONCK, A. J.; KLOBUCHAR, J. A.; HUA, Q. *Ionospheric scintillation monitoring using commercial single frequency C/A code receivers. In:* ***Proceedings of the Institute of Navigation***. Alexandria, p. 1324–1333, 1993.

VANI, B. C.; SHIMABUKURO, M. H.; MONICO, J. F. G. *Visual exploration and analysis of ionospheric scintillation monitoring data: the ISMR query tool*. ***Computers & Geosciences***, v. 104, p. 125-134, 2017.

O CONCEITO E A DEDUÇÃO DAS EQUAÇÕES DA DISTÂNCIA HORIZONTAL E DA DIFERENÇA DE NÍVEL DAS ESTAÇÕES TOTAIS

SILVIO JACKS DOS ANJOS GARNÉS[1]

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação
silviogarnes@mail.com

RESUMO – As estações totais surgiram da composição de um distanciômetro com um teodolito e começaram a se popularizar no Brasil da década de 1990. Aos poucos os profissionais que se utilizavam basicamente das trenas, cabos de agrimensores e da estadimetria para medirem as distâncias, foram ganhando confiança nas medidas feitas eletronicamente e pela vantagem das estações totais, em calcular as distância horizontais e as diferenças de nível de forma precisa, logo esses equipamentos passaram a ser os equipamentos preferidos de quem atuava na Topografia. Todavia, tais equipamentos já disponibilizavam as medidas com as correções de curvatura da terra e refração atmosférica, geralmente usada em geodésia e dispensada na topografia prática da época. As expressões para obter essas correções veem descritas nos manuais e dependendo da marca e do modelo, apresentam formulações diferentes. Nesse trabalho se buscou-se as formulações das estações totais Topcon GT e LeicaTPS400 para uma análise frente as suas aproximações quando comparadas com a formulação sem aproximações (Terra esférica). Os resultados mostram que a partir de 10km de distância deve-se ter um pouco mais de atenção no uso das reduções automáticas feitas pelas estações, para não comprometer resultados de aplicações mais exigentes.

ABSTRACT - The total stations emerged from the composition of a distanciometer with a theodolite and began to become popular in Brazil in the 1990. Gradually the professionals who used mainly of the steel tapes and the stadia to measure the distances, were gaining confidence in the measures made electronically and the advantage of the total stations, in calculating the distance Horizontal and level differences in precise form, soon this equipment became the preferred equipment of those who acted in the topography. However, such equipment already made available the measurements with the corrections of curvature of the earth and atmospheric refraction, usually used in geodesy and dispensed in the practical topography of the time. The expressions to obtain these fixes are described in the manuals and depending on the model, they present different formulations. In this work we collected the formulations of the total stations Topcon GT and LeicaTPS400 for an analysis in front of their approaches when compared with the formulation without approximations. The results show that from 10km away one should have a little more attention in the use of automatic reductions made by the stations.

1 INTRODUÇÃO

Medir distâncias eletronicamente tornou-se um processo prático e preciso com o advento das estações totais desde a década de 1990, ´pela composição de teodolito com distanciômetro. A modelagem até então usada na topografia prática de apenas reduzir distâncias inclinadas a um plano local perpendicular a vertical do equipamento, foi aprimorado e passou a levar em consideração também a refração atmosférica e a curvatura da Terra, de maneira automática.

O intuito desse trabalho é analisar como se obtém as fórmulas utilizadas por algumas das principais marcas de estações totais do mercado e verificar as diferenças entre os resultados em distância de vários comprimentos.

Para se chegar a análise mencionada, o conceito de distância horizontal, diferença de nível, distância esférica, corda e linha geodésica são apresentados, usando um formulário desenvolvido pela geometria envolvida e depois destrinchando os formulários apresentados nos manuais das estações totais.

A importância desse estudo é primordial para o entendimento de qual modelo utilizar e as grandezas que se perde com as aproximações realizadas nas fórmulas. O assunto embora apareça trivial pela quantidade de tempo que já é

utilizado, mais de 20 anos, mas quem já se pôs a um estudo minucioso dessas formulações sabe que não é, pois raramente se encontra a contento na literatura. Foram escolhidas as marcas Topcon e Leica para o estudo das estações totais por serem estações de renome no mercado, com grande aceitação pelos usuários. Os modelos de onde tirou-se os formulários foram das estações Topcon GT e a LeicaTPS400.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

Nessa sessão será abordada a geometria do problema envolvida com os cálculos das distâncias e diferenças de nível, depois serão apresentadas e deduzidas as formulações das estações totais, conforme especificações de seus manuais técnicos.

2.1 O Conceito e a geometria do problema

Desde os experimentos pendulares de Isaac Newton no século XVII sabe-se que a Terra tem forma matemática elipsoidal (GEMAEL, 1977) e a partir de então, a Geodésia buscou aprimorar as dimensões dessa forma elipsoidal. Tal aprimoramento seguiu a passos lentos até a era dos satélites artificiais que passaram a fornecer maiores subsídios geopotenciais, geométricos e gravitacionais, chegando a uma precisão satisfatória tanto aos objetivos científicos quanto aos objetivos práticos da engenharia. No entanto, a busca por aprimoramentos não cessa, a humanidade, uma vez alcançada uma meta, logo se lança a novos desafios para novas metas. O Brasil, acompanhando o desenvolvimento mundial da Geodésia, e com as campanhas sul americanas de 1995 e 2000 de posicionamento GPS, o IBGE adotou em 25 de fevereiro de 2005, o SIRGAS2000 como o Sistema de Referência Geodésico para o Sistema Geodésico Brasileiro (IBGE, 2005). O elipsoide do SIRGAS2000 tem semieixo maior de a=6378137m e achatamento *f*=1/298,257222101.

Em vários problemas da geodésia é conveniente utilizar a representação esférica em vez da elipsoidal face a simplicidade das fórmulas. Obviamente, quando tal aproximação não traz prejuízo aos resultados.

Para o elipsoide de revolução e para a esfera os seus volumes são calculados, respectivamente por:

$$V_{elipsoide} = \frac{4}{3}\pi a^2 b \tag{1}$$

$$V_{esfera} = \frac{4}{3}\pi R^3 \tag{2}$$

Colocando o semieixo menor (b) do elipsoide em função do semieixo maior (a) e do achatamento (f) e igualando os volumes, equações (1) = (2), tem-se a expressão que permite calcular o raio da esfera que tem mesmo volume do elipsoide de revolução.

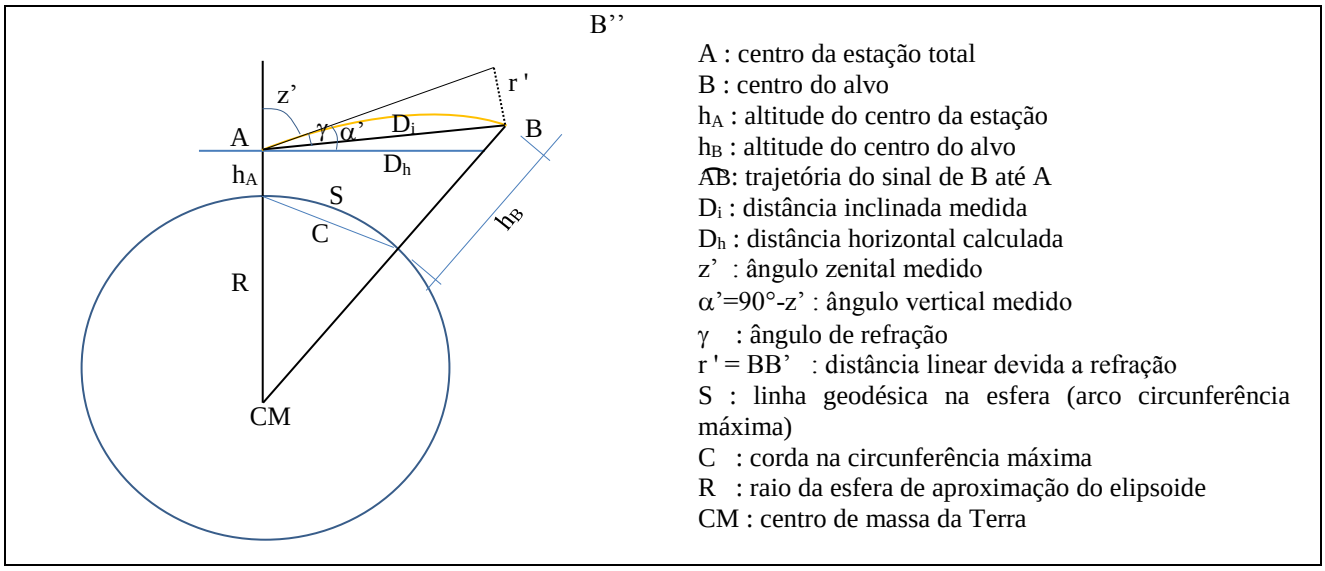
$$R = a\sqrt[3]{(1-f)} \tag{3}$$

Com os parâmetros do elipsoide do SIRGAS2000 (*a* e *f*), a esfera de mesmo volume do elipsoide tem o raio R=6371000,790m. Então usar como raio 6371 km é uma aproximação que tem uma justificativa aceitável, e essa aproximação é muitas vezes utilizada para pré-análises, como foi o caso das análises feitas na NBR 13133 (ABNT, 1994) e discutidas em Garnés (1998).

No elipsoide, para se resolver os problemas dos transportes de coordenadas, das triangulações, das trilaterações deve-se ter em conta a linha geodésica entre os dois pontos. A linha geodésica na qual percorre-se a menor distância entre dois pontos numa superfície, trata-se de uma linha definida de maneira que *"em todos os seus pontos o plano osculador é normal a superfície"* (GEMAEL, 1977). No caso do elipsoide é uma curva reversa e no caso da esfera um arco de circunferência máxima.

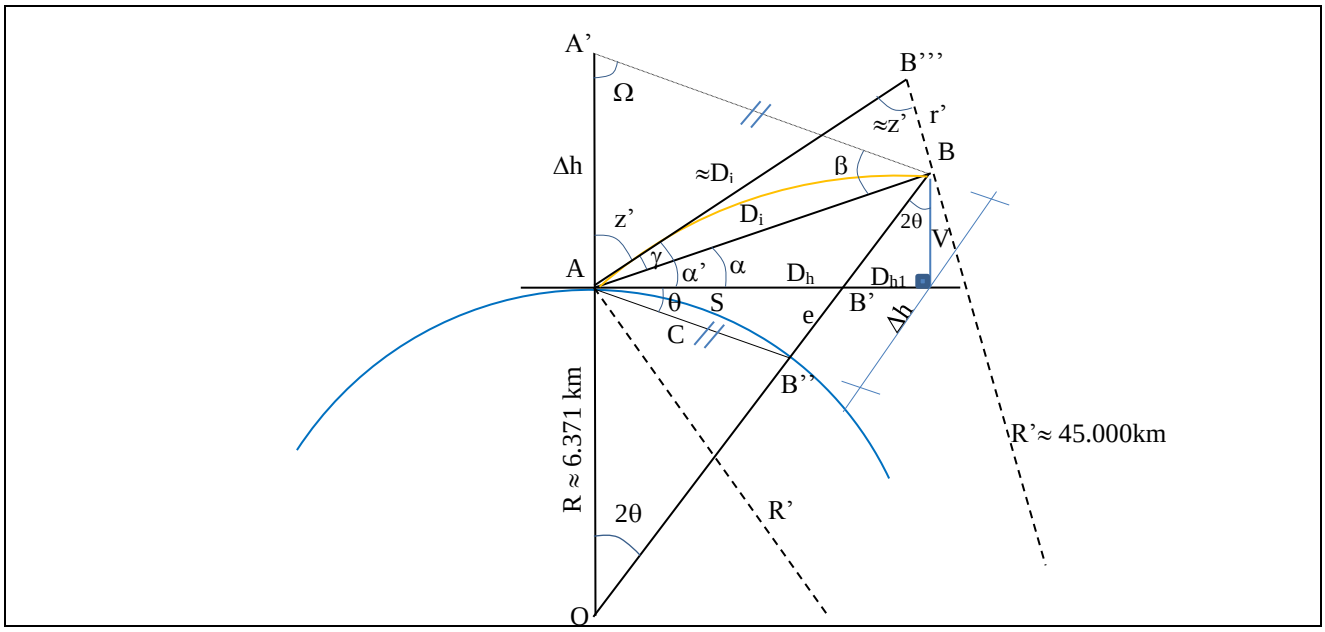
Em se considerando a aproximação esférica da Terra os elementos envolvidos na medição entre dois pontos com uma estação total, supondo conhecidas as altitudes de ambos os pontos, são ilustrados na figura 1. Essa seria a situação mais precisa, todavia ao se trabalhar com as estações totais, não se conhece, em geral, as altitudes do ponto onde ela será instalada. Assim, para deduzir as equações de cálculo da distância horizontal e da diferença de nível das estações totais serão considerados como elementos medidos apenas o ângulo zenital (z') e a distância inclinada (D_i). As altitudes não sendo conhecidas quando se realiza uma medição, deve-se considerar que $h_A = 0$ na figura 1. E, a ilustração dos elementos envolvidos fica representada conforme figura 2.

Figura 1 – Elementos envolvidos na medição das estações totais



Fonte: O autor

Figura 2 – Elementos envolvidos na medição das estações totais sem altitudes conhecidas



Fonte: O autor

A distância inclinada (di=AB) para a precisão milimétrica equivale, de fato, a distância do arco (AB) percorrido pelo sinal após já ter sido realizadas as correções "meteorológicas". O ângulo zenital que acaba sendo medido (z') corresponde a direção tangente do sinal luminoso de chegada que saiu do alvo e viaja aproximadamente em curva circular até a luneta do equipamento.

A essa curva sofrida pelo sinal, conhecida como refração, tem-se o efeito linear representado por r' e o efeito angular represento pelo ângulo γ nas figuras 1 e 2. A modelagem da curva de refração de A até B, em geral é feita por uma circunferência de raio R'. Tal modelagem da refração se baseia numa relação entre as curvaturas da esfera que representa a Terra no ponto em que se encontra a estação e da circunferência percorrida pelo sinal, do alvo até a estação.

Tomando-se as curvaturas correspondentes pode-se escrever (KAHMEN e FAIG, 1988):

$$k = \frac{R}{R'}, \tag{4}$$

Onde: k é o coeficiente de refração; R o raio da esfera que representa a Terra; e R' é o raio da circunferência do sinal percorrido do alvo até o equipamento. O coeficiente de refração nas estações totais vem com a opção de modificação dependendo da localização, no entanto alguns valores *default* são colocados como opção pelos fabricantes, alguns deles são: k=0,13; k=0,132; k=0,14; e k=0,20. Usando k=0,14 o raio da trajetória do sinal é de 45.507 km, portanto muito maior que o raio da Terra (6.371 km) e dessa forma é permitido escrever que AB'''≈D_i (figura 2).

Da figura (2), usando o triangulo (O'AB'''), retângulo em A, tem-se:

$$(R' + r')^2 = R'^2 + D_i^2 \tag{5}$$

Pelo fato de r'<< R' a solução da equação do segundo grau (5), torna-se:

$$r' = \frac{D_i^2}{2R'} \quad \therefore \quad R' = \frac{D_i^2}{2r'} \tag{6}$$

que levada a (4), resulta para o efeito linear da refração:

$$r' = k\frac{D_i^2}{2R} \tag{7}$$

O ângulo de refração (γ) é obtido do triângulo ABB''', lembrando de que o ângulo em B'''≈z' pelo fato de R'>>R, então pela lei dos senos:

$$sen\gamma = \gamma = \frac{sen\, z'\, r'}{D_i}, \tag{8}$$

e substituindo o r' de (7) em (8), resulta:

$$\gamma = k\frac{D_i\, sen\, z'}{2R} \tag{9}$$

O ângulo zenital corrigido da refração (z) é obtido por:

$$z = z' + \gamma. \tag{10}$$

A distância horizontal (*dh*), corresponde a projeção gnomônica azimutal de B com plano origem em A (figura 2) e é obtida por:

$$D_h = D_i\, senz - D_{h1} = D_i\, senz - D_i\, cosz\, tg2\theta \tag{11}$$

Do triângulo retângulo OAB', tem-se:

$$tg2\theta = \frac{D_h}{R} \tag{12}$$

Substituindo (12) em (11) e isolando D_h, tem-se:

$$D_h = \frac{D_i senz}{\left(1 + D_i\frac{cosz}{R}\right)}. \tag{13}$$

A expressão (13) permite obter o cálculo da distância horizontal da projeção gnomônica sem aproximações.

Voltando como *Dh* obtido da equação (13) em (12), obtém-se o ângulo central 2θ. Com o ângulo central (2θ) obtém-se o arco de circunferência máxima (geodésica na esfera):

$$S = R\,(2\theta). \tag{14}$$

A corda é calculada por:

$$C = 2R\,sen\theta. \tag{15}$$

A diferença de nível Δh é a soma do efeito da curvatura da Terra (e) mais a distância BB'(figura 2). A distância BB' é obtida por:

$$BB' = \frac{V}{\cos(2\theta)} = \frac{D_i cosz}{\cos(2\theta)} \tag{16}$$

O efeito da curvatura da Terra(e) é obtido do triângulo retângulo OAB' usando o teorema de Pitágoras:

$$(R+e)^2 = R^2 + D_h^2. \tag{17}$$

Pelo motivo de e<<R a solução da equação do segundo grau torna-se:

$$e = \frac{D_h^2}{2R} \tag{18}$$

Assim a diferença de nível Δh é obtida por:

$$\Delta h = \frac{D_i cosz}{\cos(2\theta)} + \frac{D_h^2}{2R} \tag{19}$$

Com as equações deduzidas para o ângulo de refração (γ) - equação (9), para a curvatura da Terra(e) - equação (18), para a distância horizontal (Dh) - equação (13), para a geodésica (S) - equação (14), para a corda (C) - equação (15), e para a diferença de nível (Δh) - equação (19), já podem ser verificadas as aproximações e conceito implícitos nas formulações de qualquer estação total, uma vez que as fórmulas deduzidas nessa seção não possuem as simplificações as quais as estações totais estão submetidas, quando usado o modelo esférico para a Terra.

2.2 Formulação das estações totais

Nesta seção são realizadas as deduções das equações apresentadas para o cálculo da distância horizontal e distância vertical (diferença de nível) das estações totais Topcon GT e LeickTPS400.

2.2.1 Estação Total Topcon GT

A figura 3 a seguir ilustra o modelo usado pelas estações totais da marca Topcon da série GT para obter a distância horizontal e a diferença de nível entre o centro da estação e o ponto alvo visado. Observa-se que a distância horizontal na figura 3 representa a corda da circunferência de raio 6371km que passa pelo centro da estação total e a projeção da vertical do ponto visado B nessa circunferência (ponto C). A variável Z está representando a diferença de nível entre o ponto A e o ponto B, considerando a curvatura da Terra.

Substituindo o ângulo zenital medido (z') na equação (9), pelo ângulo vertical medido (α'), onde z'=90-α', e chamando a distância inclinada D_i de L, a equação (9) torna-se:

$$\gamma = k\frac{L\cos\alpha'}{2R} \tag{20}$$

a equação do item da correção atmosférica na figura (3).

Na equação (12), considerando a distância horizontal D_h=L cosα', igual a geodésica (S) na esfera (figura 2), tem-se:

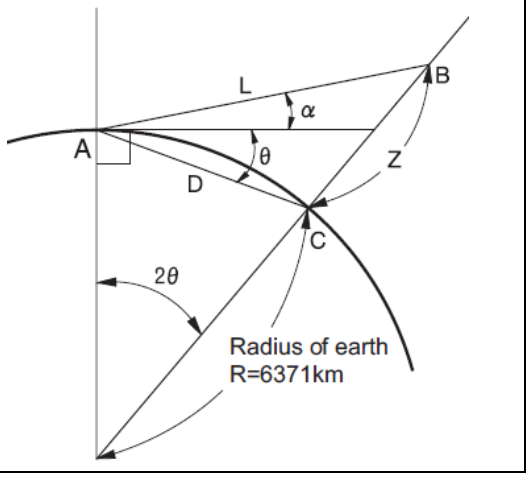
$$\theta = \frac{L\cos\alpha'}{2R}, \tag{21}$$

que é o item de correção da curvatura apresentado na figura (3).

Figura 3 – Modelo de cálculo das distâncias horizontais e verticais da estação Total Topcon GT

Horizontal distance D = AC(α)
Vertical distance Z = BC(α)
D = L{cosα - (2θ - γ) sinα}
Z = L{sinα + (θ - γ) cosα}

θ = L · cosα/2R : Earth curvature correcting item
γ = K · Lcosα/2R : Atmospheric refraction correcting item
K = 0.142 or 0.2 : Coefficient of refraction (Ref.index)
R = 6371km : Radius of earth
a : Altitude angle
L : Slope distance



Fonte: Topcon (2018)

Na equação (11), substituindo o ângulo zenital corrigido da refração (z) pelo correspondente ângulo vertical corrigido da refração z=90-α, a distância inclinada D_i=L e substituindo tg2θ≅2θ face a sua pequena magnitude, tem-se:

$$D_h = L\,cos\alpha - L\,sen\alpha\,(2\theta). \tag{22}$$

Substituindo o ângulo vertical corrigido do ângulo de refração (α=α'-γ) na equação (22), tem-se:

$$D_h = L\cos(\alpha' - \gamma) - L\,sen(\alpha' - \gamma)\,(2\theta) \tag{23}$$

Usando a propriedade trigonométrica do cosseno da diferença de dois ângulos e do seno da diferença de dois ângulos e levando em consideração a aproximação senγ≅γ e ainda desprezando as grandezas de igual ou superior a segunda ordem, exemplo, γ2θ e $cos\gamma = 1 - \frac{\gamma^2}{2} + \frac{\gamma^4}{24} \cong 1$, a equação (23) torna-se:

$$D_h = L\,[\cos\alpha' - (2\theta - \gamma)sen\alpha'\,]\,. \tag{24}$$

Trocando a nomenclatura D_h por D e levando-se em conta que até um determinado comprimento, a distância horizontal (D_h) se confundiria com a corda (C) e com a geodésica (S). Desta forma a equação (24) poderia ser colocada na forma que a figura (3) apresenta a equação da distância horizontal da estação total Topcon GT.

$$D = L\,[\cos\alpha' - (2\theta - \gamma)sen\alpha'\,] \tag{25}$$

Para a dedução da equação da distância vertical Z da figura (3), será retomado a atenção para a figura (2) e no triângulo AA'B aplicada a lei dos senos, tendo em consideração que as retas A'B e AB'' são paralelas:

$$\frac{sen\Omega}{D_i} = \frac{sen\beta}{\Delta h} \tag{26}$$

Da figura (2) observa-se que β=θ+α e Ω=90°- θ que substituídos na equação (26), tem-se:

$$\Delta h = \frac{D_i sen(\theta+\alpha)}{cos\theta} = D_i[cos\alpha\ tg\theta + sen\alpha] \tag{27}$$

Substituindo α=α'-γ e considerando tgθ≅θ, a equação (27) torna-se:

$$\Delta h = D_i[\cos(\alpha' - \gamma)\,\theta + sen(\alpha' - \gamma)] \tag{28}$$

Aplicando a propriedade do cosseno da diferença de dois ângulos, do seno da diferença de dois ângulos e fazendo a aproximação senγ=γ a equação (28) torna-se:

$$\Delta h = D_i[\theta \cos\gamma \cos\alpha' + \theta\gamma sen\alpha' + sen\alpha' cos\gamma - \gamma cos\alpha')] \quad (29)$$

Desprezando os termos de segunda ordem, isto é, θγ=0 e fazendo a aproximação cosγ≅1, a equação (29) torna-se:

$$\Delta h = D_i[\theta \cos\alpha' + sen\alpha' - \gamma cos\alpha')]. \quad (30)$$

Trocando a nomenclatura Δ_h por Z, D_i por L e organizando os termos, a equação (30) representa a equação de distância vertical Z da figura (3) trazida no manual da estação total Topcon GT

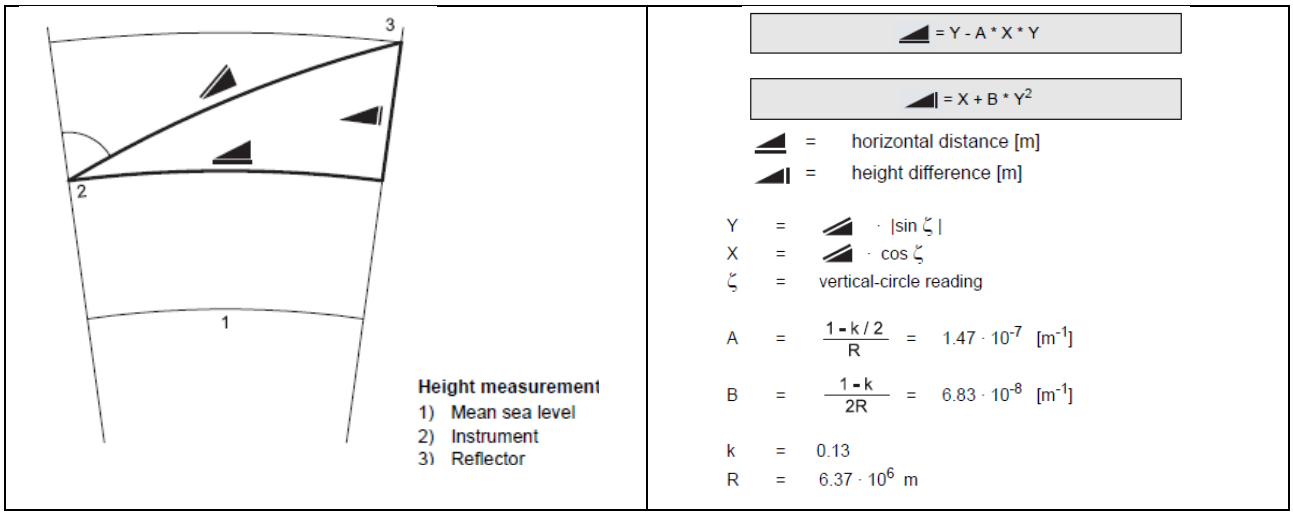
$$Z = L[sen\alpha' + (\theta - \gamma)cos\alpha')] \quad (31)$$

As equações trazidas pelo manual da Topcon ficaram demonstradas nas equações (20), (21), (25) e (31).

2.2.2 Estação total Leica TPS400

A estação total da marca Leica apresenta as fórmulas para o cálculo da distância horizontal e diferença de nível conforme figura 4.

Figura 4 – Fórmulas utilizadas pela estação total Leica TPS400



Fonte: Leica Geosystems (2008)

Da figura 4, tira-se:

$$\begin{cases} Y = D_i\, senz' & (32) \\ X = D_i \cos z' & (33) \\ A = \frac{1-k/2}{R} & (34) \\ B = \frac{1-k}{2R} & (35) \end{cases}$$

$$D_h = Y - A.X.Y = D_i\, senz' - \left(\frac{1-k/2}{R}\right) D_i \cos z' D_i\, senz' \quad (36)$$

$$\Delta h = X + B.Y^2 = D_i \cos z' + \left(\frac{1-k}{2R}\right) D_i^2 sen^2 z' \quad (37)$$

A estação total Leica utiliza as fórmulas (36) e (37) para fazer os cálculos da distância horizontal e da diferença de nível. Para sua dedução serão tomadas as fórmulas já deduzidas da estação total Topcon, equações (25) e (31), fazendo uso também das equações (20) e (21).

Reescrevendo a equação (25) com as notações usadas em (36)

$$D_h = D_i\ sen\ z' - (2\theta - \gamma)\ D_i\ cosz\ '. \tag{38}$$

Substituindo o ângulo central (2θ) e o ângulo de refração (γ) das equações (21) e (20), respectivamente, tem-se:

$$D_h = D_i\ sen\ z' - \left(\frac{D_i\ senz'}{R} - k\frac{D_i\ zenz'}{2R}\right)\ D_i\ cosz' = D_i\ senz' - \left(\frac{1-k/2}{R}\right) D_i \cos z\ 'D_i\ senz' \tag{39}$$

que é a mesma equação (36) utilizada pela estação total Leica para obter a distância horizontal.

Para demonstrar equação (37) será utilizado o mesmo procedimento. Reescrevendo a equação (31) com as notações utilizadas na equação (37), tem-se:

$$\Delta \mathrm{h} = D_i cosz' + (\theta - \gamma) D_i senz' \tag{40}$$

Substituindo a metade do ângulo central (θ) e o ângulo de refração (γ) das equações (21) e (20), respectivamente, tem-se:

$$\Delta \mathrm{h} = D_i cosz' + \left(\frac{D_i\ senz'}{2R} - k\frac{D_i\ senz'}{2R}\right) D_i senz' = D_i \cos z' + \left(\frac{1-k}{2R}\right) D_i^2 sen^2 z', \tag{41}$$

que é a equação utilizada pela estação total da Leica para obter a diferença de nível.

A diferença que existe nos formulários é apenas no valor do raio da esfera (R); na Topcon usa-se R=6371 km e na Leica se usa R=6370 km.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta foram serão demostrados alguns resultados numéricos em termos de variação de distância entre os formulários apresentados. Para tais verificações essas fórmulas foram programadas em Matlab. Os resultados são trazidos na tabela 1, sendo a primeira coluna referente ao elemento de cálculo realizado, a segunda coluna apresenta a fórmula utilizada discorrida no texto desse trabalho. Nas demais colunas fixa-se o ângulo zenital medido e a distância inclinada para as comparações entre as fórmulas.

Tabela 1 – Avaliação das fórmulas de cálculo da distância horizontal e diferença de nível com a variação da distância

Elemento de Cálculo	Fórmulas ref. s/ aproximações	Z'=88° Di=100m	Z'=88° Di=1000m	Z'=88° Di=5km	Z'=88° Di=10km	Z'=88° Di=20km	Z'=88° Di=50km	Z'=88° Di=100km
Âng. Refração	$\gamma = k\frac{D_i\ sen\ z'}{2R}$	0,22"	2,26"	11,32"	22,65"	45,30"	113,24"	226,49"
Curvatura Terra	$e = \frac{D_h^2}{2R}$	0,784mm	7,838cm	1,959m	7,837m	31,347m	195,855m	782,992m
Distância horizontal	$D_h = \frac{D_i senz}{\left(1 + D_i\frac{cosz}{R}\right)}$	99,939m	999,385m	4996,817m	9993,361m	19985,627m	49955,858m	99884,367
Diferença de Nível	$\Delta h = \frac{D_i cosz}{\cos(2\theta)} + \frac{D_h^2}{2R}$	3,491m	34,978m	176,457m	356,833m	729,340m	1940,884m	4273,371m
Geodésica (S)	$S = R\ (2\theta)$	99,939m	999,385m	4996,816m	9993,353m	19985,561m	49954,835m	99876,185m
Corda (C)	$C = 2R\ sen\theta$	99,939m	999,385m	4996,816m	9993,352m	19985,553m	49954,707m	99875,162m
_____	Fórmulas da estação Topcon GT							
Distância horizontal	$D = L\ [\cos\alpha' - (2\theta - \gamma) sen\alpha'\ ]$	99,939m	999,386m	4996,826m	9993,399m	19985,780m	49956,813m	99888,169m
Diferença de Nível	$Z = L[sen\alpha' + (\theta - \gamma)cos\alpha')]$	3,491m	34,967m	176,182m	355,736m	724,954m	1913,503m	4164,061m
_____	Fórmulas da estação Leica TPS400							
Distância horizontal	$D_h = Y - A.X.Y$	99,939m	999,386m	4996,827m	9993,399m	19985,779m	49956,811m	99888.162m
Diferença de Nível	$\Delta h = X + B.Y^2$	3,491m	34,967m	176,183m	355,737m	724,958m	1913,529m	4164.167m

A tabela 1 apresenta alguns resultados com a variação de distância entre as fórmulas apresentadas. O primeiro bloco de resultados foi calculado com as fórmulas desenvolvidas sem aproximações (a menos da Terra esférica) e no segundo bloco as equações com as aproximações utilizadas pelas estações totais da marca Topcon e Leica. A única diferença é o raio da Terra que tem 1 km de discrepante. De certa forma esse 1000m de diferença mostraria o efeito do que pode ocorrer com uma altitude dessa magnitude na figura 1.

A análise mais imediata é a de usar o raio de uma esfera 1km para mais ou para menos, isso corresponderia a apenas 9mm em 100km de distância na distância horizontal, portanto, não significativo para maioria das aplicações geodésicas. Mesmo para a diferença de nível, isso daria apenas 12,2cm de diferença como o uso de um raio ou de outro.

A segunda parte da análise é saber se as aproximações que as estações totais impõem nas suas fórmulas causam prejuízo a distância ou não, e se a distância corresponderia a projeção gnomônica, a geodésica ou a corda.

Observando-se os resultados do primeiro bloco de fórmulas e verificando a diferença entre Dh, S e C, somente a partir de 10km a diferença começa a ter maior relevância com uma diferença de 8mm. Pode-se dizer, então, que do ponto de vista prática em muitas aplicações, até 10km poder-se-ia considerar a distancia horizontal, o arco e a corda equivalentes. Para 20km já se tem 6,6cm de diferença entre a distância horizontal para o arco e já aparece uma diferença de 9mm do arco (S) para a corda (C). Para 100km a diferença já se torna de 8,18m de Dh para S; de 1,02m de S para C, não sendo, portanto, negligenciável sem uma análise do tipo de aplicação que se está usando.

As aproximações das estações totais causam imprecisão na distância horizontal de 1cm em 5km; 3,8cm em 10 km; e assim aumentando, de modo que em 100km teria 3,8m; e tais distâncias calculadas, não corresponderiam nem a distância horizontal (D_h), nem a geodésica pelo arco de circunferência (S) e nem a corda (C).

4 CONCLUSÕES

Nesse trabalho apresentou-se o conceito da distância horizontal, da corda e da geodésica para uma esfera e as fórmulas foram deduzidas adequadamente sem aproximações. Posteriormente foram apresentadas e deduzidas as formulações usadas por estações totais da marca Topcon e Leica e feitas as comparações. Os resultados mostraram que uma diferença de 1000m no raio da esfera representativa da forma da Terra, não traz implicações de perda de precisão nos cálculos da distância horizontal e diferença de nível. Todavia foi verificado que a partir de 10km na medida da distância já se deve ter cautela no uso dos elementos calculados pelas aproximações nas fórmulas que as estações totais fazem e, se necessário, providenciar a diferença de nível e a redução da distância horizontal por algum aplicativo próprio, para esse fim.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13133**. Execução de levantamento topográfico: Procedimento. Rio de Janeiro, 1994.

GARNÉS, S. J. A. Sistema de Projeção e Orientação das Plantas Topográficas. In: **Anais**… COBRAC 98 – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – UFSC, Florianópolis, 18 a 22 de Outubro, 1998.

GEMAEL, C. **Introdução a geodésia geométrica: 1a parte**. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1977.

IBGE. **R.PR – 1/2005: Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro**. Rio de Janeiro, fevereiro, 2005.

KAHMEN, H.; FAIG, W. **Surveying**. Berlin: Walter de Gruyter, 1988.

LEICA GEOSYSTEMS. **Leica TPS400 Series User Manual**. Heerbrugg. Switzerland, 2008. Disponível em: <www.leica-geosystems.com>. Acesso em agosto 2018.

TOPCON. **Instruction manual geodetic total station: GT Series**. Disponível em: <https://positioning.topcon.co.jp/en/document/manual/#sec270>. Acesso: 18 agosto 2018.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

O PROGRAMA GLONASS E AS PERSPECTIVAS NO BRASIL

JAIME FREIBERGER JUNIOR
ADRIELE DOS SANTOS CARVALHO

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Centro de Ciências Rurais – CCR, Centro de Tecnologia – CT
Laboratório de Geodésia Espacial, Santa Maria–RS
jaimebrasil@hotmail.com, adri.adriele@gmail.com

RESUMO – O GLONASS e o NAVSTAR-GPS são atualmente os principais sistemas com constelação completa disponível para navegação e posicionamento preciso no contexto do GNSS (*Global Navigation Satellite System*s). O GLONASS, sistema de navegação global desenvolvido pela Federação Russa na década de 1970, passou por um processo de declínio causado pela crise econômica de modo que a manutenção do sistema e a reposição de satélites foram adiados, inviabilizando por vários anos o emprego de dados isolados e em combinação com o NAVSTAR-GPS. A partir de 2001 o sistema passou por um processo de restabelecimento até alcançar sua constelação completa de 24 satélites e cobertura global em 2011. O presente trabalho apresenta breve revisão histórica do GLONASS e suas principais características, seu processo de modernização e perspectivas futuras no contexto brasileiro.

ABSTRACT – GLONASS and NAVSTAR-GPS are currently the main systems with complete constellation for global navigation and precise positioning available in the GNSS context. Developed by the Soviet Union in the 1970s, the GLONASS maintenance and satellite replacement was postponed after an economic collapse, making it impossible for several years to use isolated data and in combination with NAVSTAR-GPS. From 2001, the system underwent a complete restoration process until it reaches its full constellation of 24 satellites, achieving global coverage in 2011. This work presents a brief review of GLONASS history and its main features, its modernization process and future perspectives in the Brazilian background.

1 INTRODUÇÃO

O lançamento dos primeiros satélites da constelação russa GLONASS entre 12 de outubro de 1982 e maio de 1985, estabeleceu uma nova ordem de ação militar em resposta ao programa estadunidense NAVSTAR-GPS. Em 1996 o sistema obteve sua capacidade operacional total com 24 satélites dos blocos I, IIa e IIb formando um arcabouço de cobertura global com potencial de integração ao GPS e a outras constelações que hoje constituem o chamado sistemas de satélites para navegação global, acrônimo em inglês conhecido por GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*). A continuidade do GLONASS foi comprometida com a crise econômica da Rússia, que dois anos depois anunciou o início do seu processo de recuperação.

Até 2002, o sistema contava com apenas seis satélites ativos durante as operações de manutenção e somente após nove anos de investimento sua constelação foi restabelecida. Neste período de restauração e modernização do sistema foi concebida a quarta geração de satélites denominada GLONASS-M, na qual se incluem os satélites do bloco II-v (ou II-c no alfabeto romano). A transição para os satélites da geração GLONASS-K (ou K1) foi dada entre fevereiro de 2011 e novembro de 2014 e trouxe, entre outros recursos, a transmissão de sinais CDMA (acesso múltiplo por divisão de código) em uma terceira frequência L3. Os satélites da próxima geração, com previsão de lançamento para 2022, denominada GLONASS-K2 transmitirão sinais CDMA também nas frequências L1 e L2.

No entanto, para se configurar adições funcionais aos sistemas de posicionamento tais como determinação dos parâmetros das órbitas dos satélites, interoperabilidade com outros sistemas e aprimoramento do desempenho global, são necessárias estações terrestres de medição operando em locais distribuídos estrategicamente pela superfície do globo. Ao contrário das estações terrestres do NAVSTAR-GPS, que foram estabelecidas em vários locais nos continentes, as estações GLONASS ainda se concentram no território russo, em países vizinhos e em parte da Antártida.

Nesse contexto dos acordos e comissões intergovernamentais sobre cooperação econômica, científica e técnica, a Agência Espacial Federal Roscosmos, órgão governamental russo responsável pelo GLONASS e pelas atividades aeroespaciais, por meio de um acordo entre os governos da Federação Russa e da República Federativa do Brasil sobre

cooperação na exploração e uso do espaço exterior para fins pacíficos, inaugurou em fevereiro de 2013 a primeira estação de monitoramento terrestre no hemisfério ocidental. Trata-se da estação de medição localizada no campus da Universidade de Brasília, que no ano seguinte recebeu uma estação de dados quânticos do sistema.

Em fevereiro de 2016 foi estabelecida no Instituto de Tecnologia de Pernambuco a terceira estação terrestre GLONASS no Brasil, e em 20 de abril de 2016 foi a vez da estação terrestre instalada no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), terceiro órgão no Brasil a abrigar uma estação em parceria com a Rússia.

2 SEGMENTO ESPACIAL E ESTADO ATUAL DA CONSTELAÇÃO

A constelação nominal do GLONASS compreende 26, destes 23 estão operantes, satélites Glonass-M uniformemente implantados em três planos orbitais aproximadamente circulares com uma inclinação de 64,8° em relação ao equador. A altitude aproximada das órbitas é 19,100 km e o período de órbita de cada satélite é de 11 horas, 15 minutos, 45 segundos. Os planos orbitais são separados por 120° de ascensão reta do nó ascendente, sendo oito satélites igualmente espaçados em cada plano com 45° de latitude. Além disso, os planos orbitais têm um argumento de deslocamento de latitude de 15° em relação um ao outro. O GLONASS emprega o datum denominado PZ-90 (rus. *Parametry Zemli 1990* – parâmetros da Terra 1990), no qual a localização precisa do Pólo Norte é dada como uma média de sua posição na época de 1990 a 1995. A partir de 17 de setembro de 2007 o PZ-90 foi atualizado para a versão PZ-90.02 que difere do WGS 84 por menos de 40 cm em qualquer direção dada (IAC, 2018), e desde 31 de dezembro de 2013 é transmitida a versão PZ-90.11, alinhada ao ITRF na época de 2011.0 ao nível do centímetro (ICG, 2010). A tabela 1 mostra as principais características dos blocos de satélites GLONASS. O estado da constelação com base na análise do almanaque e nas mensagens de navegação dos satélites GLONASS é apresentado na figura 1.

Tabela 1 – Principais características dos blocos de satélites GLONASS

	Glonass	**Glonass-M**	**Glonass-K**
Status	fora de serviço	em serviço	em serviço
Primeiro lançamento	1982	2003	2011
Vida útil (anos)	3	7	10
Massa (Kg)	1250	1480	750
Potência de saída (W)	1000	1600	1600
Sinais civis	1	2	2
Estabilidade do relógio	$5x10^{-13}$	$1x10^{-13}$	$1x10^{-14}$

Fonte: ESA (2018).

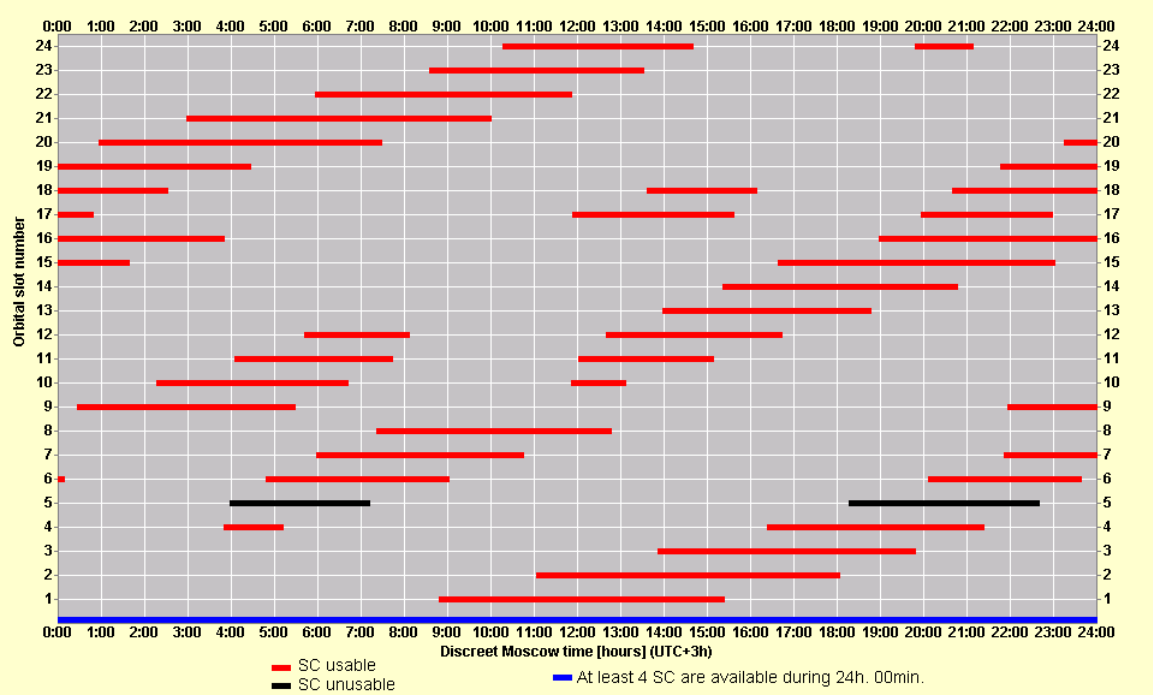
Figura 1 - Constelação GLONASS em 19/08/2018.

GLONASS number	Cosmos number	Plane/ slot	Frequ. chann.	Launch date	Intro date	Status	Outage date
730	2456	1/01	1	14.12.2009	30.01.2010	operating	.....
747	2485	1/02	-4	26.04.2013	04.07.2013	operating	.....
744	2476	1/03	05	04.11.2011	08.12.2011	operating	.....
742	2474	1/04	06	02.10.2011	25.10.2011	operating	.....
734	2458	1/05	01	14.12.2009	10.01.2010	unusable	05.08.2018
733	2457	1/06	-4	14.12.2009	24.01.2010	operating	.....
745	2477	1/07	05	04.11.2011	18.12.2011	operating	.....
743	2475	1/08	06	14.11.2011	25.12.2011	operating	.....
702	2501	2/09	-2	01.12.2014	25.12.2014	operating	.....
717	2426	2/10	-7	25.12.2006	03.04.2007	operating	.....
753	2516	2/11	00	29.05.2016	27.06.2016	operating	.....
723	2436	2/12	-1	25.12.2007	22.01.2008	operating	.....
721	2434	2/13	-2	25.12.2007	08.02.2008	operating	.....
752	2522	2/14	-7	22.09.2017	16.10.2017	operating	.....
716	2425	2/15	00	25.12.2006	12.10.2007	operating	.....
736	2464	2/16	-1	02.09.2010	01.10.2010	operating	.....
751	2514	3/17	04	07.02.2016	24.02.2016	operating	.....
754	2492	3/18	-3	24.03.2014	14.04.2014	operating	.....
720	2433	3/19	03	26.10.2007	25.11.2007	operating	.....
719	2432	3/20	02	26.10.2007	27.11.2007	operating	.....
755	2500	3/21	04	14.06.2014	03.08.2014	operating	.....
731	2459	3/22	-3	02.03.2010	28.03.2010	operating	.....
732	2460	3/23	03	02.03.2010	28.03.2010	operating	.....
735	2461	3/24	02	02.03.2010	28.03.2010	operating	.....

Fonte: IAC (2018)

A representação gráfica das zonas de visibilidade dos satélites na cidade de Santa Maria–RS é mostrada na figura 2. Observa-se a disponibilidade de pelo menos seis satélites em operação simultânea no período de 24 horas.

Figura 2 - Visibilidade dos satélites GLONASS em 19/8/2018 (elevação mínima 10º)



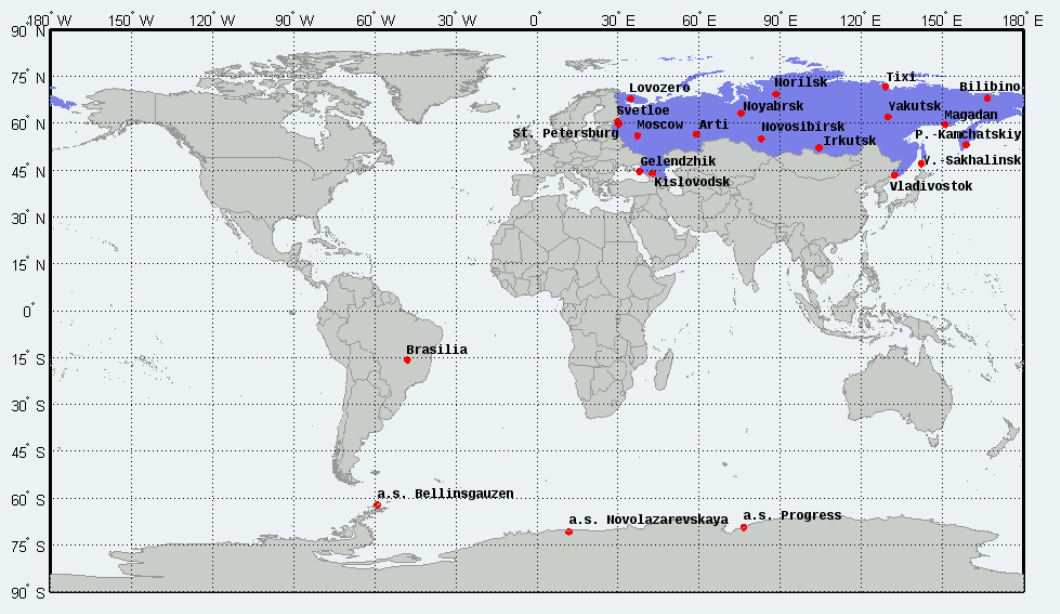
Fonte: IAC (2018)

2 SEGMENTO TERRESTRE

O segmento terrestre é responsável pelas seguintes funções: medir e predizer as efemérides individuais dos satélites, atualizar as efemérides preditas, correções de relógio, armazenar informações em cada satélite GLONASS para posteriormente ser incluída na mensagem de navegação enviada, calcular a diferença entre o sistema de tempo GLONASS e o UTC (*Universal Time Coordinated*), sincronizar os relógios do satélite com o sistema de tempo GLONASS, e também fazer a manutenção e controlar o veículo espacial.

Ele consiste de um centro de controle do sistema (SCC) localizado em Krasnoznamensk, uma rede de cinco centros de telemetria, rastreamento e controle, o relógio central situado em Schelkovo, três estações de upload, duas estações de laser (SLR) e várias estações de monitoramento e medição pelo globo. A rede de estações globais inclui estações em território russo, estações na Antártida e estações de organizações estrangeiras (IGS, Euref, TrigNet, RBMC, etc.). As informações são processadas para a determinação do estado do relógio e das órbitas dos satélites e assim atualizar a mensagem de navegação de cada satélite. Esta informação atualizada é transmitida aos satélites através das estações de *upload*, que também são usadas para a transmissão de informações de controle. A figura 3 ilustra a rede global de dados das estações de monitoramento do GLONASS.

Figura 3 - Rede global das estações de monitoramento GLONASS

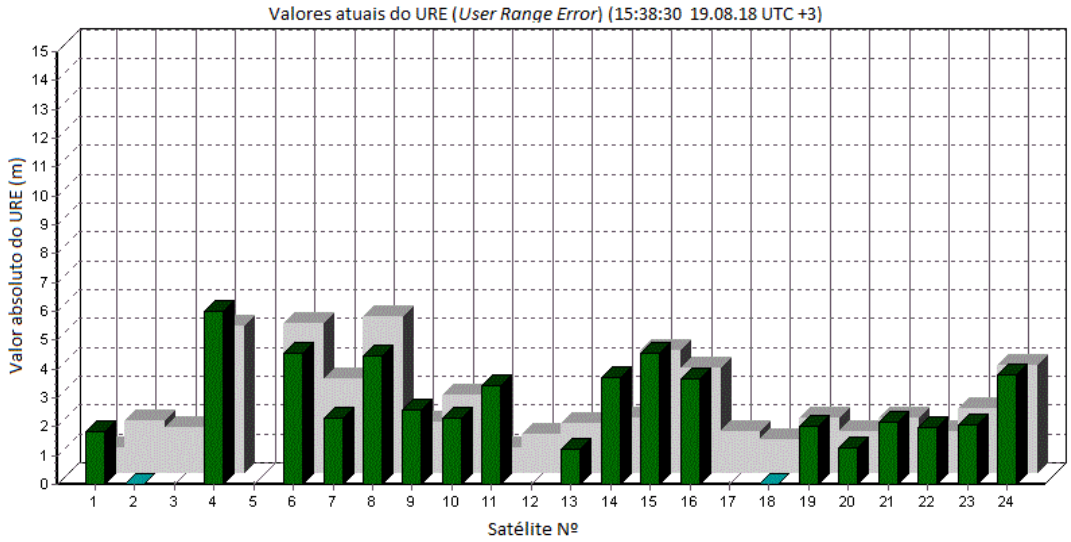


Fonte: SDCM (2014).

4 DISCUSSÕES

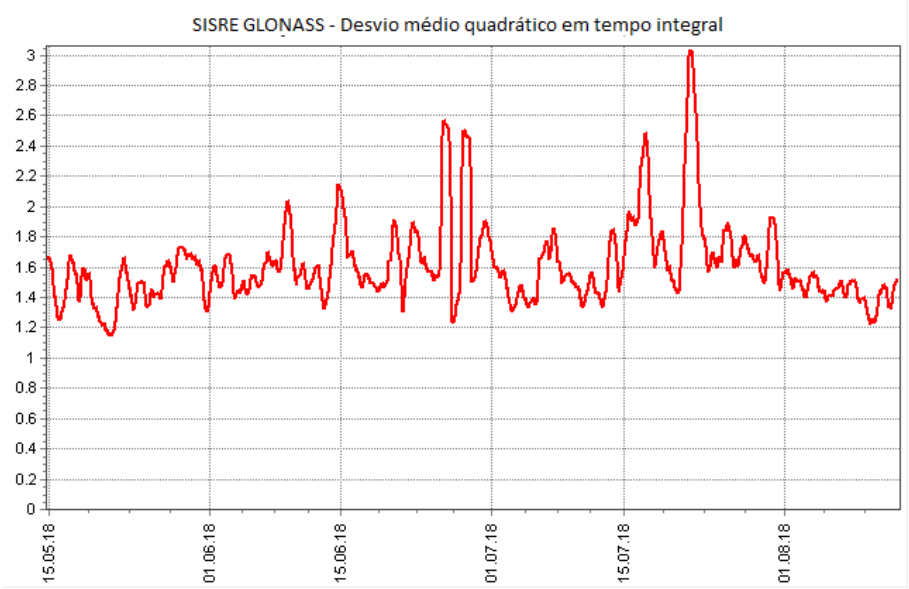
Correções de observações são calculadas em função de medições ou modelos prognósticos. Normalmente, a contribuição de um erro particular é analisada em termos de seu efeito na determinação da distância (SEEBER, 2003). O efeito combinado das incertezas das efemérides, erros de propagação do sinal, erros dos relógios e demais ruídos, projetado na linha de conexão entre observador e satélite, é chamado *User Range Error* (URE). A figura 4 apresenta os valores de URE para cada satélite GLONASS no dia 19 de agosto de 2018. O URE pode ser dividido em *Signal-in-Space* URE (SISRE), de responsabilidade do segmento de controle, e em *User Equipment Error* (UEE), que é função do equipamento dos usuários e seus modelos de correção (figura 5). O SISRE inclui as influências do relógio do satélite, erros de predição das efemérides e alguns ruídos remanescentes, mas não inclui erros imediatos de modelo ionosférico de frequência única, erros de modelo troposférico, ruído no receptor, variações de fase da antena receptor, ou distorção devido ao multicaminho, que são interferências relacionadas ao UEE.

Figura 4 - Valores atuais do URE (15:38:30 19.08.18 UTC +3)



Fonte: IAC (2018)

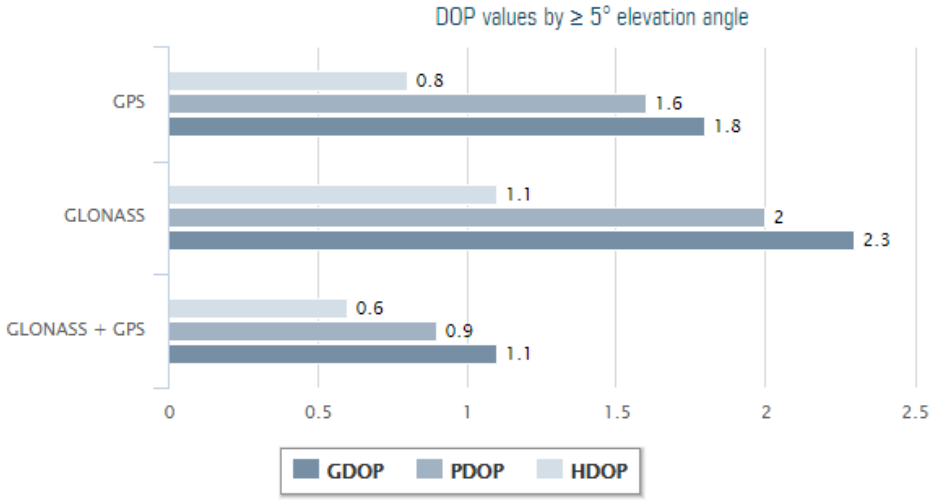
Figura 5 – SISRE GLONASS – Desvio médio quadrático em tempo integral



Fonte: IAC (2018)

O GPS e o GLONASS possuem características semelhantes tanto nos aspectos orbitais quanto nos aspectos relacionados ao controle terrestre, fato que possibilita a sua utilização para os mesmos tipos de aplicação. A disponibilidade de satélites proporcionada pelo uso combinado GPS e GLONASS oferece diversas vantagens para o posicionamento, tais como melhor precisão em áreas com visibilidade restrita, melhoria da qualidade no posicionamento isolado, maior possibilidade de se obter boa geometria e verificação dos resultados quando do emprego de cada sistema separadamente, como é apresentado na figura 6. Observa-se que a geometria da constelação melhora quando as constelações são combinadas e consequentemente ocorre diminuição nos valores de DOP.

Figura 6 - Diferença do DOP entre as constelações



Fonte: IAC (2018)

A possibilidade de se combinar dados na condição de multi-constelação, ou seja, NAVSTAR-GPS, GLONASS e futuramente do Beidou e Galileo, multiplicou a oferta de pontos terrestres destinados a estudos científicos que antes eram oferecidos somente pelo NAVSTAR-GPS. Como exemplo, cita-se a geração de mapas ionosféricos globais (GIMs) precisos e com alta resolução a fim de melhorar a precisão do posicionamento e os recursos de monitoramento ionosférico, para os quais a contribuição do GNSS para a modelagem ionosférica é uma análise factível frente à possibilidade de se empregar observações de estações das redes internacionais. Resultados mostram que os produtos gerados pela combinação das constelações do GNSS são melhores que os produtos baseados em um sistema isolado (Ren et al, 2016).

5 CONCLUSÕES

O convênio assinado em 14 de abril de 2015 entre e a Federação Russa e Universidade Federal de Santa Maria/RS prevê, dentre outras tarefas, a organização de um grupo de pesquisa em Geodésia disposto a planejar estudos sobre o emprego de efemérides precisas dos satélites GLONASS. São previstas ainda atividades investigativas sobre as posições, velocidades e acelerações dos satélites causadas pelas perturbações gravitacionais luni-solares, os erros atmosféricos e a aplicação do posicionamento de precisão empregando o GNSS. O objetivo do grupo é contribuir para o aprimoramento de um sistema coordenado global e preciso que é elemento-chave de muitos programas científicos internacionais, a exemplo do programa global de monitoramento da Terra implementado pela Associação Internacional de Geodésia (IAG). A concepção de receptores e equipamentos para uso civil e a diversidade de aplicativos desenvolvidos para telefones celulares que contemplam a recepção dos sinais do GLONASS refletem sua importância crescente em termos de disponibilidade e acurácia, razão do grande interesse e motivação da comunidade científica em desenvolver trabalhos sobre este sistema.

REFERÊNCIAS

ESA. European Space Agency. **Navipedia.** Disponível em <https://gssc.esa.int/>. Acesso: 19 agosto 2018.

FERREIRA, L.D.D; LAGO, I. F.; KRUEGER, C. P. GPS e GLONASS: Aspectos teóricos e aplicações práticas. Boletim de Ciências Geodésicas, sec. Artigos, Curitiba, v. 8, no 2, p.37-53, 2002.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS – Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo, and more**. New York: Springer-Verlag, 2008. 516p.

IAC. Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing (IAC PNT). Central Resarch Institute for Machine Building, Federal State Unitary Enterprise (FGUP TSNIIMASH). Disponível em <http://www.glonass-iac.ru/>. Acesso: 19 agosto 2018.

ICG. International Committee on Global Navigation Satellite Systems. **Current and Planned Global and Regional Navigation Satellite Systems and Satellite-based Augmentations Systems.** 70 p. New York: United Nations, 2010.

KAPLAN, E.; HEGARTY, C. **Understanding GPS:** principles and applications. 2. ed. Norwood: Artech House, 2005. 726p.

Ren, X; Zhang, X.; Xie, W.; Zhang, K.; Yuan, Y.; Li, X. **Global Ionospheric Modelling using Multi-GNSS: BeiDou, Galileo, GLONASS and GPS**. In: Scientific Reports. September, 2016.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy**. Berlin: de Gruyter, 2003.

SUBIRANA, J.S.; ZORNOZA, J.M.J.; HERNÁNDEZ-PAJARES, M. **Global Navigation Satellite Systems:** Volume I: Fundamentals and Algorithms. Noordwijk: ESA Communications, 2013.

SDCM. Russian system of differentional correction and monitoring. Disponível em < http://www.sdcm.ru/>. Acesso: 19 agosto 2018.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018*

PADRÕES DE REFERÊNCIA PARA O NIVELAMENTO GEOMÉTRICO UTILIZANDO O MODELO DE AJUSTAMENTO COMBINADO

ERMERSON DE VASCONCELOS SILVA 1
LUCIENE FERREIRA GAMA 2
ANDREA DE SEIXAS 3

[1 e 2] Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologias da Paraíba - IFPB
Unidade Acadêmica de Infraestrutura, Design e Ambiente. Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento, João Pessoa, PB
ermerson.geoif@gmail.com, gamalf@gmail.com

Departamento de Engenharia Cartográfica - DECart
[3] Programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação, Recife, PE
aseixas@ufpe.br

RESUMO - As altitudes das Referências de Nível do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) são fundamentais para projetos de engenharia. No entanto, problemas relacionados à inconsistência entre os data verticais, a não correlação de informações gravimétricas na determinação das altitudes, vazios altimétricos e erros na realização de circuitos de nivelamentos geométricos da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), tem afetado a qualidade das Referências de Nível no Brasil. Diante desta situação, parte dos levantamentos geodésicos que envolvem o conhecimento da altimetria é realizada, por meio de referências altimétricas inconsistentes ou arbitrárias. Este trabalho tem como objetivo avaliar a acurácia de uma rede altimétrica local a partir de sua vinculação ao Sistema Geodésico Brasileiro, para o estabelecimento de padrões de acurácia altimétrica de Referências de Nível. Para isso foi utilizado o método do nivelamento geométrico, cujos desníveis e altitudes foram estimados pelo modelo de ajustamento combinado com injunção relativa. As incertezas resultantes da Matriz Variância-Covariância (MVC) dos resíduos foram melhores que 0,0038m, para a MVC das observações ajustadas melhores que 0,0048m e para a Matriz Variância-Covariância das altitudes o melhor resultado foi para as referência de Nível RNSF com 0,0442 m.

ABSTRACT - The height of the Level References of the Brazilian Geodetic System (SGB) are fundamental for engineering projects. However, problems related to the inconsistencies between the vertical dates, the no correlation of gravimetric information in the determination of height, altimetric empty and errors in the realization of geometric leveling circuits of the High Precision Altimetric Network (RAAP) of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), has affected the quality of the Level References in Brazil. Faced with this situation, part of the geodetic surveys that involve the knowledge of altimetry is carried out by means of inconsistent or arbitrary altimetric references. This work aims to evaluate the accuracy of a local altimetric network from its linkage to the Brazilian Geodetic System, for the establishment of altimetric accuracy standards of Level References. For this, the geometric leveling method was used, whose unevenness and altitudes were estimated by the combined adjustment model with relative injunction. The uncertainties resulting from the matrix of variance-covariance of waste were better than 0,0038m for the MVC observations adjusted better than 0,0048m and the variance-covariance matrices of height the best result was for RNSF Level reference with 0.0442 m.

1 INTRODUÇÃO

A realização de sistemas altimétricos locais compatíveis com o Sistema Global de Altitude é uma tarefa difícil, principalmente para países com larga extensão continental, cita-se como exemplo, o Brasil, que nos últimos anos vem desenvolvendo esforços no intuito de modernizar o Sistema Altimétrico Brasileiro. No Brasil, a rede de referência altimétrica oficial é a Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP). Essa é estabelecida e mantida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Um dos problemas relacionados à definição das referências de altitudes no território brasileiro é a não uniformidade na distribuição das Referências de Nível. Isso precisa ser resolvido, porque, dela resultam os denominados “vazios altimétricos”, em várias regiões do país, como exemplo, nas regiões Norte, Nordeste e Centro

Oeste, onde são encontradas as maiores inconsistências no modelo do geopotencial do Brasil (MAPGEO2015). Estas inconsistências podem estar diretamente ligadas à realização das linhas de nivelamento geométrico nestas regiões. Disto resulta, a realização de levantamentos altimétricos com a adoção de referências altimétricas arbitrária, ou seja, sem conexão ao SGB.

Segundo o Banco de Dados Geodésicos do IBGE (2018), a Rede Altimétrica da cidade de João Pessoa é composta de 17 referências altimétricas (2018), onde dessas: 7 estão destruídas (Estações: 1818F, 2592R, 2592S, 395Y, 396B, 396C e 396Y, data da visita de campo realizada em 2003, 2004 e 2009), 4 não foram localizadas (Estações: 1818D, 395V, 395X e 396V, ultima visita realizada em 2009) e apenas 6 estão em bom estado (Estações: 1818E, 1818G, 395U, 395Z, 395A e 396X, foram visitadas no ano de 2004 e 2009). Apesar de no Banco de Dados Geodésicos do IBGE informarem que as Referências de Nível estão em boas condições é necessário ir *in loco* verificar, pois, as datas do reconhecimento do estado físico são de épocas anteriores a 2018.

Ações realizadas conjuntamente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pesquisadores de Universidades tem contribuído na solução do problema da altimetria do SGB. Em Matos et al. (2012) é visto que a Universidade de São Paulo, através de pesquisadores do Laboratório de Topografia, vem realizando circuitos de nivelamento e medidas de gravidade sobre as Referência de Nível (RRNN) no Estado de São Paulo, com a finalidade de melhorar a acurácias das altitudes ortométricas e do modelo geoidal do Estado. O Laboratório de Topografia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, em parceria com o Laboratório de Geodésia da Universidade Federal de Pernambuco vem também realizando circuitos de nivelamento geométrico no sentido de reduzir o vazio altimétrico existente na Cidade de Olinda-PE, João Pessoa e Lucena – PB (SILVA e GAMA, 2015).

A realização deste trabalho justifica-se pela necessidade de se ter coordenadas altimétricas vinculadas ao Sistema de Referência Altimétrico do SGB, para a realização de trabalhos de Engenharia na cidade de João Pessoa, por exemplo, a representação do relevo, geração de modelos geoidais, locação de túneis, redes viárias, redes elétricas, redes de água e esgoto, cotas limítrofes de inundação, construção de estradas, entre outros. Nesta perspectiva, o trabalho tem como objetivo avaliar a acurácia de uma rede altimétrica local a partir de sua vinculação ao Sistema Geodésico Brasileiro, para o estabelecimento de padrões de acurácia altimétrica de pontos de Referências de Nível, localizados no Centro Histórico da Cidade de João Pessoa-PB. A rede altimétrica foi determinada por nivelamento geométrico de alta precisão. Os resultados das altitudes determinadas foram analisados a partir da aplicação do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), utilizando-se o modelo de ajustamento combinado com injunção relativa.

1.2 Controle de Qualidade da Rede de Nivelamento Geométrico

O controle da qualidade do nivelamento é realizado a partir da verificação da consistência entre as observações (depende dos procedimentos adotados no processo de medição dos dados) e do modelo matemático adotado, bem como na identificação de erros grosseiros não modelados para que os mesmos sejam eliminados (TEUNISSEN, 1998; SEIXAS *et al.*, 2014). O controle de qualidade do nivelamento geométrico neste trabalho, tanto na fase de aquisição quanto no processamento dos dados foi realizado como descrito em Seixas *et al*. (2014):

1.2.1 Método dos Mínimos Quadrados – Modelo combinado com injunção relativa

O ajustamento das observações estimadas é realizado a partir de parâmetros pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) na forma combinada que, em particular, pode ser degenerado na forma paramétrica (equações de observações) ou correlata (equações de condição) (GEMAEL, 1994). Para o controle de qualidade da rede altimétrica foram aplicadas as equações do Método dos Mínimos Quadrados, adotando o modelo de ajustamento implícito, ou seja, método combinado, onde de acordo com Mikhail e Ackerman (1976) é aplicado em modelos funcionais que combinam observações e parâmetros. Quando a altitude de um ou mais pontos são conhecidas, bem como as precisões, neste caso será necessário acrescentar junto às equações de observações às equações de injunção relativa (injunção com peso).

As injunções relativas, de acordo com Dalmolin (2004) e Gemael (1994), são introduzidas por meio de atribuição de pesos aos parâmetros ou observações.

Os modelos funcionais aplicados a este método são formados por equações implícitas, Equação 1:

$$F(X_a , L_a) = 0 \tag{1}$$

A Equação 1 representa os parâmetros e valores observados ajustados, ligados por uma função não explicita.

Admitindo-se ainda a existência de equações de condições particulares, vinculando todos ou parte dos parâmetros (*constraints* = Injunções), Equação 2.

$$G(X_a) = 0 \tag{2}$$

Aplicando-se a linearização em série de Taylor na Equação 1, é possível determinar a expressão correspondente ao modelo de ajustamento combinado, dada pela Equação 3.

$$AX + BV + W = 0 \tag{3}$$

Sendo:

$$A = \left.\frac{\partial F}{\partial \mathrm{X}_{\mathrm{a}}}\right|_{L_b, X_0} \tag{4}$$

Da Equação 4 resulta a matriz das derivadas parciais do modelo funcional em relação aos parâmetros.

$$B = \left.\frac{\partial F}{\partial \mathrm{L}_{\mathrm{a}}}\right|_{X_a, L_b} \tag{5}$$

Onde: B é matriz das derivadas parciais do modelo funcional em relação às observações.

$$W = F(L_b, X_O)\text{:} \tag{6}$$

Sendo W, o vetor das correções. Assim, tem-se a seguinte solução para o vetor dos parâmetros corrigidos, Equação 7.

$$X = -(A^t \cdot M^{-1} \cdot A)^{-1} \cdot A^t \cdot M^{-1} \cdot W \tag{7}$$

Sendo $M = P^{-1}$

Apresenta-se a seguir a matriz dos pesos formada com variâncias proporcionais aos comprimentos das linhas do nivelamento, sendo uma das formas analisadas no presente trabalho, caso clássico em ajustamento de redes geodésicas altimétricas diretas (FARRET et al., 2006).

A determinação da variância da unidade de peso a priori, é calculado a partir da precisão do equipamento utilizado no levantamento, tendo-se assim, sigma a priori, Equação 8.

$$(\sigma_0{}^2) = (n \times \sqrt{k_i})^2 \tag{8}$$

$n =$ Precisão vinculada às observações

$k_i =$ Distância nivelada em km

Resultando na equação da matriz peso, Equação 9.

$$P_{nxn} = k_i{}^{-1}{}_{n \times n} \tag{9}$$

Refazendo a Equação 9, chega-se na Equação 10.

$$P_{nxn} = \sigma_0{}^2 \cdot \begin{bmatrix} 1/\sigma_1{}^2 & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & 1/\sigma_2{}^2 & \ldots & 0 \\ 0 & 0 & \ldots & 0 \\ 0 & 0 & \ldots & 1/\sigma_n{}^2 \end{bmatrix}_{nxn} \tag{10}$$

O peso dado a uma observação, Equação 4, é definido como uma quantidade que é inversamente proporcional à variância desta observação (MIKHAIL e GRACIE, 1981, p. 66), ou seja, tem-se mais confiança nas observações com menor variância. Além disso, foi aplicado um peso para a injunção, sendo considerada a precisão pontual da referência do IBGE adotada nesta pesquisa, como o ponderador da injunção relativa.

Os valores observados ajustados são obtidos a partir do vetor dos resíduos, Equação 11.

$$V = P^{-1} \cdot B^T \cdot K \tag{11}$$

Onde: K são os multiplicadores de Lagrange, calculado pela Equação 12.

$$K = -M^{-1} \cdot (AX + W) \tag{12}$$

1.2.2 Análise da qualidade do ajustamento

De acordo com Gemael (1994), no ajustamento das observações por Mínimos Quadrados (MMQ), os erros grosseiros e sistemáticos devem ser identificados e eliminados das observações antes da realização do ajustamento, mas para verificar se os referidos erros foram eliminados, é necessário à verificação da qualidade dos valores ajustados, utilizando-se procedimentos estatísticos.

A Análise da Qualidade do Ajustamento é baseada na comparação entre $\hat{\sigma}_0^2$ (variância da unidade de peso a posteriori) e $\sigma_0{}^2$ (variância da unidade de peso a priori). A variância da unidade de peso a priori é calculada a partir da precisão do equipamento utilizado no levantamento, Equação 13.

$$(\sigma_0{}^2) = (n \times \sqrt{k_i})^2 \tag{13}$$

Onde:

$n =$ Precisão do equipamento,

$k_i =$ Distância em Km

Para o cálculo da variância da unidade de peso unitário a posteriori, utiliza-se a Equação 14.

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{S} \tag{14}$$

Sendo:

$S = r - u$: Grau de liberdade.

A comparação entre a variância da unidade de peso a priori e a variância da unidade de peso a posteriori é um indicador de qualidade do ajustamento. Caso haja discrepância entre as variâncias citadas, aplica-se o teste Qui – quadrado para verificar a significância da discrepância em relação ao nível de confiança pré-estabelecido. A análise do ajustamento é realizada aplicando-se o teste Qui-Quadrado (χ^2) conhecido também como Teste Global do Modelo (TGM) ou Teste n-dimensional (MIKHAIL & GRACIE, 1981; FRASER, 2003).

O teste leva a formação de duas hipóteses descrita na Equação 15:

$$\begin{cases} H_0 : E\{\hat{\sigma}_0^2\} = \sigma_0{}^2 \\ H_1 : E\{\hat{\sigma}_0^2\} > \sigma_0{}^2 \end{cases} \tag{15}$$

Para a validação de uma das hipóteses, compara-se o valor calculado dado pela Equação 16.

$$T = \chi^2{}_{cálculado} = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0{}^2} \cdot S \tag{16}$$

Onde: *T* tem distribuição χ^2, com graus de liberdade igual a *n-u*, com os valores teóricos da distribuição $\chi^2_{(S,1-\alpha)}$. A hipótese nula H_0 não é rejeitada, ao nível de significância α, no teste estatístico, se: $T < \chi^2_{(S;1-\alpha)}$. Caso contrário, $T > \chi^2_{(S;1-\alpha)}$, significando que há problemas no ajustamento, ou seja, a hipótese alternativa é rejeitada ao nível de significância de α. Desta forma, o ajustamento não é aceito, pois existem erros envolvidos (GEMAEL, 1994).

Com o ajustamento aceito são calculadas as matrizes Variância – Covariância dos resíduos (∑V), Variância – Covariância dos valores observados ajustados (∑La) e a Matriz Variância – Covariância das altitudes ajustadas (∑Xa). Em cuja diagonal se encontram as variâncias que a partir das raízes dessas variâncias são calculados o erro médio ou precisão das altitudes.

A partir da Equação 17 é determinada a Matriz Variância – Covariância dos resíduos.

$$\sum_V = \hat{\sigma}_0^2 (P^{-1} \cdot B^T \cdot M^{-1} \cdot B \cdot P^{-1} - P^{-1} \cdot B^T \cdot M^{-1} \cdot A (A^T \cdot M^{-1} \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot M^{-1} \cdot B \cdot P^{-1}) \tag{17}$$

A Matriz Variância – Covariância das observações ajustadas é determinada pela Equação 18. ´

$$\sum_{L_a} = \hat{\sigma}_0^2 (P^{-1} + P^{-1} \cdot B^T \cdot M^{-1} \cdot A (A^T \cdot M^{-1} \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot M^{-1} \cdot B \cdot P^{-1} - P^{-1} \cdot B^T \cdot M^{-1} \cdot B \cdot P^{-1}) \tag{18}$$

2 REALIZAÇÃO DA REDE DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

O desenvolvimento deste trabalho contempla os seguintes procedimentos metodológicos: implantação das Referências de Nível, medição, ajustamento dos desníveis observados e análise dos resultados obtidos.

2.1 Descrição da área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido no Centro Histórico da cidade de João Pessoa, no estado da Paraíba. A Figura 1 mostra a distribuição das Referências de Nível na área de estudo (GAMA et al., 2015).

Figura 1 - Área de estudo, Centro Histórico de João Pessoa – PB.

Fonte: Google Earth, 2018.

2.2 Implantação e medição da rede altimétrica

A rede altimétrica é composta por 12 Referências de Nível (Figura 3 e 4). A referência altimétrica adotada para a medição da rede integra o SGB, Referência de Nível RN-396A, pertencente ao circuito de nivelamento da RAAP do IBGE. A Referência de Nível RN-396A, com altitude de 47,4564m ±0,09 m e data de cálculo em 30/07/2018, está localizada no lado direito da porta principal da igreja de Nossa Senhora das Neves. A Referência de Nível RN-396A pertence a um ramal, isto é, uma linha de nivelamento geométrico que forma circuito, cujos desníveis foram ajustados (IBGE, 2018).

A validação das altitudes determinadas neste trabalho, com relação ao Datum Vertical Brasileiro, foi efetuada com a realização de linhas de nivelamento geométrico, a partir da Referência de Nível (RN-396A), cuja precisão é de ±0,09m.

Para a implantação das novas Referências de Nível, foram utilizados pinos de superfícies semiesférica, fixados no meio fio, em torno de várias quadras urbanas do Centro Histórico de João Pessoa, envolvidos com adesivos epóxis de alta resistência.

Para a medição da rede de nivelamento, foi utilizado o método do nivelamento geométrico, com o uso de um nível analógico TOPCON TB4 de precisão ±2mm/km, classificado pela NBR 13.133/1994 de precisão alta; mira de alumínio de 4m de encaixe, nível de cantoneira, pinos de aço e sapata. Para o processamento foi utilizado o software Excel 2007 e o software *Scilab* 5.4.1.

2.3 Método de determinação das altitudes

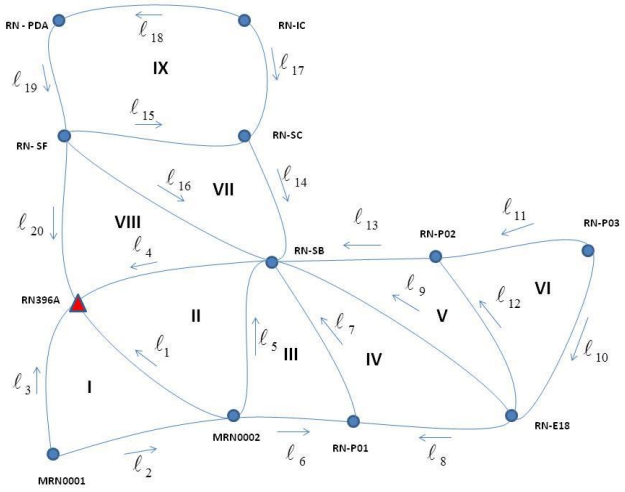
O nivelamento geométrico é um método comumente empregado na definição de altitudes. A determinação das altitudes, denominadas de altitudes niveladas, pelo método do nivelamento geométrico é feita através do somatório dos desníveis medidos. Mas em função do achatamento terrestre e das irregularidades de distribuição de massa da Terra real, o paralelismo das superfícies equipotenciais não ocorre. Com isso o desnível entre duas RRNN obtido através do somatório dos desníveis medidos, será distinto quando trajetos diferentes forem percorridos (BLITZKOW *et al.*, 2004).

O desnível total observado (Δh_{AB}) é dado pela diferença entre os somatórios das leituras a ré (R) e a vante (V), Equação 20. O encadeamento de múltiplas seções segundo percursos fechados (circuitos) dá origem às Redes de nivelamento.

$$\Delta h_{AB} = h_1 + h_2 + \cdots = \sum h = \sum Ré - \sum Vante \quad (20)$$

A rede altimétrica, Figura 2, objeto de estudo, é composta por dois marcos de concreto, MRN0001 e MRN0002, localizados na Praça da igreja Nossa Senhora das Neves e 9 (nove) pinos semiesférico, RN-SB próximo à igreja São Bento, RN-E18 situado ao Edifício 18, RN-SC entre as igrejas São Bento e Nossa Senhora do Carmo, RN-IC e RN-PDA nas intermediações da Praça da igreja Nossa Senhora do Carmo e RN-SF na calçada da Praça da igreja São Francisco e as referências de Nível RN-P01, RN-P02 e RN-P03 na Avenida General Ozório. A Figura 2 mostra os circuitos realizados da rede de nivelamento geométrico, medida com nível analógico. As setas presentes na Figura 4 indicam o sentido em que o terreno se eleva.

Figura 2 – Circuitos da rede de nivelamento geométrico.



Fonte: (GAMA et al., 2016).

As medições dos desníveis foram iniciadas tomando como referência altimétrica a Referência de Nível RN396A, perfazendo 9 (nove) circuitos, compostos por 20 (vinte) linhas de nivelamento geométrico. Para evitar a ocorrência e propagação dos erros sistemáticos, na realização da rede de nivelamento geométrico, os comprimentos das visadas de ré e vante foram aproximadamente iguais (±20m), de modo a compensar o efeito da curvatura terrestre e da refração atmosférica. Para evitar erros sistemáticos causados pelo efeito da reverberação, as leituras na mira posicionada sobre o ponto foram feitas acima de 20 cm. Com a utilização de apenas uma única mira, foi evitado o erro de índice.

O controle das leituras realizadas nas miras foi realizado a partir do cálculo das médias entre as leituras dos fios estadimétricos superior e inferior, comparando-a em seguida com a leitura do fio médio lido, sendo tolerável uma diferença de leitura inferior a 0,002m entre a média das leituras dos fios superior e inferior e a leitura do fio médio, seguindo a metodologia de (GAMA *et.al.*, 2016).

Com a conclusão do levantamento, foi possível a partir das linhas de nivelamento fechar vários circuitos. Foram determinados os desníveis e as distâncias de cada linha nivelada. Com isso, foi calculado o erro de fechamento (E_f), este realizado considerando a tolerância (t) estabelecida a partir da precisão do equipamento. A Tabela 1 apresenta os erros de fechamento e os perímetros para cada circuito independente, da rede altimétricas.

Tabela 1. Circuitos nivelados, perímetros e seus respectivos erros de fechamento.

Circuitos	Linhas	Perímetro (Km)	Erro de fechamento (m)
I	l_1, l_2, l_3	0,1449	0,002
II	l_1, l_4, l_5	0,1591	0,000
III	l_5, l_6, l_7	0,2432	- 0,001
IV	l_7, l_8, l_9	0,4058	- 0,001
V	l_9, l_{12}, l_{13}	0,4037	- 0,001
VI	l_{10}, l_{11}, l_{12}	0,2906	0,002
VII	l_{14}, l_{15}, l_{16}	0,4198	0,000
VIII	l_9, l_{16}, l_{20}	0,5635	0,000
IX	$l_{13}, l_{17}, l_{18}, l_{19}$	0,3994	0,001

Fonte: (GAMA et al., 2016).

2.3.1 Processamento da rede altimétrica

O cálculo do erro de fechamento (E_f) foi realizado considerando a tolerância (t) estabelecida a partir da precisão do equipamento. Portanto, os erros de fechamento estão de acordo com as tolerâncias admissíveis. Sendo o erro de fechamento menor ou igual á 2 mm. Para o ajustamento da rede de nivelamento foram utilizadas as observações das diferenças de nível (Δh) apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Diferenças de nível entre as RRNN

Saída	Chegada	Linha Nivelada	Δh (m)	Comprimento da Linha (Km)
RN-396ª	MRN0002	l_1	0,391	0,023
MRN0002	MRN0001	l_2	4,120	0,060
RN-396ª	MRN0001	l_3	4,513	0,061
RN-396ª	RN-SB	l_4	0,182	0,080
RN-SB	MRN0002	l_5	0,209	0,055
RN-P01	MRN0002	l_6	0,022	0,114
RN-SB	RN-P01	l_7	0,186	0,074
RN-P01	RN-E18	l_8	1,291	0,129
RN-SB	RN-E18	l_9	1,476	0,202
RN-E18	RN-P03	l_{10}	2,376	0,078
RN-P02	RN-P03	l_{11}	3,507	0,139
RN-P02	RN-E18	l_{12}	1,129	0,073
RN-SB	RN-P02	l_{13}	0,346	0,129
RN-SB	RN-SC	l_{14}	0,604	0,092
RN-SC	RN-SF	l_{15}	0,149	0,126
RN-SB	RN-SF	l_{16}	0,753	0,202
RN-SC	RN-IC	l_{17}	2,086	0,092
RN-PDA	RN-IC	l_{18}	1,277	0,082
RN-SF	RN-PDA	l_{19}	0,661	0,097
RN-396ª	RN-SF	l_{20}	0,935	0,160

Fonte: (GAMA et al., 2016).

As coordenadas altimétricas da rede de nivelamento, foram ajustadas pelo Método dos Mínimos Quadrados-Modelo Combinado com injunção relativa ao nível de confiança de 95%, aplicando-se o teste estatístico Qui-Quadrado, também denominado de Teste Global do Modelo (TGM).

Foram realizadas 20 linhas de nivelamento geométrico, representando os desníveis medidos, considerados neste modelo de ajustamento como 20 observações (l_b). As linhas de nivelamento geométrico envolveram 12 (doze) RRNN, sendo a altitude da RN396A considerada fixa, com uma altitude de 47,4564 m, e as demais consideradas incógnitas.

Resultam assim, nas equações do modelo de ajustamento combinado com Número de observações: n = 20 + 1(falsa observação), totalizando 21 observações, com 9 (nove) graus de liberdade. O modelo matemático do método combinado com injunção relativa (Equação 21) usa a diferenças de nível (Δh) entre as RRNN, apresentadas na Tabela 2. As equações são escritas de acordo com a Equação 1 e Equação 3.

$$
\begin{aligned}
&\Delta H_{RN396A-MRN0002}{}^{a} + H_{RN396A}{}^{a} - H_{MRN0002}{}^{a} = 0\\
&\Delta H_{MRNOOO2-MRN0001}{}^{a} + H_{MRN0002}{}^{a} - H_{MRN0001}{}^{a} = 0\\
&\Delta H_{RN396A-MRN0001}{}^{a} + H_{RN396A}{}^{a} - H_{MRN0001}{}^{a} = 0\\
&\Delta H_{RN396A-RNSB}{}^{a} + H_{RN396A}{}^{a} - H_{RNSB}{}^{a} = 0\\
&\Delta H_{RNSB-MRN0002}{}^{a} + H_{RNSB}{}^{a} - H_{MRN0002}{}^{a} = 0\\
&\Delta H_{RNP01-MRN0002}{}^{a} + H_{RNP01}{}^{a} - H_{MRN0002}{}^{a} = 0\\
&\Delta H_{RNSB-RNP01}{}^{a} + H_{RNSB}{}^{a} - H_{RNP01}{}^{a} = 0\\
&\Delta H_{RNP01-RNE18}{}^{a} + H_{RNP01}{}^{a} - H_{RNE18}{}^{a} = 0\\
&\Delta H_{RNSB-RNE18}{}^{a} + H_{RNSB}{}^{a} - H_{RNE18}{}^{a} = 0\\
&\Delta H_{RNE18-RNP03}{}^{a} + H_{RNE18}{}^{a} - H_{RNP03}{}^{a} = 0\\
&\Delta H_{RNP02-RNP03}{}^{a} + H_{RNP02}{}^{a} - H_{RNP03}{}^{a} = 0\\
&\Delta H_{RNP02-RNE18}{}^{a} + H_{RNP02}{}^{a} - H_{RNE18}{}^{a} = 0\\
&\Delta H_{RNSB-RNP02}{}^{a} + H_{RNSB}{}^{a} - H_{RNP02}{}^{a} = 0\\
&\Delta H_{RNSB-RNSC}{}^{a} + H_{RNSB}{}^{a} - H_{RNSC}{}^{a} = 0\\
&\Delta H_{RNSC-RNSF}{}^{a} + H_{RNSC}{}^{a} - H_{RNSF}{}^{a} = 0\\
&\Delta H_{RNSB-RNSF}{}^{a} + H_{RNSB}{}^{a} - H_{RNSF}{}^{a} = 0\\
&\Delta H_{RNSC-RNIC}{}^{a} + H_{RNSC}{}^{a} - H_{RNIC}{}^{a} = 0\\
&\Delta H_{RNPDA-RNIC}{}^{a} + H_{RNPDA}{}^{a} - H_{RNIC}{}^{a} = 0\\
&\Delta H_{RNSF-RNPDA}{}^{a} + H_{RNSF}{}^{a} - H_{RNPDA}{}^{a} = 0\\
&\Delta H_{RN396A-RNSF}{}^{a} + H_{RN396A}{}^{a} - H_{RNSF}{}^{a} = 0\\
&H_{RN396A}{}^{a} - H_{RN396A}{}^{a} = 0
\end{aligned}
\qquad (21)
$$

A partir das informações do modelo matemático, é gerada a matriz dos coeficientes (A) (Equação 4). Como em cada equação de observação aparece somente um valor observado, a matriz B, calculada pela Equação 5, é considerada uma matriz identidade de mesma ordem e com sinal negativo na injunção.

O Vetor erro de fechamento é calculado a partir da Equação 6. Para o cálculo da matriz dos pesos é utilizado à precisão do equipamento empregado nas medições dos desníveis, para este trabalho foi usado o nível analógico AT-B4 com precisão $\sigma_i = \pm 2mm\sqrt{k_i}$, tendo-se assim, variância da unidade de peso a priori calculada a partir da Equação 13, $(\sigma_0{}^2) = 4\times10^{-6}\times k_i$.

A Matriz dos pesos (P), é obtida pela Equação 9, a partir do inverso do comprimento de cada seção nivelada. P é uma matriz quadrática e simétrica com 21 linhas e 21 colunas, sendo a linha de injunção definida a partir da precisão estabelecida a priori para as observações. Por ser atribuída as observações independentes é uma matriz diagonal.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nestes experimentos, obteve-se a variância da unidade de peso unitário a posteriori, calculada a partir da Equação 14: $\hat{\sigma}_0^2 = 7{,}7\text{x}10^{-6}m^2$. Para a validação de uma das hipóteses, compara-se o valor do χ^2 calculado, com os valores teóricos da distribuição $\chi^2_{(gl,1-\alpha)}$. .Utilizando-se o teste Qui-Quadrado, χ^2 , Equação 16, com 9 (nove) graus de liberdade, tem-se: $\chi^2_{\text{calculado}} = \dfrac{7{,}7\text{x}10^{-6}}{4\text{x}10^{-6}}\times 9 \;=\; \chi^2_{\text{calculado}} = 17{,}325$.

Com $\chi^2_{(9;0{,}025)} = 2{,}700$ e $\chi^2_{(9;0{,}975)} = 19{,}023$, o teste é aceito, pois a hipótese nula H_0 não foi rejeitada ao nível de significância de α = 5% e o valor calculado para a forma quadrática $V^T PV$ de distribuição Qui-Quadrado: $\chi^2_c = 17{,}325$ está dentro da região de aceitação. De acordo com os testes de hipóteses realizados, verificou-se que o ajustamento destes pontos está dentro do intervalo de confiança estabelecido pela distribuição Qui-Quadrado ao nível de confiança de 95%. Com o teste aceito foram calculadas as Matrizes Variância-Covariância (MVC) dos resíduos, das

observações ajustadas e das altitudes. O cálculo da Matriz Variância-Covariância dos resíduos é realizado aplicando-se a Equação 17. Os resíduos com suas respectivas incertezas são dados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resíduos e suas respectivas incertezas.

Resíduos	Valores dos resíduos (m)	Incertezas (m)	Resíduos	Valores dos resíduos (m)	Incertezas (m)
v_1	0,0000	±0,0164	v_{12}	0,0011	±0,0083
v_2	0,0010	±0,0070	v_{13}	0,0002	±0,0049
v_3	-0,0010	±0,0069	v_{14}	0,0000	±0,0066
v_4	0,0004	±0,0078	v_{15}	-0,0002	±0,0052
v_5	-0,0004	±0,0096	v_{16}	-0,0002	±0,0038
v_6	0,0007	±0,0049	v_{17}	0,0003	±0,0049
v_7	-0,0001	±0,0082	v_{18}	-0,0003	±0,0054
v_8	-0,0007	±0,0049	v_{19}	-0,0003	±0,0046
v_9	0,0003	±0,0038	v_{20}	0,0002	±0,0040
v_{10}	0,0006	±0,0069	v_{21}	0,0000	±0,0000
v_{11}	-0,0003	±0,0039			

De acordo os resíduos das observações mostrados na Tabela 3, o menor e maior resíduo foi encontrado para as observações l_1, l_{14}, l_{21} e l_2, l_3, l_{12} com valores, respectivamente, de 0,000m e 0,001m. O cálculo da Matriz Variância-Covariância das observações ajustadas Σ_{L_a} é realizada aplicando-se a Equação 18, obtendo-se: Na Tabela 4 verificam-se os desníveis ajustados e suas respectivas incertezas.

Tabela 4 - Desníveis ajustados e respectivas incertezas

Observações	ΔH^a(m)	Incertezas (m)	Observações	ΔH^a(m)	Incertezas (m)
l_1^a	0,3910	±0,0078	l_{12}^a	1,1301	±0,0061
l_2^a	4,1210	±0,0089	l_{13}^a	0,3462	±0,0060
l_3^a	4,5120	±0,0088	l_{14}^a	0,6040	±0,0063
l_4^a	0,1824	±0,0060	l_{15}^a	0,1488	±0,0059
l_5^a	0,2086	±0,0069	l_{16}^a	0,7528	±0,0049
l_6^a	0,0227	±0,0067	l_{17}^a	2,0863	±0,0078
l_7^a	0,1859	±0,0060	l_{18}^a	1,2767	±0,0080
l_8^a	1,2903	±0,0060	l_{19}^a	0,6607	±0,0076
l_9^a	1,4763	±0,0048	l_{20}^a	0,9352	±0,0057
l_{10}^a	2,3766	±0,0071	l_{21}^a	47,4564	±0,0439
l_{11}^a	3,5067	±0,0063	_-	_	_

De acordo com a Tabela 4, a menor e maior incertezas foram encontradas, respectivamente, para as observações l_9^a e l_{21}^a, com valores de 0,0048 m e 0,0439 m.

A partir dos parâmetros da Equação 19, é calculado a Matriz Variância-Covariância dos parâmetros ajustados. As altitudes ajustadas e suas respectivas incertezas são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Altitudes ajustadas e suas incertezas com nível de confiança de 95%.

Referência de Nível	H^a (m)	Incertezas (m)
RN396A	47,4564	±0,0439
MRN0002	47,0654	±0,0446
MRN0001	42,9444	±0,0448
RNSB	47,2740	±0,0443
RN-P01	47,0881	±0,0446
RNE18	45,7978	±0,0445
RN-P03	43,4212	±0,0449
RN-P02	46,9278	±0,0447
RNSC	46,6700	±0,0445
RNSF	46,5212	±0,0442
RNIC	44,5838	±0,0450
RNPDA	45,8605	±0,0449

De acordo com a Tabela 5, a menor e maior incertezas foram encontrada,s respectivamente, para as altitudes RNSF e RNIC, com valores de 0,0442 m e 0,0450 m.

4 CONCLUSÕES

As Referências de Nível, implantadas e determinadas pelo método do nivelamento geométrico de alta precisão, materializam, neste estudo, pontos que servem de padrões de referência altimétrica para o nivelamento geométrico com ajustamento pelo modelo combinado com injunção relativa para a determinação de edificações prediais, dentre outros objetos, localizadas no Centro Histórico de João Pessoa.

No ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados modelo combinado com injunção relativa, não foi detectado erros grosseiros e incoerência no modelo matemático, sendo o Teste Global do Modelo aceito. A hipótese nula H_0 não foi rejeitada ao nível de significância de α = 5%; o valor calculado para a forma quadrática $V^T \cdot P \cdot V$ tem Qui-Quadrado calculado com 9 (nove) graus de liberdade, de 17,325 e está entre os valores tabelados de 2,700 e 19,023. O maior resíduo encontrado, refere-se à observação l_2, l_3, l_{12} com valor de 0,001 m e menor para a observação l_1, l_{14}, l_{21} com valor igual a zero.

As incertezas resultantes da Matriz Variância-Covariância dos resíduos foram melhores que 0,0038m, para a MVC das observações ajustadas melhores que 0,0048m e para as Matrizes Variância-Covariância das altitudes o melhor resultado foi para as Referência de Nível RNSF com 0,0442 m.

As estruturas geodésicas implantadas no Sítio Histórico da cidade de João Pessoa auxiliarão nos trabalhos que envolvem estudos de deslocamentos verticais, reconstrução tridimensional de objetos, levantamentos topográficos / geodésicos, levantamentos cadastrais, monitoramento de edificações prediais, assim como a definição de um modelo geoidal local acurado. Estas estruturas geodésicas beneficiarão estudos desenvolvidos por algumas instituições como: IFPB, UFPE, Prefeitura Municipal de João Pessoa, IPHAN e Defesa Civil. Este trabalho também contribui para a expansão do número de Referência de Nível na cidade de João Pessoa.

Cabe salientar que o conhecimento da precisão da RN396A permitiu uma maior confiabilidade das altitudes dos pontos de referência altimétrica determinados com relação ao Sistema de Referência Vertical Brasileiro. Portanto, recomenda-se a vinculação de redes altimétricas a RRNN com informação gravimétrica e precisões conhecidas.

REFERÊNCIAS

ABNT: NBR-13133. **Normas Técnicas para a Execução de Levantamentos Topográficos**. 1994.

DALMOLIN, Q. **Ajustamento por mínimos quadrados. Curitiba: Universidade Federal do Paraná.** Curso de pós-graduação em Ciências Geodésicas. Editora da UFPR, Curitiba, 2004.

FARRET, J. C.; MORAES, C.V.; SCHÜNEMANN, A.D.; SANTOS, R.S. **Uma matriz dos pesos alternativa para o ajustamento dos nivelamentos diretos.** Programa de Pós-Graduação em Geomática, Santa Maria-RS. Bol. Ciência Geodésica sec. Artigos, Curitiba, v. 12, no 1, p.65-86, 2006.

FRASER, C. S. ***Least-Squares & Network Analysis.*** Class Notes. University of Melbourne. Australia, 2003.

DE FREITAS, S. R. C.; BLITZKOW, D. Altitudes e Geopotencial. In: Bulletin N.9, **International Geoid Service (Special Issue for South America).** IgeS, Milano, 1999. Ed. F. Sansò et al., ISSN 1128-3955, p. 47-61.

GAMA, L. F.; SILVA, E. V.; SEIXAS, A**. Análise da qualidade de uma rede altimétrica local**. Revista Brasileira Geomática. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, Brasil , v.4, n. 2, p.122-131, 2016.

GAMA, L.F.; SEIXAS, A.; MORAES, J.N.; SILVA, E.V.; GALVÃO, T. B. **Controle de Qualidade de Levantamentos Cadastrais Para a Homogeneização de Parcelas Territoriais Urbanas.** Revista Brasileira de Cartografia, Nº. 67/2, p. 287-305, abril/maio. 2015.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Editora da UFPR, 1994. 319p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default.shtm. Acesso em: 2018.

IBGE. Resolução - PR nº 22, de 21-07-83 - **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos, 1983** – www.ibge.gov.br (acessado em 02/07/2011).

MATOS, A. C. O. C.; BLITZKOW, D.; GUIMARÃES, G. N.; LOBIANCO, M. C. B.; COSTA, S. M. C. **Validação do MAPGEO2010 e Comparação com Modelos do Geopotencial Recentes**. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 18, n°1, p.101-122, jan-mar, 2012.

MIKHAIL, E.; ACKERMAN, F. **Observations and Least Squares**. University Press of America, 1976. 497 p.

MIKHAIL, E. M.; GRACIE, G. **Analysis and adjustment of survey measurements**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1981.

SILVA, E. V. **Vinculação de Uma Rede Altimétrica Local ao Sistema Geodésico Brasileiro.** Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Tecnologia em Geoprocessamento, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, 2015. 19p.

SEIXAS, A.; GAMA, L. F.; MORAES, J. N.; SOUZA, A. M. B. **Estabelecimento de Padrões de Referência Altimétrica Utilizando o Nivelamento Geométrico para a Definição de Alvos Altos e Inacessíveis**. Boletim de ciência geodésica, Curitiba, v.20, n°2, p.388-410, 2014.

TEUNISSEN, P.J.G.**Quality Control and GPS**. In: Teunissen, P.J.G.; Kleusberg, A. GPS for Geodesy. 2.ed.: Springer Verlag, p. 271-318, 1998.

PROCEDIMENTOS SIMPLES DE VERIFICAÇÕES DE ERROS EM ESTAÇÕES TOTAIS

DANIEL CARNEIRO DA SILVA
LEONARDO CARLOS BARBOSA
WELISSON JOSÉ DOS SANTOS

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
carneirodasilvadaniel@gmail.com, leonardocarlos21@mail.com, welissonsantos93@gmail.com,

RESUMO - Os Medidores Eletrônicos de Distâncias (MED) embutidos nas Estações Totais (ET) apresentam erros nas suas medidas conhecidos como Constante Aditiva (ou correção de zero ou erro de índice), o Erro de Escala, o Erro Cíclico (EC) para os equipamentos que funcionam a onda eletromagnética ou erro da unidade de tempo para os que usam pulso. Por norma as ET devem ser calibradas em intervalos regulares, como dois anos, ou antes disso quando sofrerem qualquer avaria, em instalações devidamente credenciadas. No caso do Brasil apesar da fundamental importância desse cuidado é notada uma carência dessas instalações, privadas ou públicas, inclusive nas instituições de ensino de engenharia cartográfica e de agrimensura. Este trabalho mostra alguns métodos simples e resultados de suas aplicações, principalmente para o erro cíclico. Os procedimentos são discutidos no sentido de serem empregados na verificação de funcionamento adequado dos MED. Além disso as formulações matemáticas podem ser desenvolvidas em várias aplicações acadêmicas de graduação e tornam possível o entendimento da metodologia que é seguida com os procedimentos rigorosos de calibração para os alunos.

ABSTRACT - The Electronic distances meters (EDM) built into the total stations (TE) present errors in their measurements known as the additive constant (or zero correction or index error), the scale error, the cyclic error, for the equipment that use the electromagnetic wave or unit time error work for those who use pulse. Normally, TEs should be calibrated at regular intervals, such as two years, or before that, when damaged, in properly accredited facilities. In the case of Brazil, despite the fundamental importance of this care, there is a lack of such facilities, private or public, including in the teaching institutions of cartographic engineering and surveying. This work shows some simple methods and results of their applications, mainly for the cyclic error. The procedures are discussed in the sense of their jobs in verifying proper functioning of the MED. In addition the mathematical formulations that can be developed in various academic applications of graduation and make it possible to understand the methodology that is followed with the rigorous procedures of calibration for the students.

1 INTRODUÇÃO

Os Medidores Eletrônicos de Distâncias (MED) embutidos nas Estações Totais (ET) apesar de serem construídos com alta qualidade apresentam nas medições diversos erros sistemáticos e aleatórios decorrentes do próprio equipamento, da operação e das condições ambientais, que avaliados em conjunto pelo fabricante constituem a chamada precisão nominal que acompanha as especificações do mesmo. Além dessas fontes de erros os componentes eletrônicos, mecânicos e óticos, estão sujeitos, durante a utilização, a choques, avarias e envelhecimento, o que exige verificações periódicas, inclusive exigidas em normas, como por exemplo (NGS 10, 1977; MDOT, 1998; STAIGER, 2007; ACT, 2009; RÜGER, 1991) e no Brasil pela NBR 13.133 a cada 2 anos conforme o item 4.1.3.2 (ABNT, 1994): "*Os MED devem ser calibrados, no máximo, a cada dois anos, através de testes realizados em entidades oficiais e/ou universidades, sob base multipilares, de concreto, estáveis, com centragem forçada e com expedição de certificado de calibração"*.

A precisão nominal em milímetros de uma distância D, em quilômetros, obtida por um MED é dada como um desvio padrão σ expresso pela Equação 1 encontrada em Braun et al (2015).

$$\sigma = A + B.D \tag{1}$$

Nesta Equação o valor de A é fixo, em milímetros, inclui a resolução de leitura do MED, a amplitude máxima do erro de ciclo nos instrumentos a onda, erros não lineares dependentes da distância, acurácia da constante aditiva; o valor de B é dado em ppm (partes por milhão) e inclui a variação do oscilador dependente da temperatura do local e o erro máximo causado pelos passos do processamento.

Os erros comuns dos MED são a Constante Aditiva (ou correção de zero ou erro de índice), o Erro de Escala e o Erro Cíclico (EC) para os equipamentos que usam onda ou erro de tempo para os que usam pulso. No caso do EC o mesmo apenas é aplicável nos equipamentos que usam onda eletromagnética modulada (luz visível, infravermelho, laser, micro-ondas) que é o caso da maioria dos equipamentos mais antigos e que necessitam de refletor. Detalhes sobre cada um desses erros podem ser vistos em Rüger (1988) e Staiger (2007).

Além desses erros, em aplicações de alta precisão na engenharia como medições industriais, em que as distâncias são menores no intervalo 5-100, outros fatores além da alta precisão nominal do equipamento e de rigorosa base de aferição ou calibração devem ser observados Braun et al (2015). Como por exemplo, testes de estabilidade das bases de nivelamento, determinação da orientação do equipamento na centragem, número de voltas para a fixação nos parafusos, estabilidade e qualidade dos elementos dos prismas utilizados.

Quaisquer das instalações usadas para a calibração, linhas de base ou laboratório, são caras e no caso do Brasil não satisfazem às necessidades práticas exigidas pelas normas, nem a formação acadêmica nesse assunto para os engenheiros cartógrafos e agrimensores, visto que pelo conhecimento atual dos autores apenas existem esses aparatos na UFPE, USP e UFPR.

Dentro deste contexto brasileiro este trabalho sugere e apresenta alguns procedimentos simples que podem ser aplicados na determinação de erros dos MED, com certa facilidade nos cursos de engenharia de cartografia e agrimensura, de modo que os estudantes tenham contato teórico e prático com a importante atividade de calibração de um MED, além das verificações de ortogonalidade dos eixos dos equipamentos.

2. METODOLOGIA DA CALIBRAÇÃO DE MED

As calibrações de MED, como já visto, podem ser efetuadas por instalações em linhas de bases e instalações em laboratório. As características dos tipos de linhas de bases, processos de medições e detalhes das existentes no Brasil podem ser encontrados em Silva et al (2010). Sobre as instalações em laboratório visando aplicações dos equipamentos em levantamentos topográficos normais, são dados detalhes, por exemplo, em Cordini (1991), Faggion (2002) e, para aplicações de alta precisão em Braun et al (2015).

O processamento dos dados das medições com esses aparatos usa modelos matemáticos que podem incluir todos os erros, Constante Aditiva, o Erro de Escala e o Erro Cíclico (EC) como a Equação 2 vista em (SPRENT e ZWART, 1978):

$$\mathrm{Li}' + vi = (1 + k)\mathrm{Li} + \mathrm{C} + \mathrm{ECi} \tag{2}$$

Em que: Li' = distância da seção i medida pelo MED a ser calibrado;
vi = resíduo da medição i;
(1+k) = fator de escala do instrumento;
Li = distância aceita para a seção i;
C = constante zero
A = amplitude do erro cíclico
li = parte fracionária da unidade de medida dada por:

$$\ell.i = \mathrm{Li} - \lambda \ .Int\left(\frac{\mathrm{Li}}{\lambda}\right) \tag{3}$$

λ = comprimento da onda da medida da leitura fina

O erro cíclico (EC) tem a forma senoidal e se repete a cada onda modulada (RÜGER, 1988; JEYAPALAN ,1984) de comprimento λ, sendo que a metade dessa onda λ/2 é chamada de unidade de medida (*unit lenght*) e deve ser conhecida para fins de calibração (Office of Surveyor-General Victoria, 2017).
O termo de correção do Ec de cada medição é dado por:

$$Ec_i = A.sen.2.\pi.\left(\frac{li + p}{\lambda}\right) = A.sen\left(\frac{2.\pi.li}{\lambda} + \frac{2.\pi.p}{\lambda}\right) \tag{4}$$

Fazendo:

$$\left(\frac{2.\pi.li}{\lambda}\right) = \theta i \quad e \quad \left(\frac{2.\pi.p}{\lambda}\right) = \theta o \tag{5}$$

Desenvolvendo em série de Fourier a composição de (4) e (5) e usando apenas os três primeiros termos o erro cíclico pode ser modelado por harmônicos e fica:

$$Ec_i = a_1 cos\theta i + a_2 cos2\theta i + a_3 cos3\theta i + b_1 sen\theta i + b_2 sen2\theta i + b_3 sen3\theta i \tag{6}$$

O valor de Eci pode ser considerado igual ao resíduo de Li, após o ajustamento das medições para determinar o erro de escala e constante aditiva, e os termos θi são conhecidos e facilmente calculados, faltando determinar os coeficientes a_1, a_2, a_3, b_1, b_2 e b_3 pelo MMQ. As amplitudes An (n=1 a 3) de cada componente do harmônico e os ângulos são dados respectivamente pelas equações 7 e 8:

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \tag{7}$$

$$\theta_n = arctg\left(\frac{b_n}{an}\right) \tag{8}$$

O primeiro harmônico foi usado por Gripp Junior (1986), Cordini (1991), Neto (1990), Faggion (2002) e Barbosa (2009) na forma linearizada, os dois primeiros são usados em Landgate (2009), Klinge (2007) e ACT (2009) e quatro harmônicos por Rüger (1991). A forma linearizada é mais simples de efetuar o ajustamento pelo MMQ, dada pela Equação 9:

$$Ec_1 = V_i + P_i X + Q_i Y \tag{9}$$

Em que: $P_i = sen\theta_i$
$Q_i = cos\theta_i$
$X = A.cos\theta_0$
$Y = A.sen\theta_0$

2.1 Procedimentos Simples de Avaliação dos Erros dos MED

Os procedimentos rigorosos de calibração usam linhas bases devidamente projetadas e construídas ou instalações de laboratório. Exemplos de bases de calibração construídas em laboratórios podem ser vistos na UFPR, conforme descrito em Faggion et al (2008) e no Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE. Outros detalhes acerca das bases existentes no Brasil são apresentados em Silva et al (2010).

A partir das medições realizadas nas instalações apropriadas, uso de modelos matemáticos como da Equação 2 e com observações abundantes os diversos erros são facilmente determinados em ajustamento pelo MMQ (Método dos Mínimos Quadrados). Os procedimentos detalhados neste trabalho foram e têm sido executados como atividades de aulas da disciplina Instrumentos de Medição do Curso de engenharia cartográfica da UFPE. Como salientado o objetivo dos mesmos foi realizar operações em campo que reproduzissem, pelo menos em parte, os estudos teóricos que envolvem a calibração de MED, quanto a determinação da Constante Aditiva, Erro de Escala e Erro Cíclico.

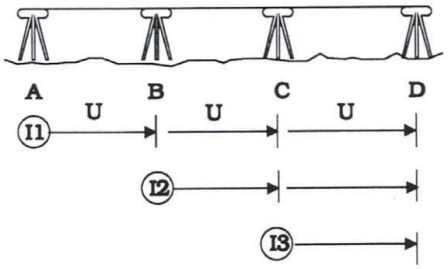
2.2 Determinação da Constante aditiva.

A constante aditiva é determinada para um conjunto específico de MED + Prisma e corresponde a soma das diferenças entre os dois eixos verticais com seus centros, eletrônico e de reflexão, do MED e prisma respectivamente. Mesmo para os prismas com constante zero pode existir uma diferença no MED.

Um procedimento simples que fornece a constante aditiva usado na prática é dado em (STAIGER, 2007). Uma série de quatro tripés distribuídos em distâncias como 10m (Figura 1) com as posições indicadas por A, B, C e D e seis medições dos segmentos AB, AC, AD, BC, BD e CD fornecerão a constante aditiva com o valor médio de c obtido com os cálculos a seguir:

$$AB+BC+CD-AD=-2c \quad (10)$$
$$AB+BD-AD=-c \quad (11)$$
$$AC+CD-AD=-c \quad (12)$$

Figura 1 - Disposição de tripés para uma base provisória para a determinação da constante aditiva.



Fonte: Rüger (1988)

2.3 Determinação do Erro de Escala

O erro de escala (EE) corresponde à diferença entre a distância real entre as estações e a medida pelo MED e está associado à medição linear do instrumento e às condições atmosféricas. Neste caso a maior dificuldade está no conhecimento da distância real que deve ser determinada anteriormente com instrumentos de altíssima precisão, não disponíveis no Brasil. Nos países onde existem linhas de bases, as distâncias são conhecidas e o erro de escala é facilmente obtido seguindo os procedimentos de medição, como os explicados em (SILVA et al, 2010)

No entanto a verificação da escala de ajuste do MED pode ser facilmente trabalhada nas aulas. A variação da escala pela diferença de temperatura e pressão de ajuste do equipamento na fábrica, quase sempre 21ºc e 1013,15 hPa ou 1013,15 mbar. Assim uma variação um grau de temperatura ou de 3mBar na pressão provoca um erro de 1ppm (RÜEGER, 1988). Para curtas distâncias com equipamentos de precisão interna de +- 5mm um erro de temperatura de 10º causa para 100m no máximo 1mm de erro, que pode ser negligenciado para aplicações rotineiras, mas não nas de alta precisão.

O ajuste da escala nos MED depende do modelo, que variam entre ppm, escala propriamente dita e temperatura e pressão. Por exemplo, o valor de 5ppm (5mm/1 km) equivale a escala 1,000005. Em alguns equipamentos ao se alterar a temperatura é alterada a escala automaticamente. Nas Figuras 2a e 2b estão exemplos dos displays da ET Trimble 3320 e Wild TC 500.

Figura 2 – Display Et. Trimble 3320 (a), Display Et. TC 500 (b)

(a) (b)

Devem ser verificados esses ajustes antes de qualquer trabalho com um MED, principalmente nos ambientes de aulas onde esses valores podem ser alterados inadvertidamente pelos alunos, com visto na Figura 2a, em que a escala estava com o valor irreal de 1,003359, ou seja 3,359 metros de erro em um quilômetro. Caso não se não disponha dos dados corretos de temperatura e pressão recomenda-se deixar os ajustes de fábrica.

Um método prático de conferência da escala, usado por profissionais cuidadosos que é o de repetir rotineiramente uma ou mais medições de distâncias, a partir de uma estação de centragem forçada, facilmente construída com um parafuso afixado numa base como pilar ou muro. As distâncias para os alvos não devem apresentar diferenças superiores ao estimado pela fórmula de precisão nominal dado pela Equação (1).

2.4 Determinação do Erro Cíclico

A forma de determinação mais rigorosa do EC é com medições especiais usando um trilho, com distâncias precisamente conhecidas, em laboratório, ou campo, como descrito em Cordini (1991), Faggion (2001), Staiger (2007) e Marin (2002). A obtenção do EC com as linhas de base não é o mais indicado porque na sua maioria foram construídas propositadamente com intervalos entre os pilares que devem por si eliminar o erro cíclico.

O gráfico dos resíduos é uma forma simples e segura de detecção do EC, conforme descrito em (SPRENT e ZWART, 1978; SHWENDENER, 1972). Esses gráficos são obtidos após ajustamentos que definiram antes a constante aditiva e erro de escala, mas também podem indicar erros sistemáticos presentes nas medições, além do próprio EC.

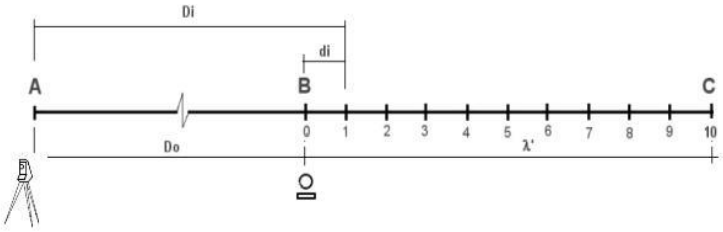
Um dos métodos de medições aplicados nesse trabalho é o mesmo adotado por Silva et al (201) que segue os procedimentos dados por Rüger (1998) e Kealy (2001), que consiste no deslocamento gradual de um prisma sobre uma trena de aço devidamente presa e esticada sobre uma superfície horizontal de um muro (Figura 3). Na Figura 4 está um exemplo desse método para obter o EC de MED com comprimento de onda de 10m, subdividido em espaços iguais entre 0 e 10. No caso de outro comprimento de onda também devem existir as subdivisões.

O EC pode ser obtido graficamente ou calculado usando a Equação (2) com um, dois ou três harmônicos, ou a partir dos resíduos obtidos com a Equação (13). A primeira medição é para o ponto B, que fornece a distância Do. Em seguida o refletor é deslocado para as outras marcas com o intervalo conhecido di e são efetuadas as leituras Di com o MED. O erro cíclico Eci para cada observação i será (EMENIKE, 1982):

$$Eci=Di-Do-di \tag{13}$$

Figura 3 - Prisma com suporte para deslocamento sobre a trena

Figura 4 - Esquema de distribuição das estações a determinação do EC.



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os experimentos executados para este trabalho para a determinação do EC reproduzem basicamente os mostrados em Silva et al (2010) havendo diferenças na aquisição das medições necessárias. O objetivo principal não é que os procedimentos devem ser simples e rápidos de modo a serem adequados ao ensino. No trabalho todo os fatores que influem nos resultados são discutidos e de alguma forma foram utilizados em alguma etapa dos os processamentos realizados.

3.1 Experimento 1

Neste caso a medição para o ponto inicial não seguiu a recomendação de que a distância seja múltipla do comprimento de onda do equipamento com o objetivo de verificar se o programa de ajustamento é capaz de obter o EC corretamente. Em resumo foi executado o seguinte:

- Iniciar em distância qualquer acima de 50m;
- Repetir as medições três séries ou mais;
- Obter a média das três medições;
- Efetuar o cálculo do EC de cada medição;
- Reordenar os dados para começar de múltiplo da unidade de medida.

Os resultados das medições com o Wild TC 500, comprimento de onda de 3m, na data 04/05/2018 são resumidos na Tabela 1. Na coluna *Dist ref* estão as distâncias precisas entre as estações; na coluna *D med* a distância obtida com o MED; na coluna *EC* o erro cíclico em cada estação obtido com a Equação (13) e na coluna *Reorg* os valores deslocados de modo a que o Ec reflita a curva a partir do início aproximado de uma onda. No exemplo da Tabela 1 o início da curva

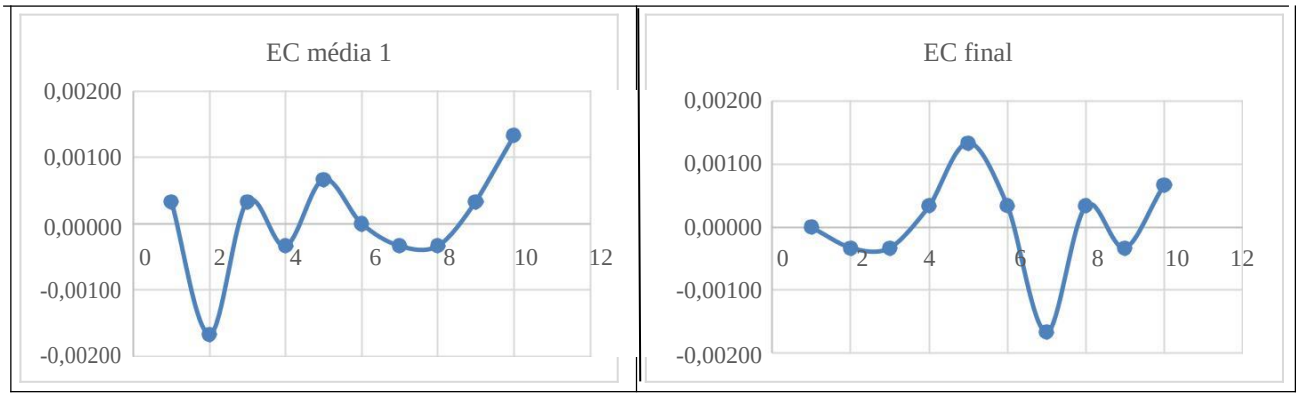
não é em 113,6, mas na distância 115,1 marcada em negrito, então as linhas dessa medida até a última passam para a primeira posição.

Tabela 1 - EC do TC 500 medição em 04/05/2018.

1-Dist ref	2-D med	3-EC	5- Reorg
0.3	113.6	0.00033	***0.00000***
0.6	113.9	-0.00167	-0.00033
0.9	114.2	0.00033	-0.00033
1.2	114.5	-0.00033	0.00033
1.5	114.8	0.00067	0.00133
1.8	***115.1***	***0.00000***	0.00033
2.1	115.4	-0.00033	-0.00167
2.4	115.7	-0.00033	0.00033
2.7	116.0	0.00033	-0.00033
3.0	116.3	0.00133	0.00067

Com os dados da Tabela 1 foram produzidos os gráficos da Figura 5. Note-se que as curvas não têm a forma aproximada de uma senoide como o esperado. As diferenças que ocorrem são devido a não exata colocação do prisma sobre a trena, mesmo usando uma lupa. Com unidades de comprimentos curtas como desse equipamento, com 3m, o EC deve ser mesmo pequeno.

Figura 5 - Gráfico do EC com dados na sequência das medições (a) e Gráfico do EC com dados reorganizados (b)



(a) (b)

Com os dados da Tabela 1, coluna 5, foram efetuados ajustamentos pelo MMQ com a Equação 2 com um, dois e três harmônicos, em programas em MatLab, cujos resultados estão na Tabela 2 e os gráficos na Figura 6. Após obtidas as variáveis ajustadas as amplitudes (Amp) e ângulos teta foram calculados com as Equações 7 e 8, respectivamente.

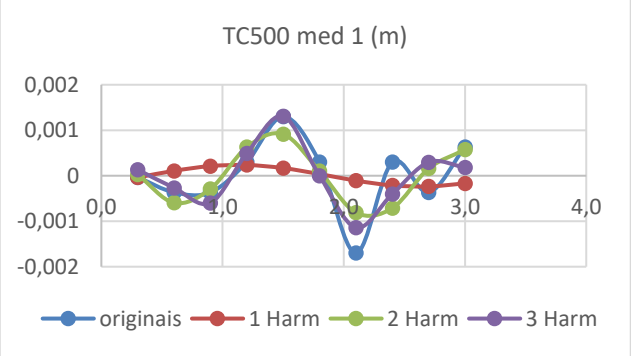
Comparando-se os valores da Tabela 2, da amplitude e teta com um harmônico, percebe-se que os valores são iguais aos com dois e três harmônicos. O mesmo acontece com os valores do harmônico 2 na coluna seguinte do harmônico 3. O EC máximo corresponde ao valor da amplitude e é melhor avaliado adotando os três harmônicos que também refletem uma melhor modelagem do EC, conforme é mostrado na Figura 6 em que as curvas com dois e três se aproximam mais dos dados originais na curva em azul.

Na Figura 6 apenas a curva com um harmônico (1 Harm) é aproximada a uma senoide, mas o valor da amplitude está muito pequeno. É evidente que existem erros sistemáticos nos dados, que não foi possível identificar neste momento do trabalho com os recursos disponíveis, mas é um alerta para que sejam tomados maiores cuidados em todas as etapas das medições.

Tabela 2. Resultados do EC com Matlab para o TC 500 unidade de 3m, medição em 04/05/2018

1 harmônico	**2 harmônicos**	**3 harmônicos**
Valores de X, Y	Variáveis	Variáveis
0.0001681375	0.0001681375	0.0001681375
-0.0001685786	-0.0001685786	-0.0001685786
	-0.0001723444	-0.0001723444
	0.0007440019	0.0007440019
		-0.0000171691
		-0.0003944214
EC: Amp Teta		
Harmônico 1: Amp1 Teta1	Harmônico 1: Amp1 Teta1	Harmônico 1: Amp1 Teta1
0.0002381	0.0002381	0.0002381
-0.7867080	-0.7867080	-0.7867080
	Harmônico 2: Amp2 Teta2	Harmônico 2: Amp2 Teta2
	0.0007637	0.0007637
	-1.3431661	-1.3431661
		Harmônico 3: Amp3 Teta3
		0.0003948
		1.5272940

Figura 6. Gráfico do EC para o TC 500 de medição em 04/05/2018



A variação do EC pode ser calculada com a Equação 6 ou medida no gráfico da Figura 6, cujos valores que variam entre 0.001 m e -0.001 m e estão abaixo dos valores limites como 5mm (Office Of Surveyor-General Victoria, 2017).

Os mesmos procedimentos foram repetidos com a ET Trimble 3305 com unidade de comprimento de 10m. Os valores medidos e resultados do cálculo do EC estão na Tabela 3. Os últimos três valores do EC foram reposicionados para que tivessem início em múltiplo 10m, (identificados pela cor cinza nas duas colunas). Os resultados do programa em Matlab estão apenas com os dados de três harmônicos na Tabela 4, visto que os valores dos harmônicos 1 e 2 estão incluídos em gráficos na Figura 7.

Tabela 3. Processamento para o Trimble 3305 DR

(continua)

1-Dist ref (m)	**2-D med (m)**	**3-EC (m)**	**5- Reorg (m)**
	113.343		
1	114.343	-0.00050	-0.00033
2	115.341	0.00133	-0.00017
3	116.343	0.00050	0.00000
4	117.342	0.00067	-0.00050
5	118.342	0.00083	0.00133
6	119.343	-0.00033	0.00050
7	120.343	-0.00017	0.00067

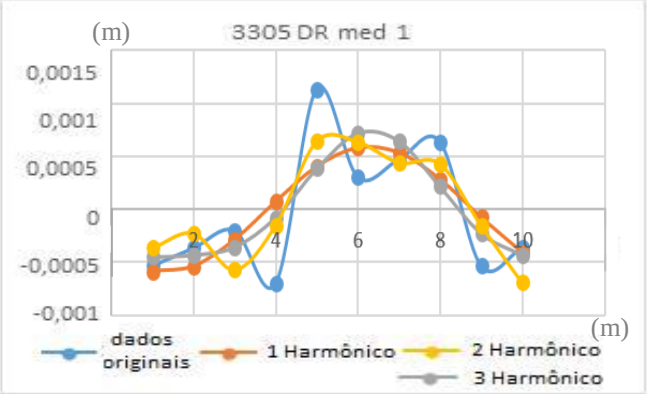
(conclusão)

1-Dist ref (m)	2-D med (m)	3-EC (m)	5- Reorg (m)
8	121.343	-0.00033	0.00083
9	122.343	-0.00017	-0.00033
10	123.343	0.00000	-0.00017

Tabela 4. Resultados do EC para o Trimble 3305 DR com onda de 10m, medição em 04/05/2018

3 Harmônicos / Variáveis (m)	Harmônico 1: Amp1 Teta1 (m)	Harmônico 2: Amp2 Teta2 (m)	Harmônico 3: Amp3 Teta3 (m)
-0.0004343585	0.0005957	0.0001528	0.0002587
-0.0004076650	0.7537072	-0.1550550	-1.5487090
0.0001509501			
-0.0000235950			
0.0000057142			
-0.0002586685			

Figura 7. Gráfico do EC para o Trimble 33050 de medição em 04/05/2018



As curvas do EC para o Trimble 3305 estão com o formato esperado de meia senoide, mesmo com alguns dados originais bem fora da curva. Na maioria das vezes em que esse método foi utilizado em aulas práticas com outros equipamentos desse modelo foram obtidas curvas muito bem aderentes a curva senoidal esperada. Muitas dessas medições usaram a onda modulada completa de 20m, sendo que aqui foi usada a meia onda, de 10m.

3.2 Experimento 2

Foram realizadas medições no dia 18/06/2018 apenas com o TC 500 com procedimento diferente do anterior. Agora as medições são sobre estações de centragem forçada e com medições em PD e PI. A centragem forçada permite que medições sejam repetidas, o que foi feito três vezes, e que garante melhor confiabilidade na média das medições. As medições em PD e PI tem o objetivo de confirmar fato já observado antes que elas podem anular o EC.

Para isso foram implantados 11 parafusos espaçados em cerca de 30 cm sobre um muro. Os parafusos de ferro com a rosca do prisma com 10cm de comprimento foram soldados em uma cruz de aço de 3mm e cimentados sobre o muro de alvenaria. Durante as medições vários cuidados devem ser observados ainda na construção: a) a verticalidade de cada parafuso (porque mesmo pequenas inclinações tornam o plano vertical do prisma também inclinados; b) o nivelamento de modo que todas as cabeças tenham a mesma cota; c) devem ser alinhados o melhor possível. As diferenças de alinhamento e altura interferem nas distâncias entre os parafusos em comparação com a distância medida pelo MED ou ET.

Como o TC-500 tem onda de 3m, a distância inicial foi de 60m, portanto medida múltipla de 3m, para a primeira estação com o nome de piquete 1; e com mais um afastamento de 1,5m referente a meio comprimento de onda, totalizando 61,5m, com o nome de piquete 2. A distância de referência entre os parafusos foi obtida pela média de todas as medições, com 60 e 61,5 m iniciais e PD e PI.

Os resultados das medições para PD e PI com 60 m estão na Tabela 5. Neste caso não será necessário a reorganização dos dados pois teoricamente já estão na posição correta. O gráfico da Figura 8 mostra claramente que as medições em PD e PI têm resíduos de sinal contrário, de modo que a média das duas praticamente anula o EC. Devido a isso neste experimento as distâncias entre os parafusos foram obtidas da média de todas as medições. A distância entre os parafusos também pode ser medida com paquímetro, o que forneceria mais observações a serem ajustadas e dá as distâncias de referência maior confiabilidade.

Tabela 5. Resultados das medições no dia 18/06/2018 para o piquete 1

PD			**PI**	
1-Dist ref (m)	**2-D med (m)**	**3-EC (m)**	**2-D med (m)**	**3-EC (m)**
	60.099		60.098	
0.2975	60.396	-0.00017	60.396	-0.00017
0.6062	60.704	0.00053	60.705	-0.00080
0.8974	60.995	0.00073	60.996	-0.00093
1.2082	61.307	0.00020	61.307	-0.00047
1.4941	61.593	0.00010	61.593	-0.00057
1.8065	61.905	0.00017	61.905	-0.00050
2.1158	62.215	-0.00020	62.214	0.00013
2.4024	62.501	0.00007	62.501	-0.00093
2.7063	62.805	-0.00003	62.805	-0.00037
3.0156	63.114	0.00027	63.114	-0.00073

Figura 8 – EC do Segundo experimento TC 500

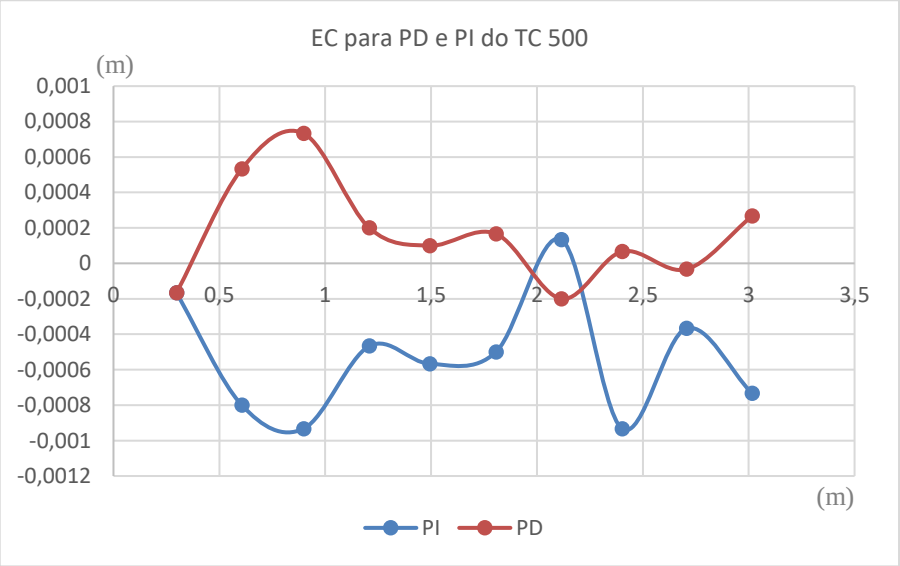
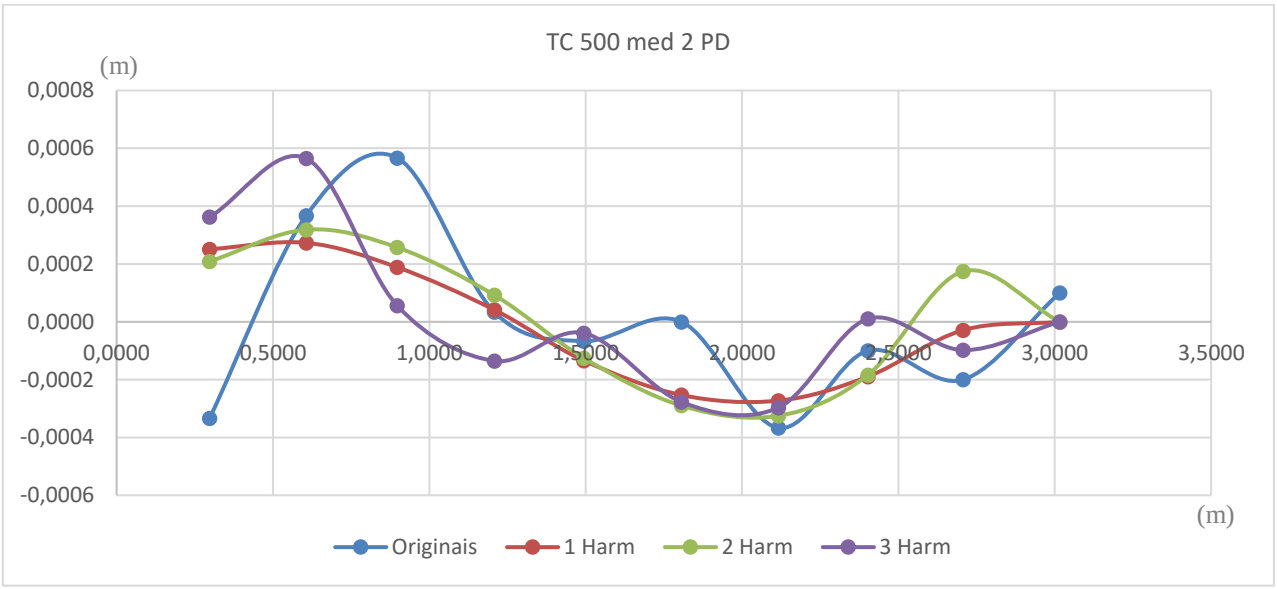


Tabela 6. Resultados do EC com Matlab para o TC-500, medição dia 18/06/2018 PD

3 Harmônicos / Variáveis (m)	**Harmônico 1: Amp1 Teta1 (m)**	**Harmônico 2: Amp2 Teta2 (m)**	**Harmônico 3: Amp3 Teta3 (m)**
0.0002721703	0.0002747	0.0001320	0.0001972
-0.0000373388	-0.1363379	0.9634783	-0.3223144
-0.0000753440			
-0.0001084189			
-0.0001870652			
0.0000624723			

Figura 9 – Segundo experimento Et. TC 500 com as médias PD



As curvas observadas na Figura 9 do TC 500 também não estão no formato esperado de metade de senoide como no experimento anterior com o mesmo equipamento. Os motivos podem ser vários, desde pequenos erros durante as medições, como problemas de funcionamento, já que esse equipamento já tem cerca de 25 anos. Como o EC aumenta com o envelhecimento dos circuitos esperava-se que esse equipamento apresentasse um EC significativo, mas ficou na faixa de $\pm$1mm.

Os demais resultados para as medições de PI, e das medições com 61,5m, não são mostrados por questão de espaço do artigo.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou alguns métodos simples e de baixo custo que permitem avaliar os erros dos MED, principalmente do erro cíclico, para fins de ensino e aprendizado nos cursos de graduação de engenharia cartográfica e de agrimensura. As medições necessárias aos experimentos são de fácil execução, mas exigem absoluto cuidado e rigor dos operadores. Com ajuda de um programa de processamento os parâmetros obtidos permitem gerar gráficos e serem objeto de análise para a descoberta de erros sistemáticos e de uso de criatividade para melhorar as precisões e repetibilidade das medições.

Foram realizados testes com dois equipamentos, um com unidade de medida de 3m e outro com unidade de 10. Para o equipamento de 3 m os gráficos não tiveram a forma esperada, o que foi melhor conseguido com o de 10m.

Cada um dos experimentos realizados apresenta vantagens e desvantagens sendo o mais importante para o sucesso que sejam observados cuidados com o perfeito alinhamento e nivelamento do MED com os prismas, uso de lupa para marcar com melhor acuidade os traços da trena e posição do prisma e repetição de séries.

5. REFERÊNCIAS

ABNT**. NBR 13133 Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro: ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. 35p. il. 1994.

ACT. **EDM Calibration Handbook v7**. Camberra, Austrália: ACT Planning & Land Authority. 23 p. 2009.

BARBOSA, F., S. **A Escala do Basímetro Linear**. Dissertação de mestrado. Recife: PPGCGTG, UFPE.
112p. 2009.

BRAUN, J.; Stroner, M; Urban, R; Dvotacek F. **Suppression of Systematic Errors of Electronic Distance Meters for Measurement of Short Distances**. Sensors v. 8, pg 19264-19301. 2015.

CORDINI, J. **Determinação do Erro Cíclico em Distanciômetros Eletrônicos** . Dissertação de mestrado. Curitiba: CPGCG, UFPR. 138 p. 1991.

EMENIKE, E., N. **A simplified Approach to Accurate**. **EDM Instrument Calibration**. Survey Review. V. 26 n. 204. p. 273-278. 1982.

FAGGION, Pedro Luis; Silva, Tarcisio F., Andolfato Silvio H. D; Santos, Daniel P. dos. **Calibração de Mira Horizontal de Invar e sua Aplicação na Determinação de Distâncias com Alta Precisão**. In: II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife: Decart, UFPE. 2008.

GRIPP Junior, J. **Calibração de Distanciômetros com Medidas de Campo**. Dissertação de M estrado. Curitiba: CPGCG, UFPR. 115 p. 1986.

JEYAPALAN, K. **Final Report Development of EDMI Calibration Baseline** . Ames, Iowa, EUA: Department of Civil Engineering, Iowa State University. 114 p. 1984.

KEALY, A**. Electromagnetic Distance Measurement (edm)**. Melbourne: Department od Geomatics, The University of Melbourne, Australia. 2001. Disponível em http://www.geom.unimelb.edu.au/kealyal/edms/edm-

KLINGE, J. **Baseline Version 5.5 Calibration of EDM Instruments and Baselines**. Western Autralian Land Information Authority. 86 p. 2007.

LANDGATE. **Calibration of Electronic Distance Measurement Instruments**. Western Australian Land Information Authority. 6 p. 2009. Disponível em http://www.landgate.wa.gov.au/corporate.nsf/web/EDM+ Calibration+Software. Acessado em 10/02/2010.

MARIN, D. **Instrumention and Calibration at the ESRF** In: Proceedings of the 7 International Worshop on Accelerator Aligment. 2002. Disponível em www.slac.stanford.edu/econf/C0211115/papers/018.pdf. Acessado em 12/02/2010.

MDOT. **MDOT Survey Manual** . Mississipi OT 10/1/98. Mississipi: Department of Transportation. 164 p. 1998.

NETTO, P., N. **Calibração de Medidores Eletrônicos de Distância: Construção de uma base Multipilar na USP e Metodologia de Aferição.** Tese de Doutorado. São Paulo: Escola Politécnica, USP. 185 p. 1990.

OFFICE OF SURVEYOR-GENERAL VICTORIA. **EDM Calibration Handbook**. Victoria, Melbourne, Auastrália: -General Victoria, Land Use Victoria, Department of Environment, Land, Water and Planning. 28 p.

il. 2017. Disponível em:
https://www.propertyandlandtitles.vic.gov.au/__data/assets/word_doc/0022/92047/EDM-Calibration-Handbook-Dec-2017.docx

RÜEGER, J. M**. Introduction to Electronic Distance Measurement**. Kensington, NSW, Austrália: The University of New Sout Wales, School of Surveying. 132 p. 1988.

Office of Surveyor

SILVA, Daniel C.; Borborema, Ana C. B. A.; Neto, José A. B. **As linhas de base do Brasil e determinação de erro cíclico em MED**. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife. 2010.

SCHWENDENER, H. R. **Electronic Distance for Short Ranges: Accuracy and Checking Procedures**. Survey Review. V. 21, n. 164. p. 273-281. 1972.

SPRENT, A; Zwart, P. R. **E.D.M. Calibration–A Scenario**. The Australian Surveyor. V. 29, n. 3. p. 157- 169. 1978.

STAIGER, R. (ed). **FIG Nº 9 1994 A technical Momograph -Recommended Procedures for Routine Checks of Electro-Optical Distance Meters**. 2007. 14 p. 2007.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

REDE GEODÉSICA DE REFERÊNCIA COSTEIRA (RGRC) COMO INSUMO PARA INTEGRAÇÃO DE ALTITUDES E PROFUNDIDADES: RESULTADOS PRELIMINARES

SALOMÃO SOARES[1]
EVERTON GOMES DOS SANTOS [1]
ROBERTO TEIXEIRA LUZ[1]

[1]Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE
Coordenação de Geodésia - CGED
Gerência de Redes de Referência Vertical do SGB, Rio de Janeiro, RJ
salomao.soares@ibge.gov.br, everton.santos@ibge.gov.br, roberto.luz@ibge.gov.br

RESUMO – A Rede Geodésica de Referência Costeira **(**RGRC) é o resultado mais visível dos esforços do IBGE em apoio ao estudo dos impactos das mudanças climáticas sobre o nível do mar na zona costeira brasileira. Esses esforços vêm sendo desenvolvidos no âmbito do Projeto Estratégico "Definição de metodologia para estabelecimento da infraestrutura geodésica terrestre necessária à integração dos sistemas altimétricos e batimétricos de referência". O objetivo desse artigo é apresentar a metodologia, as inovações e os resultados preliminares para o estabelecimento de uma rede geodésica que servirá como um dos insumos principais aos estudos de integração de altitudes e profundidades, no contexto das atividades do respectivo Comitê Técnico da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR). Foram elaborados e construídos marcos geodésicos robustos e, depois de estabelecidos os circuitos, esses foram medidos por nivelamento geométrico científico. Os resultados indicam que os marcos construídos não apresentam movimentação vertical significativa e que a maioria dos circuitos e suas seções têm precisão melhor que $1\text{mm}\sqrt{km}$. Além da rede de nivelamento, a instalação das estações meteomaregráfica (RMPG) e GNSS (RBMC) e a implantação de uma densa malha gravimétrica contribuirão para o monitoramento e integração de dados na região costeira e o refinamento do modelo geoidal no litoral.

ABSTRACT – The Coastal Geodetic Reference Network (RGRC) is the most visible result of IBGE's efforts to support the study of the climate change impacts on sea level along the Brazilian coastal zone. These efforts have been developed within the framework of the Strategic Project "Definition of a methodology for the establishment of the terrestrial geodetic infrastructure for the integration of altimetric and bathymetric reference systems". The objective of this paper is to present the methodology, innovations and preliminary results for the establishment of a geodetic network that will serve as one of the main inputs to the studies for the integration of heights and depths, within a dedicated Technical Committee of the National Cartography Commission (CONCAR). Robust geodetic benchmarks were elaborated and built and, after the establishment of leveling loops, they were measured by scientific geodetic leveling. The results indicate that the benchmarks did not present significant vertical movement and most of the leveling loops and sections have precision better than $1\text{mm}\sqrt{s}(\text{km})$. Besides the leveling network, the installation of the tide gauge (RMPG) and GNSS (RBMC) stations together with a dense gravimetric grid will contribute to the monitoring and integration of data in the coastal region and the refinement of the geoid model in the coast.

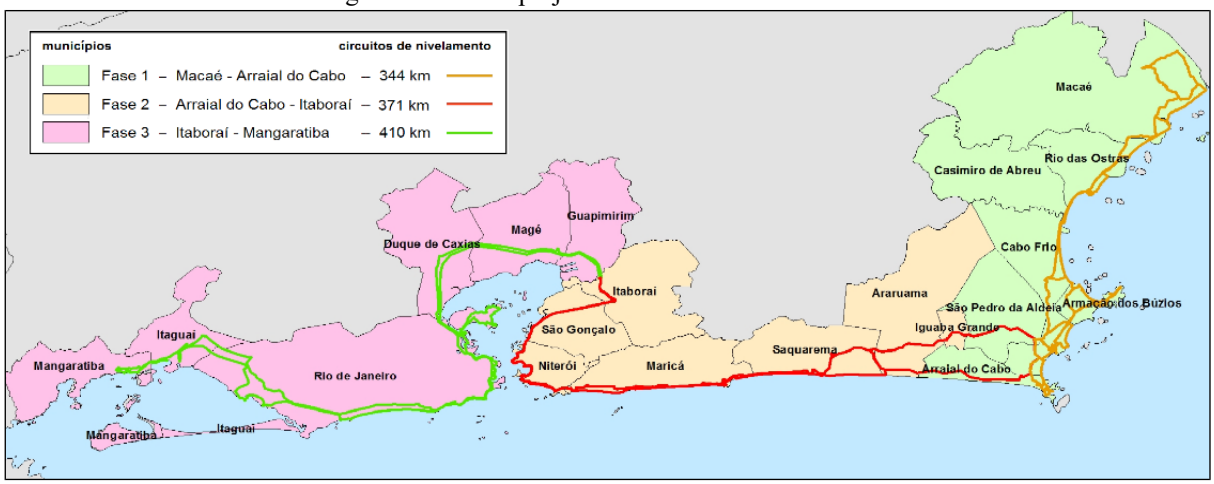
1 INTRODUÇÃO

O IBGE iniciou em 2017 um Projeto-piloto no litoral do Rio de Janeiro, entre os municípios de Macaé e Mangaratiba (Figura 1), denominado Rede Geodésica de Referência Costeira (RGRC), para apoio às discussões sobre a vinculação entre os referenciais verticais utilizados na zona costeira, em desenvolvimento no âmbito do Comitê de Integração das Componentes Verticais Terrestre e Marítima (CICVTM) da CONCAR. A região de estudo é um extrato dos 9000 km de linha de costa do país, povoada por 1/5 dos mais de 50 milhões de habitantes que vivem nessa área, recebendo, assim, uma enorme pressão socioeconômica e ambiental. Diante de tal cenário, o IBGE vem coordenando esforços na implantação da RGRC como piloto para a definição, avaliação e consolidação de especificações técnicas

necessárias ao estabelecimento da rede ao longo de todo o litoral brasileiro. Isso posto, o estabelecimento da RGRC servirá como subsídio à materialização do futuro sistema costeiro de referências verticais (SCRV), vinculando os níveis de referência marítimos aos sistemas de altitudes terrestres, com resolução e precisão que atendam às atuais e futuras necessidades da sociedade, ou seja, refinando o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) de modo a qualificá-lo como base para a correta avaliação de riscos de inundação e erosão costeira em decorrência das mudanças climáticas e eventos extremos.

O objetivo desse artigo é apresentar as especificações técnicas utilizadas para o estabelecimento da RGRC, o andamento das atividades até o momento e, por fim, discutir os resultados preliminares da construção de estações geodésicas aprimoradas e do nivelamento geométrico científico em larga escala realizados na fase 1.

Figura 1: Área do projeto RGRC e desenvolvimento da rede



Fonte: Os autores

1.1 Infraestrutura Geodésica Terrestre

A infraestrutura geodésica terrestre será resultado do caráter piloto do Projeto para testar metodologias, a fim de desenvolver especificações padronizadas permeando os tópicos de estações geodésicas, nivelamento geométrico científico, gravimetria e ampliação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC) e da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG).

1.1.1 Estações Geodésicas

IBGE (2008) contém as normas para implantação padronizada de marcos geodésicos. Nelas, pode-se identificar todos os tipos de estações geodésicas e suas dimensões, seja chapa cravada, marco ou pilar com chapa no topo e pilares de concreto com dispositivos de centragem forçada (DCF).

A implantação de estações geodésicas representa um grande investimento de recursos para o IBGE, e uma vez implantadas, essas estações atendem a um grande leque de atividades. Consequentemente, sua preservação é tida como necessária, amparada inclusive pelo Capítulo VII do Decreto-Lei n° 243/67, com implicações civis (Artigo 1°, item VIII da Lei n° 7347/85) e penais (Artigo 163 da Lei n° 2848/40), sendo construídas, sempre que possível, em locais onde são menos propensas a serem abaladas. Entretanto, o índice elevado de perdas devido a destruição, geralmente causada por manutenção, reconstrução e ampliação de rodovias e ferrovias, desenvolvimento urbano etc, acaba onerando o patrimônio público e o desenvolvimento do SGB. O apoio e colaboração do ramo empresarial público e privado (concessionárias, DER, DNIT, etc.) e profissionais de Engenharia não é apenas importante, mas essencial para a preservação desses elementos físicos do SGB.

Na constatação da necessidade de destruição de estações geodésicas, é fundamental a comunicação ao IBGE para que seja realizada a substituição do marco original por outro em melhor ponto, preservando assim a materialização do SGB. Em NGS (2010) encontram-se exemplos de procedimentos adotados pelo órgão geodésico norte americano, que explicita a necessidade de se desenvolver a cultura de manutenção das redes geodésicas. Em IBGE (2018) são apresentados os procedimentos operacionais para Verificação da Realidade Física (VRF) das Estações do SGB, porém a cooperação dos usuários é imprescindível para minimizar o retrabalho e, assim, garantir a existência e o uso amplo das estações geodésicas para o desenvolvimento do país.

1.1.2 Nivelamento Geométrico Científico

O Nivelamento Geométrico Científico é o resultado da combinação entre a rotina comum do nivelamento geométrico e a utilização de instrumentos calibrados, procedimentos e correções sistemáticas compatíveis com requisitos de alta precisão (LUZ, 2008, p69).

No Brasil, para o estabelecimento e a densificação da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP), é empregado o nivelamento geométrico de alta precisão, no qual foi inicialmente utilizado, de acordo com IBGE (2017), para controle de qualidade de fechamento das seções, o valor de $4\text{mm}\sqrt{km}$ até 1990, e a partir desse ano, $3\text{mm}\sqrt{km}$. Entretanto, para trabalhos que exigem melhor precisão, é utilizada uma metodologia mais rigorosa, adotando-se controles de qualidade específicos que garantem os valores limites estabelecidos pelas Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos Associados ao SGB (IBGE, 2017). Nesse documento, o nivelamento científico é dividido em dois tipos básicos: controle geodésico de estações maregráficas e vinculação entre estações maregráficas. Apesar do referido documento especificar os procedimentos com enfoque em aplicações para atender o controle e vinculação de estações maregráficas - finalidade do IBGE -, ambos podem ser empregados em qualquer trabalho que exija precisões melhores do que $3\text{mm}\sqrt{km}$.

Dado que cuidados adicionais devam ser tomados desde o início do levantamento, esses devem ser repetidos no decorrer da atividade para minimizar ou mitigar os erros comumente associados a tal prática que , segundo Schomaker e Berry (1981), podem ser aleatórios - causados por imprevisíveis variações instrumentais, ambientais e na própria execução do nivelamento - ou sistemáticos - que são representados pelas imprecisões intrínsecas aos instrumentos utilizados nas medições ou mesmo no procedimento do nivelamento.

A literatura especializada recomenda uma série de procedimentos que visam administrar tais erros e garantir a precisão desejada no levantamento. A título de consulta, citam-se algumas referências: IBGE (2017,1983), Torge (2012), Schomaker e Berry (1981, p31), McCormac (2007) e D'Alge (1986). Resumidamente, os referidos procedimentos são:

a) comprimentos das visadas aproximadamente equidistantes e não maiores que 60m - para evitar o efeito de curvatura, de refração atmosférica e de colimação;
b) leitura das miras nas marcas inferior e superior de 0,50m e 2,80m respectivamente – para minimizar os efeitos causados pela reverberação e erro na verticalidade da mira;
c) leitura da mira na sequência ré, vante, vante, ré (RVVR) – essa condição reduz efeitos provocados pelo afundamento das miras e do nível (recalques diferenciais);
d) iniciar e concluir cada seção com a mira mestra – elimina o erro de índice;
e) adoção da média de cinco leituras consecutivas ininterruptas – traz mais fiabilidade à medição eletrônica, já que cada visada é lida dez vezes (RVVR), comparadas entre si;
f) o tempo de ocupação das estações deve ser o mais breve possível, e o local escolhido para estacionar o equipamento e as miras deve ser o mais estável possível – evita que possíveis acomodações sofridas pelo instrumental em decorrência do seu próprio peso influenciem nos resultados das observações;
g) o equipamento deve ser protegido da radiação solar direta, utilizando-se um guarda-sol próximo àquele, evitando-se a realização de medições sob condições atmosféricas adversas (chuva, ventos fortes etc). É recomendável fazer a aclimatação do equipamento às condições ambientais antes das medições – evita que a incidência lateral dos raios solares introduza uma defasagem angular na linha de visada.

O IBGE iniciou, há poucos anos, a utilização de equipamentos eletrônicos nos levantamentos geodésicos altimétricos. No caso do nivelamento científico, a utilização dos níveis eletrônicos, ou digitais, assume importância ainda maior, em função da precisão exigida por essa técnica.

Uma aplicação importante do nivelamento científico é feita sistematicamente pelo IBGE no Controle Geodésico de Estações Maregráficas (CGEM) a partir das recomendações propostas pela Comissão Oceanográfica Internacional (COI), que estabelece a precisão de $1\text{mm}\sqrt{km}$ para esse tipo de controle (IOC 2006, p31). O detalhamento do procedimento está descrito em IBGE (2010). No CGEM tem-se conseguido precisões que satisfazem o que é preconizado pela COI, sobretudo depois da adoção do nível digital. Um exemplo disso são os resultados da análise das séries históricas dos ajustamentos dos circuitos de controle de algumas estações maregráficas, que possibilitaram a identificação de possíveis abalos, recalques e soerguimentos das respectivas RRNN na ordem de décimos de milímetros por ano, como descrito em IBGE (2013, p 28-29; 2016, p 21-22).

1.1.3 RBMC, RMPG e Gravimetria

As redes ativas RBMC e RMPG e sua vinculação através do CGEM são primordiais para conexão dos referenciais verticais terrestres e marítimos, pois uma vez monitoradas as variações crustais e do nível do mar, possibilita-se estimar a variação absoluta do nível do mar, tornando-se a interface essencial para o estudo de dados

advindos das missões de altimetria por satélite. Segundo IBGE (2016), esse arranjo contribui para a modelagem da Topografia do Nível Médio do Mar ao longo da costa e também na inserção de tais informações na modelagem matemática do Problema de Valor de Contorno da Geodésia (PVCG).

O desenvolvimento da gravimetria no projeto manteve as condições essenciais descritas em IBGE (2017), a fim de prover às estações geodésicas informações necessárias para o aprimoramento do sistema de altitudes. Com isso, foram realizados, além do levantamento sobre as estações geodésicas, o levantamento em grade com estações não materializadas.

2 METODOLOGIA

A seguir, são apresentadas as metodologias adotadas no Projeto RGRC para implantação de estações geodésicas em padrão aprimorado, nivelamento geométrico científico, gravimetria em grade e ampliação de estações ativas GNSS e meteomaregráficas de acordo com os padrões da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC) e da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG).

2.1 Materialização Aprimorada de Estações Geodésicas

Neste projeto, a etapa de reconhecimento inclui contatos institucionais formais, que agregaram parcerias locais essenciais ao cumprimento dos objetivos do projeto e à preservação das estações estabelecidas. Foram enviados ofícios para diversos órgãos, e realizada uma visita precursora à área do projeto para iniciar os contatos com as prefeituras do trecho Macaé-Niterói. As agências do IBGE de Cabo Frio e Macaé da Unidade Estadual do IBGE no Rio de Janeiro (UE-RJ) foram essenciais nessa abordagem.

Os percursos selecionados para os circuitos de nivelamento refletem a diretriz de que as estações da RGRC sejam estabelecidas tão próximas quanto possível da linha de costa, muitas vezes passando por vias secundárias, fugindo do tradicional desenvolvimento da Rede de Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) por vias principais. Para a preservação dos marcos geodésicos, sempre que possível, e a partir dos acordos institucionais firmados, os mesmos foram instalados em escolas, repartições públicas e privadas, áreas de conservação ambiental etc.

Quanto à construção propriamente dita, o IBGE, partindo da norma de padronização de marcos geodésicos (IBGE, 2008), tinha como grande desafio sua aplicação na área de estudo do Projeto, pois trata-se de região arenosa, e a profundidade do marco padrão gerava dúvidas em relação a estabilidade dos mesmos. Entretanto, mudar o tipo de marco poderia gerar confusão aos usuários. A solução proposta para o Projeto foi um marco reforçado que preserva as características externas, sendo a modificação somente na parte interna da estrutura, que passou a contar com ferragens e uma profundidade de no mínimo 1,50 m, como mostra a Figura 2.

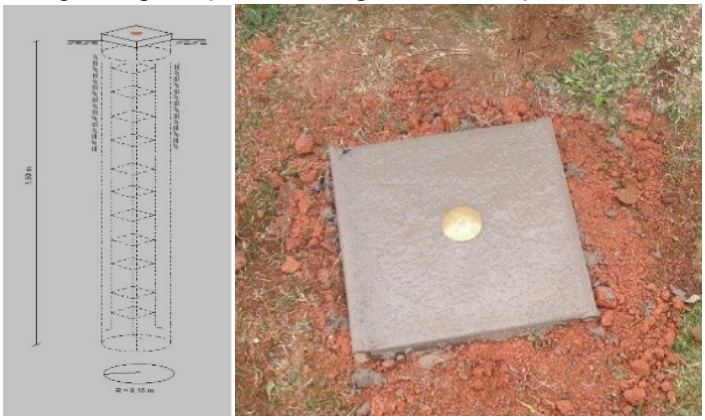
Figura 2 – Croqui e etapas da implantação de marco geodésico aprimorado

Fonte: Relatório de Atividade Geodésica (RAG) 2017 do IBGE

Na recém concluída Etapa I (Macaé – Arraial do Cabo), foram implantadas 240 RRNN de modelo reforçado. Em áreas urbanas, por se tratar de região turística do Estado, houve a necessidade de minimizar o impacto visual dos marcos geodésicos, indicada pelas próprias prefeituras. A opção era, sempre que possível, a implantação de chapas cravadas em monumentos etc, conforme tradição do IBGE, porém, em muitos casos, não era possível garantir a estabilidade das estruturas de suporte. Sendo assim, em municípios como Armação dos Búzios, a solução foi construir o mesmo tipo de estrutura do marco reforçado, entretanto, sem afloramento da cabeça tronco-piramidal, como mostra a Figura 3. Com isso, garantiu-se o mesmo nível de estabilidade alcançado nos marcos.

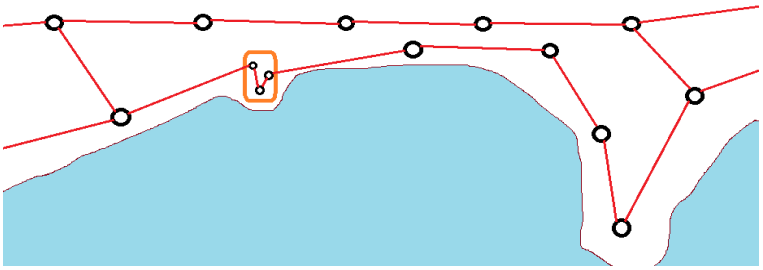
Tendo em vista a necessidade de instalação de estações geodésicas o mais próximo possível da linha de costa, a estabilidade, conforme mencionado anteriormente, ainda era motivo de dúvidas, mesmo sendo estações geodésicas com profundidades bem superiores à da norma atual. Para aprimorar o controle da estabilidade da rede e minimizar tais dúvidas, estão sendo instaladas RRNN fiduciais a cada 40km, no máximo, compostas por três DCF (Figura 4) distantes entre si de 200m a 500m, para conexão GNSS, nivelamento e gravimetria. As áreas escolhidas são afloramentos rochosos e locais que contam com proteção e pouca movimentação para evitar destruição. Esses pontos fiduciais possibilitarão o acompanhamento da evolução temporal da rede.

Figura 3 – Croqui e implantação de marco geodésico reforçado sem afloramento



Fonte: Relatório de Atividade Geodésica (RAG) 2017 do IBGE

Figura 4 – DCF implantado e disposição dos pontos fiduciais na rede



Fonte: Relatório de Atividade Geodésica (RAG) 2017 do IBGE

2.2 Medição Altimétrica de Alta Precisão Científica

A construção dos circuitos foi feita considerando um comprimento máximo de seção de 2 km e a tolerância exigida para fechamento de $2mm\sqrt{km}$ tanto para seções como para circuitos. A fim de garantir tal precisão, parâmetros de controle mais rigorosos foram adotados. Durante o desenvolvimento das etapas, alguns desses parâmetros foram modificados e testados com o objetivo de obter a melhor relação entre produção e qualidade do nivelamento, com o instrumental existente no IBGE – níveis digitais com desvio padrão melhor que 0,3 mm por km.

O erro de colimação de cada equipamento foi verificado diariamente, no início das atividades de nivelamento e também quando existiam intervalos entre as medições (manhã e tarde). Preferencialmente, nivelamento e contra-nivelamento de cada seção foram realizados em seqüência contínua, evitando-se começar e terminar a medição das seções em períodos distintos do dia ou em dias diferentes. Os locais para posicionamento das estações intermediárias de nível e miras foram escolhidos criteriosamente, de forma a evitar superfícies como asfalto, areia, charcos e outros que pudessem representar pouca estabilidade. O tempo de ocupação das estações foi, ordinariamente, o mais rápido possível, para minimizar os efeitos da acomodação devido ao peso do próprio equipamento.

Sempre antes de iniciar os trabalhos, fazia-se a aclimatação do equipamento na sombra e, em seguida, utilizava-se um guarda-sol sobre o mesmo durante todo o tempo da medição, inclusive em dias nublados, prevenindo-se os efeitos negativos do rápido aquecimento do nível. Em relação ao método de leitura, foi empregado o " ré, vante, vante, ré (RVVR)", sem mover as miras dos pontos observados. Para as leituras de mira, tomou-se a média de 3 leituras consecutivas ininterruptas, na altura acima da marca de 0,5m e abaixo de 2,8m, com aplicação automática da correção de curvatura e refração.

O comprimento máximo das visadas foi de 90m, com diminuição significativa nos casos de dificuldades de medição devido a reverberação, inclinação do terreno ou impossibilidade de leitura. É importante salientar que foi utilizada a verificação automática das tolerâncias, na operação do equipamento. As tolerâncias para a diferença das medições de duas visadas a ré e a vante e para a diferença do desnível entre medidas consecutivas (ré-vante ~ ré-vante) foram, respectivamente, de 0,0002m e 0,0004m. Esses parâmetros têm a finalidade de reduzir ou mitigar os efeitos do afundamento das miras e do próprio nível. Já para a diferença máxima tolerável entre os comprimentos das visadas de ré e vante, acumulada para a seção e por estação individual (lance), foram utilizados respectivamente os valores de 2m e 1m.

2.3 Implantação das Estações Ativas e a Gravimetria em Grade

Foram implantadas em Arraial do Cabo uma Estação RMPG (Figura 5a) e uma estação RBMC (Figura 5b). A estação meteomaregráfica é composta por dois sensores de nível do mar, sendo um radar e outro de boia e contrapeso com conversor eletrônico ("encoder"), duas antenas para transmissão de dados em tempo quase real (5 minutos), sendo uma GSM e outra para satélites GOES, além de sensores meteorológicos de temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, precipitação e pressão atmosférica. Já a estação RBMC é composta de um receptor multifrequência com capacidade para rastreio de todas as constelações de satélites GNSS existentes no momento.

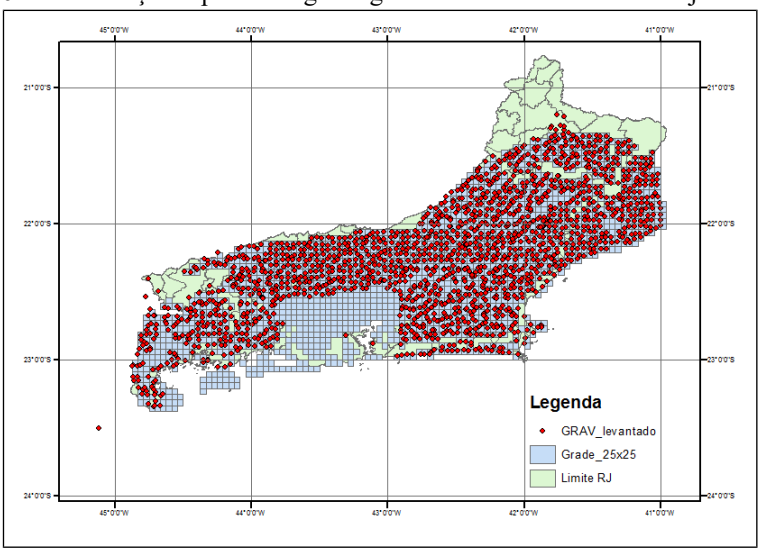
Os circuitos de controle geodésico da estação meteomaregráfica de Arraial do Cabo foram conectados à RGRC, assim como os circuitos da antiga estação maregráfica da RMPG em Macaé, pois planeja-se a reativação dessa estação com a instalação de novos equipamentos meteomaregráficos no mesmo local.

Figura 5 – parte dos equipamentos da estação meteomaregráfica da RMPG (a) e pilar com antena da estação da RBMC (b)

Fonte: Os autores

Quanto ao levantamento gravimétrico terrestre, além da rotina de gravimetrar todas as RRNN, foi realizado o levantamento em grade de 2,5' (aprox. 5km) em quase todo o Estado do Rio de Janeiro, totalizando cerca de 2000 estações gravimétricas não materializadas. Desse quantitativo, 1600 já foram levantadas, restando apenas 400 para coleta em 2018 (Figura 6). Essa base gravimétrica densa auxiliará as análises de conexão aerogravimétrica para refinamento da modelagem do geoide no litoral, além de possibilitar o cálculo das altitudes normais com a integração de levantamentos gravimétricos nas linhas de nivelamento.

Figura 6 – Distribuição espacial da grade gravimétrica e levantamentos já realizados.



Fonte: Os autores

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

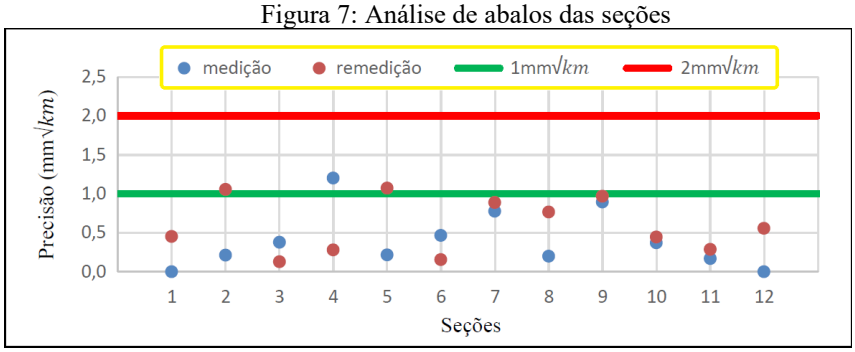
A seguir, apresenta-se a análise preliminar dos resultados referentes aos marcos reforçados e à medição altimétrica de alta precisão científica.

3.1 Da estabilidade das estações geodésicas implantadas

Para análise da estabilidade física das estruturas implantadas, foi feita a comparação dos desníveis das seções niveladas em duas épocas distintas, ou seja, a verificação de abalo descrita em IBGE (2017 p.33). Na Figura 7 são apresentados os resultados dessa comparação, constatando-se que todas as medições se encontram dentro da tolerância de 2 mm$\sqrt{km}$, não apresentando, assim, indícios de movimentação vertical depois da primeira medição. Quase 85% dos trechos remedidos tiveram sua diferença melhor que 1 mm$\sqrt{km}$. Apesar de não ter sido necessário até o momento, procedimentos em casos de recalque que excedem a tolerância ou tem sua estrutura física danificada podem ser encontrados em IBGE (2017, 2018).

Cabe ressaltar que esta análise ainda carece de um conjunto amostral adequado, já que foram apenas 12 seções remedidas, referentes à conexão entre campanhas com intervalo maior que 60 dias.

Figura 7: Análise de abalos das seções



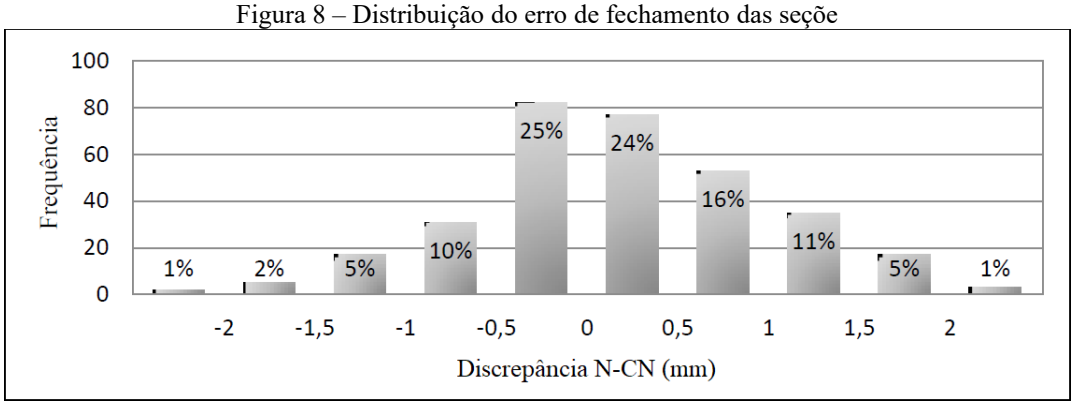
Fonte: Os autores

3.2 Do nivelamento geométrico científico

Na primeira etapa do Projeto, foram construídos e medidos 15 circuitos, perfazendo uma extensão de 353 km de duplo nivelamento. A Figura 8 mostra a distribuição das discrepâncias entre nivelamento e contra-nivelamento (N-CN) das seções. Nesse caso, foram analisadas 322 seções e observou-se que 81% tiveram erro de fechamento melhor que 1mm. A análise dos metadados dos arquivos oriundos do nível eletrônico mostrou que os parâmetros estabelecidos (citados na seção 2.2) foram seguidos corretamente. Em relação as boas práticas para o nivelamento geométrico científico, os relatórios de campo, que documentam a atividade, relatam que foram obedecidas as recomendações estabelecidas nas ordens de serviço.

A Tabela 2 mostra a precisão alcançada no cálculo do fechamento dos circuitos. Observa-se que todos tiveram precisão melhor que 2 mm$\sqrt{km}$, exigida no projeto, e a maioria teve precisão melhor que 1 mm$\sqrt{km}$. Analisando sob a perspectiva da extensão nivelada, em que os circuitos maiores diluem mais a precisão, uma vez que o erro de fechamento é inversamente proporcional a raiz quadrada do perímetro total, quando se compara os maiores circuitos em extensão (ex.: 6, 12 e 15) com os menores (ex.: 1, 2 e 5) constata-se que esses últimos tiveram precisão melhor que 1mm$\sqrt{km}$. Tal situação, porém, não se confirmou nos circuitos 7 e 11 devido ao fato de algumas de suas seções terem sido medidas em períodos sob fortes efeitos de fenômenos naturais como chuva intermitente, vento forte, intensidade alta de luz solar e até mesmo suspensão de areia e poeira, mas, ainda assim, conseguiu-se atingir a precisão exigida. Diante desse cenário, fica explícita a necessidade de cuidados adicionais na execução da atividade de nivelamento sobretudo no que diz respeitos a fatores de natureza aleatória.

Figura 8 – Distribuição do erro de fechamento das seção



Fonte: Os autores

Tabela 2 – Precisão dos circuitos

Circuito	Perímetro (Km)	Quantidade de seções	Erro de fechamento (mm)	Tolerância (mm)	Precisão (mm$\sqrt{km}$)
1	12,4	12	-0,25	7,04	0,07
2	19,2	17	2,45	8,76	0,56
3	24,5	23	1,75	9,89	0,35
4	22,9	18	-2,75	9,57	0,57
5	12,7	12	-2,05	7,13	0,57
6	40,9	27	5,09	12,78	0,80
7	19,2	17	-4,67	8,75	1,07
8	22,6	25	-2,00	9,52	0,42
9	37,5	31	1,40	12,25	0,23
10	25,7	19	-4,66	10,14	0,92
11	15,8	15	5,45	7,95	1,37
12	36,7	29	0,33	12,11	0,05
13	15,3	25	0,95	7,81	0,24
14	31,8	28	-1,95	11,28	0,35
15	37,0	24	2,22	12,17	0,37

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados preliminares do projeto RGRC ainda necessitam de análises mais profundas, para que haja modificações em especificações e procedimentos visando o desenvolvimento da rede ao longo da costa brasileira. Entretanto, os resultados da Etapa I, referentes à técnica de construção de marcos reforçados, parecem indicar melhoria da estabilidade em terreno mais arenoso. O vandalismo ainda deve ser tema de mais discussões. Um indicador interessante é que não houve registro de casos de destruição em marcos instalados sem afloramento da cabeça.

Com a metodologia empregada no nivelamento geométrico científico dos 15 circuitos, obtiveram-se precisões melhores que $2\text{mm}\sqrt{K}$. Além disso, com o advento do nível eletrônico, alcançou-se maior controle e qualidade dos dados, onde erros grosseiros de anotação em caderneta foram eliminados, assim como a necessidade de repetição, pois através da configuração de parâmetros no nível, erros associados ao manejo das miras e do próprio equipamento foram minimizados.

A implantação da estação RBMC solidária a estação RMPG em Arraial do Cabo está de acordo com as diretrizes do IBGE (IBGE, 2010). Projeta-se a ampliação da RMPG em Macaé e Ilha Guaíba, além de conexão da RGRC com os marégrafos da Ponta da Armação em Niterói e Ilha Fiscal no Rio de Janeiro, pertencentes a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil.

Quanto a gravimetria, a malha gravimétrica densa, além de servir aos propósitos do SGB, está preparada para uma possível integração com dados oriundos da aerogravimetria, que já vem sendo discutida dentro do Comitê como possibilidade para o refinamento do modelo geoidal no litoral do Estado do Rio de Janeiro.

Por fim, o estabelecimento da rede ao longo de todo o litoral brasileiro ainda é um desafio com a metodologia atual. É urgente a necessidade de motorização da atividade, para que a produção da construção e nivelamento se adeque a realidade atual de informações fidedignas, no tempo mais breve possível. Existe ainda uma carência enorme de estações maregráficas ativas na costa brasileira. Cada vez mais, buscam-se ferramentas que viabilizem a correta avaliação de riscos de inundação e erosão costeira em decorrência das mudanças climáticas e eventos extremos, e espera-se que o projeto piloto da RGRC seja a base para receber todas as outras atividades discutidas no âmbito do CICVTM/CONCAR.

REFERÊNCIAS

CICVTM. **Comitê de Integração dos Componentes Verticais Terrestre e Marítima (CICVTM).** Disponível em:< http://www.concar.gov.br/detalheEntidades.aspx?cod=25>. Acesso: 05 de junlo de 2018.

D'ALGE, J.C.L. **Estabelecimento de um sistema de altitudes a partir do nivelamento geométrico**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba.1986. Disponível em:< https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/48665>. Acesso: 22 de junho de 2018.

IBGE. **Especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos**. Resolução PR 22/83, Boletim de Serviço – Suplemento, Rio de Janeiro, 1983, 12 pp. Disponível em:<ftp://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/bservico1602.pdf>. Acesso: 22 de junho de 2018.

IBGE . **Norma de serviço Nº 001/2008** – **Padronização de Marcos Geodésicos**. Rio de Janeiro.2008.

IBGE. **Instruções técnicas para Controle Geodésico de Estações Maregráficas - CGEM e sua vinculação vertical ao Sistema Geodésico Brasileiro – SGB**. Manuais Técnicos em Geociências, n. 11.. IBGE, Rio de Janeiro. 2010. 38 p. Disponível em:<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/ GEBIS - RJ/ManuaisdeGeociencias/Instrucoes tecnicas para controle geodesico de estacoes maregraficas-CGEM e sua vinculacao vertical ao Sistema Geodesico BrasileiroSGB.pdf>. Acesso:25 de junho de 2018.

IBGE. **Relatório de Monitoramento da Variação do Nível Médio do Mar nas estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia 2001-2012**. IBGE, Rio de Janeiro. 2013. 47p. Disponível em:<ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamentogeodesico/rmpg/relatorio/relatorio_RMPG_2001_2013 _GRRV.pdf>. Acesso:25 de junho de 2018.

IBGE. **Análise do Nível Médio do Mar ns Estações da Rede Marégrafica Permanente para Geodésia – RMPG - 2001 a 2015**, Rio de Janeiro. 2016. 61p. Disponível em: <http://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rmpg/relatorio/relatorio_RMPG_2001_2015_GRRV.pdf>. Acesso: 22 de junho de 2018.

IBGE. **Relatório de Atividade Geodésica**. Rio de Janeiro. 2017.

IBGE. **Especificações e Normas para Levantamentos Geodésicos associados ao Sistema Geodésico Brasileiro**, Manual, Rio de Janeiro, 2017. 56p. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/normas_levantamentos_geodesicos.pdf> . Acesso:06 de junho de 2018.

IBGE. **Verificação da Realidade Física (VRF) das estações do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB).** Manual de Procedimentos Operacionais. Rio de Janeiro. 2018. 89p.

IOC. **Manual on Sea Level Measurement and Interpretation**. Paris: IOC, v. IV.2016. 77p Disponível em: <http:// www.pol.ac.uk / psmsl / manuals >. Acesso:23 de junho de 2018

LUZ, R.T (2008). **Estratégias para Modernização da Componente Vertical do SistemaGeodésico Brasileiro e sua Integração ao SIRGAS.** xxi, 179 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), CPGCG/UFPR, Curitiba. 2008. Disponível em: <http:// www.sirgas.org / fi leadmin / docs / Roberto_Teixeira_Luz_Tese_de_Doutorado.pdf>. Acesso:25 de junho de 2018.

MCCORMAC, J. **Topografia**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.408p.

NGS. **Bench Mark Reset procedures**. National Geodetic Survey. 2010. 23p. Disponível em: https://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/pub_ops.shtml. Acesso:29 de junho de 2018.

SCHOMAKER, E.J. & BERRY, R.M. **Geodetic leveling**. Rockville, SCHOMAKER e BERRY, (NOAA Manual NOS NGS 3). 1981.

TORGE, W.; MÜLLER, J. **Geodesy**. Berlin: 4th Edition, Walter de Gruyter, 2012. 433p.

RESOLUÇÃO DE AMBIGUIDADES NO PPP COM O MÉTODO DE RECUPERAÇÃO DO RELÓGIO PRESENTE NO RTKLIB: ANÁLISES PRELIMINARES PARA O TERRITÓRIO BRASILEIRO

LAIS THUANY CARDOSO THEODORO 1
TIAGO LIMA RODRIGUES 2

Universidade Federal do Paraná - UFPR
Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas - CPGCG
Setor de Ciências da Terra, Curitiba, PR
laistheodoro@ufpr.br, tiagorodrigues@ufpr.br

RESUMO – A resolução de ambiguidades (RA) no PPP e sua influência na qualidade do posicionamento têm sido bastante investigadas no decorrer da última década. Atualmente, no software RTKLIB versão 2.4.2, há o algoritmo de resolução de ambiguidades (RA) no processamento PPP, em caráter experimental, baseado no método de recuperação dos relógios. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi realizar a análise da exatidão planimétrica e altimétrica do PPP com a RA, nas diferentes regiões do território brasileiro, com diferentes durações de rastreio, utilizando o algoritmo de RA presente no RTKLIB 2.4.2. Como resultados, foi verificado que as melhoras mais significativas com a RA ocorreram no intervalo de 30 minutos. Além disso, em relação as estações utilizadas nos experimentos, os maiores ganhos com a RA foram nos experimentos realizados com dados da estação RBMC UFPR. Os piores resultados foram obtidos nos experimentos com dados da estação RBMC CUIB. Verificou-se também a ocorrência de uma oscilação entre melhora e piora ao longo do tempo para as diferentes estações.

ABSTRACT – The Ambiguities resolution (AR) in PPP and its influence on the quality of the positioning have been well investigated during the last decade. Currently, in RTKLIB software version 2.4.2, there is the PPP AR processing algorithm, on an experimental basis, based on the recovery clock method. In this way, the aim of this work was to perform analysis of the planimetric and altimetric accuracy of the PPP with AR, in different regions of the Brazilian territory, with different durations of positioning, using the algorithm present in the RTKLIB 2.4.2. As results, it was found that the most significant improvements with AR occurred within 30 minutes. In addition, in relation to the stations used in the experiments, the greatest improvements with AR were in the experiments performed with data from the RBMC UFPR station. The worst results were obtained in the experiments with data from the RBMC CUIB station. It was also verified the occurrence of an oscillation between improvement and worsening over time for the different stations.

1 INTRODUÇÃO

O método do PPP tem sido amplamente utilizado por diversos usuários e largamente investigado pela comunidade científica ao longo das últimas duas décadas. Tradicionalmente, no processamento do PPP não é levado em consideração a questão da RA da fase. Porém, ao longo da última década, diversas pesquisas foram desenvolvidas investigando a questão da RA no PPP e sua influência na qualidade do posicionamento e no tempo de rastreio em campo. Dentro deste contexto, leva-se em conta a influência dos componentes não calibrados do atraso da fase (BLEWITT, 1989), ou do inglês *uncalibrated phase delays* (UPDs) (GE *et al*., 2008), ou ainda *uncalibrated hardware delays* (UHD) (GENG *et al.*, 2009). Este atraso é causado pela passagem do sinal da fase através dos *hardware* tanto no satélite quanto no receptor. Uma vez que seus valores não pertencem ao domínio dos inteiros e que eles são fortemente correlacionados com as ambiguidades, surge uma dificuldade na resolução das mesmas. Cabe ressaltar que no processamento do PPP sem a resolução das ambiguidades, os UPDs são estimados junto com as ambiguidades. Tal procedimento leva a um maior tempo de rastreio em campo. Quando se considera a estimativa dos UPDs e a RA, o tempo de rastreio diminui e a precisão do posicionamento é aumentada (GE *et al*., 2008; GENG, 2010).

Atualmente, no software RTKLIB versão 2.4.2 tem-se a opção de processamento PPP com RA em caráter experimental, baseado no método de recuperação dos relógios (LAURICHESSE *et al*., 2008; RTKLIB, 2018). Uma vantagem da aplicação deste método é que o mesmo não utiliza observáveis diferenciadas, como no método de eliminação dos UPDs, desenvolvido por Blewitt (2006) e presente, por exemplo, no aplicativo GIPSY. Na prática, isto

significa que o usuário não necessita dispor diretamente de observáveis de uma rede de referência em seu entorno no momento do processamento do posicionamento. Outra vantagem da aplicação deste método é que para o usuário apenas é requerido adicionalmente os arquivos *.clk* com soluções *grg* (LAURICHESSE, 2011), disponibilizados de forma gratuita pelo Centro de análises do Centro Nacional de Estudos Espaciais (CNES – do francês *Centre national d'études spatiales*). Cabe ressaltar que o software RTKLIB 2.4.2 também é disponibilizado gratuitamente e apresenta uma interface gráfica simples e unificada para ambiente Windows, o que o torna amigável aos usuários.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é realizar a análise de exatidão planimétrica e altimétrica do PPP com RA, utilizando o algoritmo de solução de ambiguidades disponível no aplicativo RTKLIB 2.4.2, baseado no método de recuperação dos relógios. Cabe ressaltar que trabalhos de avaliação deste método e comparação com outros métodos já foram desenvolvidos, como por exemplo, Geng *et al.*, (2010a); Shi e Gao (2014) e Teunissen e Khodabandeh (2014). No entanto, este trabalho se voltará a testes no âmbito do território brasileiro, sujeito a condições ionosféricas diferentes e irregularidades ionosféricas, como a Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS).

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Área de teste

Para a realização dos experimentos foram utilizados dados provenientes de estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC). Com o objetivo de analisar resultados obtidos a partir de dados coletados sob diferentes configurações atmosféricas, cinco estações foram selecionadas, sendo uma em cada região do território brasileiro. As estações selecionadas foram:

PAIT, localizada na região norte; PEPE, localizada na região nordeste; MGMC, localizada na região sudeste; UFPR, localizada na região sul e; CUIB localizada na região centro oeste. As localizações aproximadas das estações encontram-se na Figura 1.

Figura 1: Localização das estações da RBMC utilizadas nos experimentos.

2.2 Metodologia

A partir dos arquivos RINEX das cinco estações mencionadas, todos com observações coletadas no dia 25 de fevereiro de 2018, foram realizados os experimentos. Estes foram definidos de acordo com a duração do rastreio. Inicialmente, com o objetivo de analisar os resultados obtidos com pouco tempo de rastreio, um primeiro grupo de experimentos foi definido. Assim, foram realizados experimentos com durações de rastreio entre 20 e 40 minutos, analisando-se a solução de 5 em 5 minutos. Posteriormente, a fim de analisar o comportamento dos resultados com o aumento do tempo de rastreio, um segundo grupo de experimentos foi definido, com durações de rastreio entre 60 e 120 minutos, analisando-se a solução de 30 em 30 minutos. Para fins de comparação e verificação de possíveis melhorias nas qualidades dos posicionamentos, foram também realizados experimentos com os intervalos de rastreio mencionados, sem considerar a RA. Na Tabela 1 são apresentados os grupos de experimentos, os experimentos e suas características.

Tabela 1 – Experimentos e suas características.

		Duração do rastreio	
1	1a, 1b, 1c, 1d, 1e	20, 25, 30, 35, 40 minutos	Com tentativa de RA

2	2a, 2b, 2c, 2d, 2e	20, 25, 30, 35, 40 minutos	Sem tentativa de RA
3	3a, 3b, 3c	60, 90, 120 minutos	Com tentativa de RA
4	4a, 4b, 4c	60, 90, 120 minutos	Sem tentativa de RA

A fim de se verificar a influência da cintilação atmosférica, para cada local de estação procurou-se verificar o índice S4, utilizando-se a ferramenta ISMR Query Tools, desenvolvida no âmbito do projeto CIGALA (*Concept for Ionospheric Scintillation Mitigation for Professional GNSS in Latin America*), disponível em http://is-cigala-calibra.fct.unesp.br/is/. Porém, apenas para a estação PEPE havia dados disponíveis. Nesta estação, a média diária do índice S4 apresentou-se abaixo de 0,11. A fim de se evitar/minimizar os efeitos de atenuação e cintilação, em todos os processamentos utilizou-se máscara de elevação de 10°.

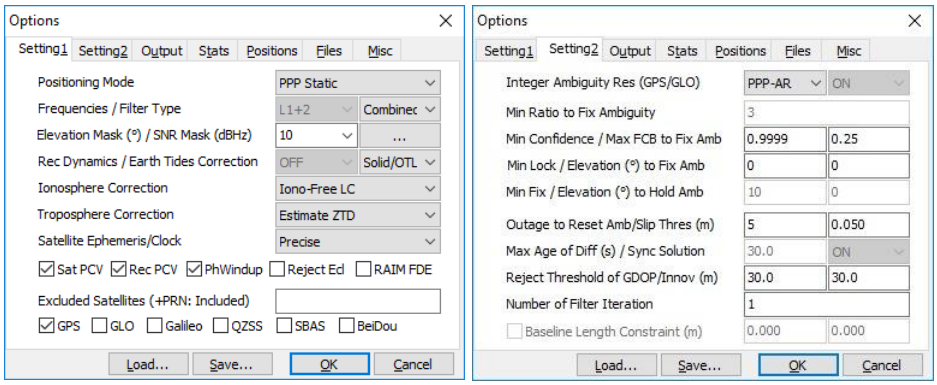
O processamento foi realizado utilizando-se as medidas GPS dos códigos C1 e P2 e das fases nas portadoras L1 e L2. As observáveis GLONASS não foram consideradas, uma vez que não há possibilidade no RTKLIB de tentativa de resolução de ambiguidades para sinais desta constelação. Com relação aos erros sistemáticos, para se eliminar os efeitos de primeira ordem da ionosfera foi utilizada a combinação livre de ionosfera, e para a correção dos efeitos de refração troposférica foi estimado o ZTD (*Zenithal Tropospheric Delay* - Atraso Zenital Troposférico). Com relação aos arquivos de relógios precisos, conforme citado anteriormente, nos experimentos utilizando-se o método de RA baseado na recuperação dos relógios foram utilizados os arquivos .clk de solução "grg", disponibilizados pelo CNES/CLS para o IGS, uma vez que contêm os UPDs das observáveis combinadas Wide Lane (WL) dos satélites para o dia. O intervalo de disponibilização dos erros dos relógios dos satélites é de 30 segundos. Para a correção dos erros das órbitas, foram utilizadas as efemérides de solução "grg", em concordância com os arquivos de relógios dos satélites.

Para corrigir a tendência diferencial entre os códigos P1 e C/A no hardware dos satélites, foram utilizados arquivos DCB (*Differential Code Biases*) C1P1 precisos, disponibilizados mensalmente pelo Centro para Determinação de Órbitas na Europa (CODE - do inglês *Center for Orbit Determination in Europe*). Uma vez que a combinação livre de ionosfera foi utilizada não houve necessidade de arquivos DCB C1P2 para a correção da tendência diferencial envolvendo estas duas observáveis. As variações dos centros de fase das antenas transmissoras a bordo dos satélites também foram levadas em consideração. Para tanto, o arquivo ANTEX IGS08_1930.atx disponibilizado pelo IGS foi utilizado, uma vez que contém os valores de deslocamento do centro de fase (PCO – do inglês *Phase Center Offset*) e de variação dos deslocamentos (PCV - do inglês *Phase Center Variation*) para todos os satélites GNSS. Para as correções das variações dos centros de fase da antena receptora foram utilizados os arquivos ANTEX montados a partir dos dados de calibrações absolutas realizadas pelo NGS (do inglês *National Geodetic Survey*). Cabe ressaltar que quando se utiliza os arquivos .clk com a solução "grg" mencionadas anteriormente, já se tem a correção dos DCB P1C1 e das variações dos centros de fase das antenas transmissoras.

Foram levados em consideração ainda os erros de fase Wind-up (HOFMANN-WELLENHOF et al., 2008) e os efeitos geodinâmicos de marés terrestres, carga oceânica e movimento do polo. Para o caso da carga oceânica foram montados os arquivos .blq utilizando o modelo FES2004, conforme recomendado pelo IERS (*International Earth Rotation and Reference Systems Service*). Já para a correção do movimento do polo foi utilizado o arquivo final de parâmetros de rotação da Terra (ERP – do inglês *Earth Rotation Parameters*) disponibilizado pelo IGS, que contêm as componentes x e y do movimento do polo para uma semana.

Considerando a RA, para a validação das mesmas, o valor crítico para o teste ratio é fixado como três. Nos métodos de RA, antes que as ambiguidades WL sejam aproximadas para o inteiro mais próximo, é realizada uma verificação da diferença máxima entre ambiguidades reais e inteiras. Se essa diferença for inferior a um determinado valor de ciclos, então é tomada a decisão de fixação. No RTKLIB o valor padrão é de 0,25 ciclos, referente ao critério de probabilidade (nível de confiança) para fixação das ambiguidades WL de 99%. Com relação à contagem de interrupções para redefinir a ambiguidade o valor padrão é de 5 interrupções. Com relação à perda de ciclo, o RTKLIB utiliza a diferença entre épocas da fase da portadora na combinação livre de geometria (RTKLIB, 2018), sendo que o limiar padrão é de 0,05 ciclos. Na Figura 2 são apresentadas algumas configurações de processamento para o caso dos experimentos com RA.

Figura 2: Configurações para o processamento com RA.



Após a realização dos experimentos tornou-se possível fazer a análise estatística da exatidão dos resultados com base nos cálculos das raízes dos erros quadráticos médios (REQM) das discrepâncias entre as coordenadas estimadas e as coordenadas oficiais das estações da RBMC. Tais valores foram obtidos no Sistema Geodésico Local (SGL), separados em componentes e a equação utilizada para a determinação da REQM em uma determinada componente foi (MIKHAIL; ACKERMANN, 1976):

$$REQM = \sqrt{\Delta^2 + \sigma^2}\,, \tag{1}$$

Onde: Δ é diferença entre a coordenada estimada e a oficial da RBMC e σ é a precisão da solução obtida na última época do ajustamento.

Cabe ressaltar que antes dos cálculos de REQM, foi necessário compatibilizar o Sistema de Referência Terrestre (SRT) de saída do processamento no RTKLIB 2.4.2 com o SRT das coordenadas oficiais das estações RBMC. Isto é, transformar as coordenadas referenciadas ao SRT IGS14 para o SRT SIRGAS 2000. Uma vez que as épocas de processamento foram as das efemérides precisas, a compatibilização para a época 2000,4 do SRT SIRGAS 2000 também foi realizada. Para tanto, foi utilizada a transformação de Helmert indicada em IBGE (2017):

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{SIRGAS\ 2000,4} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1 + \delta\mu) R \left[\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{IGb14\ época} + \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \end{bmatrix}_{IGb14} (2000{,}4 - época) \right], \tag{2}$$

onde X, Y e Z são as coordenadas cartesianas geocêntricas das estações; V_X, V_Y e V_Z são as componentes da velocidade da placa tectônica no campo de velocidades selecionado; ΔX, ΔY e ΔZ são as componentes de translação; $\delta\mu$ é o elemento diferencial do fator de escala; $época$ é a época de saída do processamento e; R é a matriz de rotação dada por:

$$R = R_Z(\varepsilon_Z)\, R_Y(\varepsilon_Y)\, R_X(\varepsilon_X)\,, \tag{3}$$

onde ε_X, ε_Y e ε_Z são os ângulos de rotação em torno dos eixos X, Y e Z respectivamente. Os valores dos parâmetros indicados em IBGE (2017) são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros de transformação do IGb14 (ITRF2008) para o SIRGAS 2000,4.

ΔX (m)	ΔY (m)	ΔZ (m)	$\Delta\mu$ (ppb)	ε_X (mas)	ε_Y (mas)	ε_Z (mas)
0,0026	0,0018	-0,0061	-0.05	0.308	0.106	-0.096

Fonte: IBGE (2017).

O modelo de velocidades utilizado foi o modelo oficial do SRT SIRGAS 2000, isto é, o VEMOS 2015. Este modelo é baseado na solução multianual SIR15P01 da rede SIRGAS-CON, com as velocidades referenciadas ao SRT IGb14 (SÁNCHEZ; DREWES, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização dos experimentos, verificou-se que, de forma geral, a RA em todos os experimentos nos quais se aplicou a tentativa da mesma, ocorreu antes dos 30 minutos de rastreio. A Tabela 3 indica os tempos mínimos para a RA em todas as estações.

Tabela 3 – Épocas referentes ao início da RA em todas as estações.

Tempo Mínimo para a RA				
CUIB	MGMC	PAIT	PEPE	UFPR
14 min	27 min	28 min 15 seg	21 min 45 seg	25 min 30 seg

Após o processamento e os cálculos de REQM para todos os experimentos, foram realizadas as análises comparativas da aplicação da RA com as diferentes durações de rastreio e as diferenças apresentadas em relação ao PPP sem tentativa de RA. Os resultados encontram-se a seguir.

3.1 Resultados dos experimentos dos grupos 1 e 2

Após os processamentos dos experimentos dos grupos 1 e 2, calcularam-se os valores de REQM para as componentes X_{GL}, Y_{GL} e Z_{GL} do SGL. Os valores para as componentes X_{GL} e Y_{GL} encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Exatidões nas componentes X_{GL} e Y_{GL} para os experimentos dos grupos 1 e 2.

	PAIT		PEPE		MGMC		UFPR		CUIB	
	REQM X_{GL}	REQM Y_{GL}	REQM X_{GL}	REQM Y_{GL}	REQM X_{GL}	REQM Y_{GL}	REQM X_{GL}	REQM Y_{GL}	REQM X_{GL}	REQM Y_{GL}
1a	0,083	0,033	0,079	0,061	0,078	0,282	0,169	0,194	0,060	0,226
2a	0,083	0,033	0,079	0,061	0,078	0,282	0,169	0,194	0,136	0,093
1b	0,059	0,023	0,168	0,140	0,093	0,237	0,167	0,152	0,075	0,239
2b	0,065	0,028	0,134	0,106	0,093	0,237	0,167	0,152	0,106	0,072
1c	0,025	0,007	0,154	0,129	0,127	0,187	0,084	0,057	0,080	0,242
2c	0,062	0,019	0,086	0,107	0,164	0,189	0,153	0,165	0,077	0,062
1d	0,032	0,008	0,148	0,121	0,109	0,159	0,071	0,040	0,079	0,238
2d	0,057	0,041	0,065	0,084	0,051	0,046	0,122	0,151	0,066	0,102
1e	0,031	0,009	0,189	0,138	0,135	0,185	0,065	0,031	0,077	0,231
2e	0,046	0,022	0,050	0,092	0,054	0,050	0,121	0,135	0,055	0,085

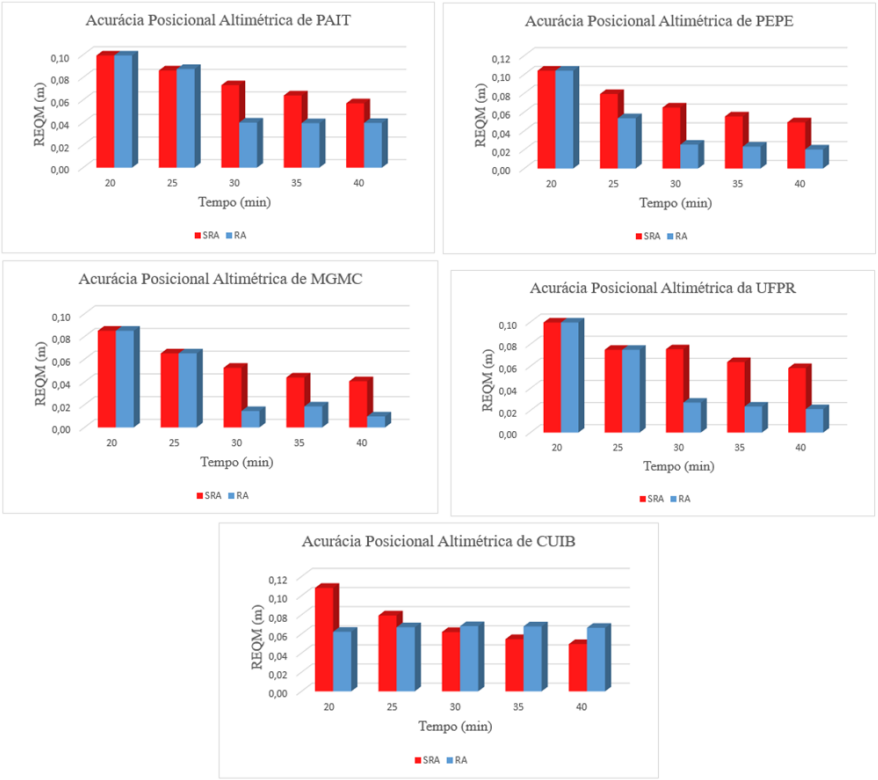
Conforme pode ser verificado na Tabela 4, nos experimentos com 20 minutos de rastreio, os valores de REQM com e sem RA, em ambas as componentes X_{GL} e Y_{GL}, foram similares, com exceção dos experimentos na estação CUIB que, com a RA, melhorou na componente X_{GL} e piorou em Y_{GL}. Com a RA, nos experimentos com 25 minutos de rastreio, a estação PAIT apresentou melhoras em ambas as componentes, a estação PEPE piora em ambas as componentes e a estação CUIB apresentou melhora na componente X_{GL} e piora na componente Y_{GL}. Nos demais experimentos com as demais estações os resultados com e sem RA foram similares. Os experimentos com 30 minutos de rastreio com a RA apresentaram melhoras, em ambas as componentes, nas estações PAIT, MGMC e UFPR, porém, nos experimentos da estação PEPE, houve piora em ambas as componentes e na componente Y_{GL} dos experimentos da estação CUIB, cujo REQM da componente Y_{GL} manteve-se similar com e sem RA. Por fim, para 35 e 40 minutos de rastreio, os experimentos com a RA apresentaram melhoras em ambas as componentes, nas estações PAIT e UFPR, mas houve piora em ambas as componentes das demais estações.

Com o objetivo de analisar as diferenças nos valores obtidos de REQM planimétrico resultante, e também na componente Z_{GL}, foram gerados gráficos comparativos. Na Figura 3 são apresentadas as diferenças planimétricas resultantes e na Figura 4 as diferenças na componente altimétrica para todas as estações.

Figura 3: Comparação gráfica dos valores de REQM planimétricos resultantes para os experimentos dos grupos 1 e 2.

Para o caso da componente planimétrica resultante, a partir da análise gráfica da Figura 3, pode-se verificar que nos experimentos com 20 minutos de rastreio, os resultados foram praticamente iguais com e sem RA. A única exceção foi a dos resultados provenientes dos experimentos na estação CUIB, onde o processamento com RA apresentou resultado pior de 23,35 cm. Com relação aos experimentos com 25 minutos de rastreio, a RA apresentou uma ligeira melhora no experimento com a estação PAIT. Por outro lado, nos experimentos com as estações PEPE e CUIB a RA proporcionou resultados piores, 21,90 cm e 25,04 cm, respectivamente. Nos experimentos com 30 minutos de rastreio, houve melhoras com a RA em todos os experimentos, com exceção dos experimentos nas estações PEPE e CUIB, que apresentaram os piores resultados de 20,04 e 25,5 cm, respectivamente. Por fim, nos experimentos com 35 e 40 minutos de rastreio, apenas aqueles conduzidos com os dados das estações PAIT e UFPR apresentaram melhoras com a RA, cujo REQM foi de 3,30 cm e 8,11 cm, respectivamente, para 30 minutos de rastreio; e de 3,19 cm e 7,16 cm, respectivamente, para 40 minutos de rastreio.

Figura 4: Comparação gráfica dos valores de REQM altimétricos para os experimentos dos grupos 1 e 2.



Com relação às componentes altimétricas pode-se observar que nos experimentos com 20 minutos de rastreio, apenas o experimento na estação CUIB apresentou melhora com a RA, cujo valor de REQM foi de 6,23 cm. Por outro lado, nos demais experimentos os resultados com e sem RA foram praticamente iguais. Nos experimentos com 25 minutos, houve ligeiras melhoras nos experimentos das estações PEPE e CUIB com a RA, com REQM de 5,34 cm e 6,70 cm, respectivamente. Nos demais experimentos, os resultados foram praticamente os mesmos com e sem RA. Por fim, a partir de 30 minutos de rastreio, todos os experimentos com a RA apresentaram melhoras, que chegaram até o nível do cm. A exceção ocorreu com os experimentos na estação CUIB, que apresentaram pioras com valor de REQM de 6,79 cm e 6,64 cm, respectivamente.

3.2 Resultados dos experimentos dos grupos 3 e 4

De forma similar, após os processamentos dos experimentos dos grupos 3 e 4, os valores de REQM para as componentes do SGL foram calculadas. Os valores para as componentes X_{GL} e Y_{GL} encontram-se na Tabela 5.

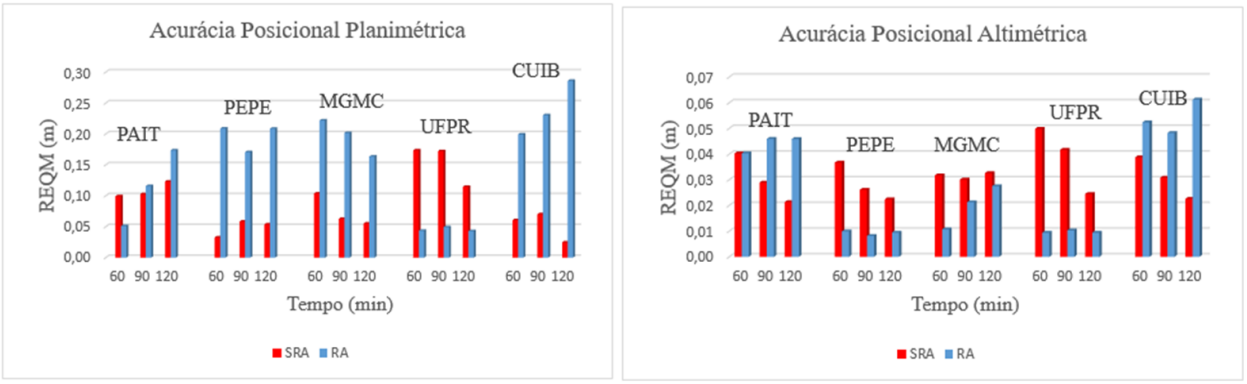
Ao analisar-se os resultados da Tabela 5, verifica-se que para o intervalo de 60 minutos de rastreio houve melhoras apenas nas componentes X_{GL} e Y_{GL} dos experimentos nas estações PAIT e UFPR com a RA. Nos experimentos com 90 minutos de rastreio, com a RA, houve melhoras apenas na componente X_{GL} da estação PAIT e em ambas as componentes da estação UFPR. Com 120 minutos de rastreio houve melhoras nas duas componentes apenas nos experimentos da UFPR com a RA.

Tabela 5 – Exatidões nas componentes X_{GL} e Y_{GL} para os experimentos dos grupos 3 e 4.

	PAIT		PEPE		MGMC		UFPR		CUIB	
	REQM X_{GL}	REQM Y_{GL}	REQM X_{GL}	REQM Y_{GL}	REQM X_{GL}	REQM Y_{GL}	REQM X_{GL}	REQM Y_{GL}	REQM X_{GL}	REQM Y_{GL}
3a	0,010	0,050	0,176	0,112	0,130	0,180	0,043	0,002	0,058	0,191
4a	0,059	0,080	0,025	0,021	0,050	0,091	0,115	0,130	0,032	0,052
3b	0,046	0,106	0,151	0,080	0,120	0,162	0,048	0,010	0,088	0,213
4b	0,055	0,087	0,038	0,045	0,038	0,050	0,108	0,134	0,050	0,049
3c	0,079	0,154	0,186	0,095	0,092	0,135	0,042	0,005	0,128	0,256
4c	0,069	0,102	0,042	0,034	0,028	0,048	0,079	0,083	0,022	0,011

Após as análises nas componentes planimétricas separadas, gerou-se um gráfico com os valores de REQM para a componente planimétrica resultante e para a componente altimétrica. Os resultados podem ser vistos nas Figuras 5a e 5b.

Figura 5: Comparação gráfica dos valores de (a) REQM planimétricos resultantes e (b) altimétricos para os experimentos dos grupos 3 e 4.



(a) (b)

Como pode ser visto, para 60 minutos de rastreio, houve melhora para as estações UFPR e PAIT na componente planimétrica, enquanto que nas demais estações houve pioras de até três vezes. Já na componente altimétrica, as estações PEPE, MGMC e UFPR apresentaram melhora, a estação PAIT apresentou resultados praticamente iguais com e sem a RA, e a estação CUIB apresentou piora no resultado. Com esta duração de rastreio, a estação UFPR apresentou a melhora mais significativa.

Com relação aos experimentos com 90 minutos de rastreio, somente na estação UFPR foi verificada uma melhora na componente planimétrica. Porém, o valor de REQM apresentou-se maior do que o calculado para o caso de 60 minutos de rastreio. O mesmo foi verificado para a estação PAIT e CUIB. Na componente altimétrica, somente nas estações PEPE, MGMC e UFPR houve melhoras.

Com 120 minutos de rastreio, o única experimento que apresentou melhora na componente planimétrica foi a da estação UFPR, sendo que o resultado apresentou-se praticamente igual ao do experimento com 60 minutos. Já na componente altimétrica, houve melhora somente nos experimentos realizados nas estações PEPE, MGMC e UFPR.

No contexto destes grupos de experimentos, pode-se verificar que os experimentos na estação CUIB, no geral, apresentaram os piores resultados com a RA. Por outro lado, os experimentos com a estação UFPR apresentaram os melhores resultados. Verifica-se também que ocorre uma oscilação entre melhora e piora ao longo do tempo para as diferentes estações. Isto é, não foi verificado um padrão de melhora ou piora no contexto geral.

CONCLUSÃO

No presente trabalho foi proposta a análise da exatidão planialtimétrica do PPP com resolução de ambiguidades, utilizando o algoritmo presente no aplicativo RTKLIB 2.4.2, baseado no método de recuperação dos relógios. Os experimentos foram conduzidos utilizando-se dados de cinco estações da RBMC presentes nas diferentes regiões do território brasileiro, analisando-se diferentes durações de rastreio. Quatro grupos de experimentos foram definidos. Os dois primeiros com durações de rastreio entre 20 e 40 minutos com e sem tentativa de resolução de ambiguidades, e, os dois últimos com durações de rastreio entre 60 e 120 minutos.

A análise estatística da exatidão dos resultados foi baseada nos cálculos dos valores de REQM, levando-se em conta as discrepâncias entre as coordenadas estimadas e as coordenadas oficiais das estações da RBMC e os valores de precisões. No contexto das durações de rastreio entre 20 e 40 minutos, em relação a planimetria, tem-se que os melhores resultados com a RA ocorreram nos experimentos com as estações PAIT e UFPR, e os piores, nos experimentos da estação CUIB. Em relação a altimetria, todos os experimentos com a RA apresentaram bons resultados, com exceção da estação CUIB. Já no caso dos experimentos conduzidos com durações entre 60 e 120 minutos, em relação a planimetria, os experimentos com a RA que apresentaram bons resultados foram aqueles com duração de rastreio de 60 a 90 minutos na estação PAIT e os experimentos da estação UFPR. Por fim, em relação a altimetria, a RA proporcionou melhoras nos experimentos das estações PEPE, MGMC e UFPR. Assim sendo, em relação ao intervalo de rastreio, os maiores ganhos com a RA ocorreram no intervalo de 30 minutos e, de uma forma geral, observou-se que o maior ganho foi na componente altimétrica. Além disso, em relação as estações utilizadas nos experimentos, os maiores ganhos com a RA

foram nos experimentos da estação UFPR e os piores resultados, na estação CUIB. Isso pode estar ligado à atividade ionosférica menor em latitudes maiores, neste caso, de aproximadamente -25°26'S. Porém, na maioria dos experimentos, quando se obteve melhora na componente altimétrica, houve piora na componente planimétrica.

Os objetivos de analisar a exatidão planialtimétrica do PPP com resolução de ambiguidades, utilizando o algoritmo presente no aplicativo RTKLIB 2.4.2, baseado no método de recuperação dos relógios, em diferentes períodos de rastreio para estações em diferentes regiões do território brasileiro, foram atendidos. Esperava-se que com a RA os resultados obtidos apresentassem de forma geral valores de REQM melhores do que sem a RA, comprovando a eficiência da solução de ambiguidades inteiras. Porém, na maioria dos experimentos, os resultados não se apresentaram conforme o esperado. Não houve um padrão de melhora e nem de piora. Isso pode ser associado ao fato do algoritmo ainda estar em caráter experimental (RTKLIB, 2018). Mais experimentos devem ser realizados, investigando diferentes épocas do ano, diferentes épocas de atividade solar e diferentes formas de se modelar os efeitos atmosféricos, o que poderá influenciar nos resultados finais.

REFERÊNCIAS

BLEWITT, G (1989). **Carrier phase ambiguity resolution for the global positioning system applied to geodetic baselines up to 2000 km**. Journal of geophysical research. v. 94. n. b8. p. 10.187 - 10.203. 1989.

BLEWITT, G. (2006). **The fixed point theorem of ambiguity resolution for precise point positioning of GPS networks: Theory and applications**, Eos Trans. AGU, 87(52), Fall Meet. Suppl., Abstract G43A-0977.

GE, M.; GENDT, G.; ROTHACHER, M.; SHI, C.; LIU, J. **Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in precise point positioning (PPP) with daily observations**. Journal of Geodesy, v.82. n. 7. p.389–399. 2008.

GENG, J.; MENG, X.; DODSON, A. H.; TEFERLE, F. N. **Integer ambiguity resolution in precise point positioning: method comparison**. Journal of Geodesy, v. 84, n. 9, p. 569-581, 6 ago 2010a.

GENG, J. **Rapid integer ambiguity resolution in PPP**. Tese (Doutorado) - Universidade de Nottingham, Nottingham, 2010.

GENG, J.; TEFERLE, F.; SHI, C.; MENG, X.; DODSON, A.; LIU, J. **Ambiguity resolution in precise point positioning with hourly data**. GPS solutions. 2009.

HOFMANN-WELLENHOF, B. LICHTENEGGER, H. WASLE, E. **GNSS: Global Navigation Satellite Systems**. Springer Wien New York: 2008.

IBGE 2017. Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Manual do Usuário Aplicativo Online IBGE-PPP**. Versão: abril 2017. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual_ppp.pdf>. Acesso em: agosto de 2018.

LAURICHESSE, D. **The CNES Real-time PPP with undifferenced integer ambiguity resolution demonstrator**. In: ION GNSS 2011, Portland. Anais… Portland, 2011.

LAURICHESSE, D.; MERCIER, F.; BERTHIAS, J. P. **Real time zero-difference ambiguities fixing and absolute RTK**. In: ION NTM, 2008. San Diego, California, 2008.

LIMA, C. M. D. A. **Posicionamento por ponto preciso com solução de ambiguidades inteiras no contexto de rede GPS**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2015.

MIKHAIL, E.; ACKERMAN, F. **Observations and Least Squares**. University Press of America, 1976. 497 p.

RTKLIB ver. 2.4.2 Manual. Disponível em: http://www.rtklib.com/prog/manual_2.4.2.pdf. Acessado em: 20/05/2018.

SÁNCHEZ, L.; DREWES, H. **Crustal deformation and surface kinematics after the 2010 earthquakes in Latin America**. Journal of Geodynamics, DOI:10.1016/j.jog.2016.06.005. 2016.

SHI, J; GAO Y. **A comparison of three PPP integer ambiguity resolution methods**. GPS Solutions. v. 18. n. 4. p. 519 - 528. 2014.

TEUNISSEN, P. J. G.; KHODABANDEH, A. **Review and principles of PPP-RTK methods**. Journal of Geodesy. v. 89. n. 3. p. 217 – 240. 2014.

UPPER AIR SOUNDING DOWNLOAD: UM APLICATIVO PARA DOWNLOAD DE DADOS DE RADIOSSONDA

LUCAS GONZALES LIMA PEREIRA CALADO
ABSALÃO ARANHA NASCIMENTO

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências – CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias das Geoinformação - PGCGTG
calado.lucaslima@gmail.com, absalaonascimento@hotmail.com

RESUMO - Desde a década de 70 os perfis atmosféricos de radiossonda têm sido coletados gerando uma série temporal significativa que contribui para estudos geodésicos e meteorológicos. Apesar da disponibilidade dos dados, na prática, tem-se observado uma atividade onerosa no que diz respeito a obter uma série de dados mais longa, já que os sites que fornecem estes dados apresentam poucas opções para configuração de *download*. Neste trabalho, apresentamos o aplicativo "*UPPER AIR SOUNDING DOWNLOAD*" como uma solução para este problema. Desenvolvido em linguagem MATLAB o aplicativo possui interface e funcionamento intuitivo, com uma solução rápida e prática para obter dados de radiossondas em uma determinada data ou período. O aplicativo, na sua versão executável, encontra-se disponível para download através do link (**https://goo.gl/nnkMKM**). Espera-se que o presente trabalho venha contribuir positivamente para a Geodésica e Meteorologia facilitando a obtenção dos dados das estações de radiossonda.

ABSTRACT - Since the 1970s, the atmospheric radiosonde profiles have been collected generating a significant time series that contributes to geodetic and meteorological studies. Despite the availability of the data, in practice, there has been an onerous activity about obtaining a longer data series, since the sites that provide this data have few options for configuration of the download. In this work, we present the application UPPER AIR SOUNDING DOWNLOAD as a solution to this problem. Developed in MATLAB language the application has intuitive interface and operation, with a fast and practical solution to obtain data of radiosonde at a certain date or period. The application, in its executable version, is available for download through the link (**https://goo.gl/nnkMKM**). It is expected that the present work will contribute positively to the Geodetic and Meteorology, facilitating the obtaining of the data acquisition of the radiosonde stations.

1 INTRODUÇÃO

A meteorologia e a prática da previsão de tempo melhoraram significativamente, sobretudo, nas últimas três décadas. Os melhoramentos ocorridos estão diretamente relacionados à qualidade e quantidade dos dados meteorológicos observados. Atualmente, as observações de variáveis atmosféricas, tais como, a velocidade do vento, pressão, temperatura, umidade e altitude, são obtidas por estações meteorológicas que podem ser de superfície, de altitude (radiossondas) e por estimativas de satélites. A combinação dessas observações proporciona uma extensiva base de dados para os modelos PNT (Previsão Numérica do Tempo) e para pesquisas atmosféricas de forma geral. (ANDREOLI et al. 2008a, 2008b).

As radiossondas, estações de altitude, são equipamentos que medem pressão, temperatura, umidade, direção e velocidade do vento em vários níveis de altitude da atmosfera, sendo uma ferramenta extremamente importante para apoiar estudos de monitoramento e previsão do clima. Por exemplo, as radiossondas, associadas a outras ferramentas meteorológicas, são utilizadas para avaliação da condição meteorológica de risco para a aviação, onde o perfil atmosférico fornecido pelas radiossondas contribui para identificar rajadas de ventos e restrições de visibilidade nas regiões de pouso e decolagem de aeronaves (COSTA, 2008).

Sapucci et al. (2003) aborda o uso de modelos PNT como uma solução para predições do atraso zenital troposférico na América do Sul, com o objetivo de investigar a contribuição que o modelo PNT pode fornecer na modelagem da troposfera em tempo real. Para tal, foi realizado um experimento utilizando as observações de radiossonda, permitindo, assim, determinar precisamente o atraso zenital troposférico.

Wickert (2004) compara a precisão dos perfis atmosféricos de temperatura e refratividade GNSS-RO (*Global Navigation Satellite System – Radio Occultation*) com perfis obtidos de radiossonda entre os anos de 2001 e 2004.

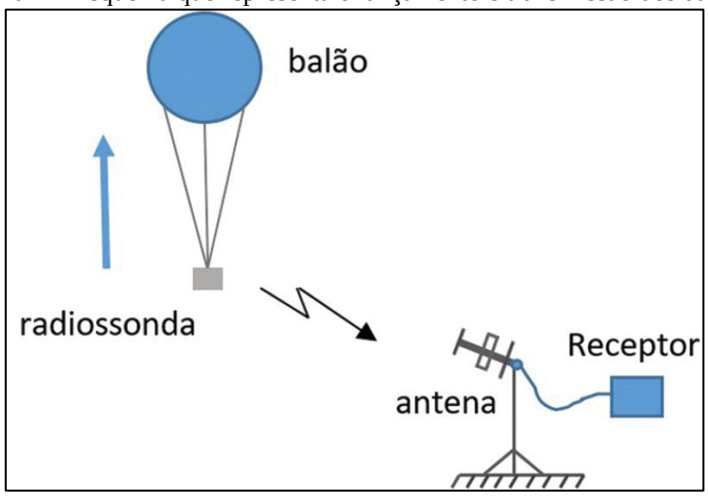
Coutinho e Fisch (2007) utilizam dados de radiossonda, entre fevereiro de 1988 e setembro de 1997, para um estudo climatológico de distúrbios e intensidade dos ventos na região de Alcântara-MA, de onde são lançados os foguetes e veículos espaciais no Brasil, sendo este acompanhamento meteorológico, bem como a previsão de tempo, atividades importantes para o sucesso e segurança das missões.

Wanderley e Justino (2015) utilizaram dados de radiossondagem, no período de 1980 e 2010, para analisar a existência de tendência de aumento na concentração de vapor de água na região da Groenlândia, onde este indicador atmosférico é necessário para o estudo das mudanças climáticas, principalmente na região Ártica.

Portanto, a radiossonda é o meio utilizado para medir as variáveis dinâmicas e termodinâmicas da atmosfera, sendo um equipamento meteorológico, composto por uma antena GPS (*Global Positioning System*), responsável por determinar a altitude de sondagem, sensores de temperatura, umidade e pressão.

A radiossonda é transportada através das camadas da atmosfera por um balão, preenchido com gás hidrogênio ou gás hélio, que se eleva numa razão de cerca de 180 metros por minuto, chegando aos 25 km de altitude. Durante o voo, a radiossonda envia os dados via rádio para a estação em terra à medida que atravessa as camadas da atmosfera, como mostra o esquema da Figura 1.

Figura 1 – Esquema que representa o lançamento e transmissão dos dados.



Fonte: Adaptada de Oliveira et al. (2018).

Geralmente, as radiossondas são lançadas de aeroportos em dois horários, 00 UTC e 12 UTC, e no Brasil, têm-se 42 estações fabricadas pela empresa *Vaisala* (OLIVEIRA et al., 2018). A Tabela 1 apesenta a quantidade de estações de radiossondagem distribuídas globalmente (INGLEBY et al., 2016).

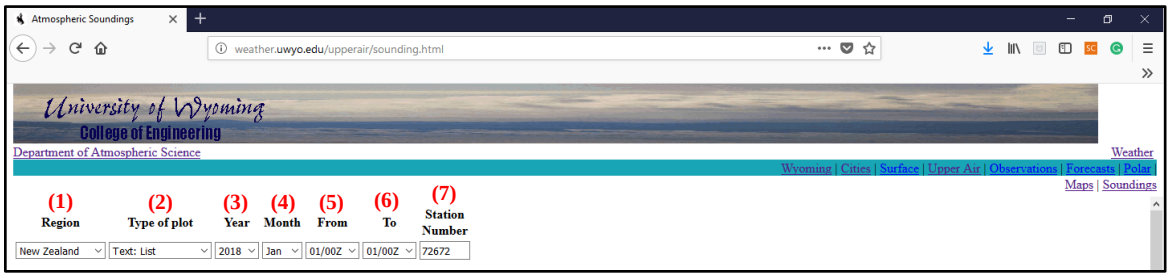
Tabela 1: Números de estações de radiossonda por região.

Região	**Número de Estações**
África	43
Ásia	301
América do Sul	55
América do Norte e Caribe	156
Ilhas do Pacífico	97
Europa	151
Antártica	15
Total de radiossondas	**818**

Os perfis atmosféricos obtidos por radiossondagem são registrados desde a década de 70 proporcionando uma série temporal significativa para diversos estudos. Os dados estão disponíveis gratuitamente e podem ser obtidos em alguns centros de pesquisa meteorológica. Por exemplo, no Brasil, o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e a MASTER (Meteorologia Aplicada a Sistemas de Tempo Regionais) armazenam e distribuem dados de radiossondagem da América do Sul. Já o Departamento de Ciência Atmosférica, da Universidade de Wyoming (*Departament of Atmospheric Science – University of Wyoming*), nos Estados Unidos, fornece dados de radiossondagem de todas as regiões do globo, por isso é escolhido como fonte de dados para este trabalho.

Para que o usuário obtenha os dados da radiossonda, através da Universidade do Wyoming, é necessário acessar o site <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>. Conforme a Figura 2, o usuário tem que informar a região (1), o tipo do resultado de saída (2), o ano (3), o mês (4), a data inicial (5), a data final (6) e o número da estação (7) da qual se requer os dados. Ao escolher a estação, deve-se pressionar a tecla *enter* para geração dos resultados.

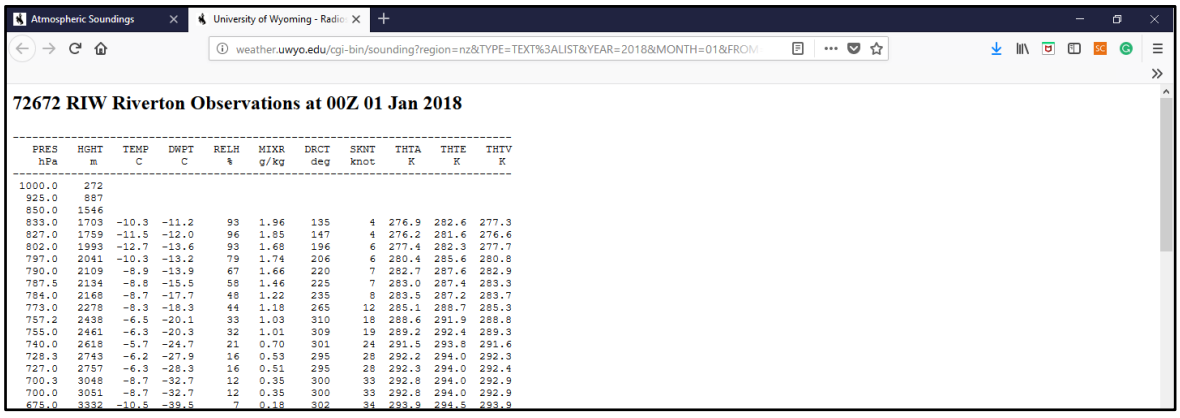
Figura 2 – Visualização do site da Universidade do Wyoming para obtenção dos dados de radiossonda.



Fonte: *University of Wyoming* (2018)

Os resultados ficam disponíveis em uma nova aba do navegador, conforme apresentado na Figura 3. Para salvar os resultados, o usuário tem que selecionar todo o conteúdo da página, copiar os dados e colar em um arquivo de texto, sendo um trabalho bastante oneroso para estudos com series temporais e apresenta alto risco de erro humano.

Figura 3 - Visualização do site da Universidade de Wyoming com os resultados dos dados de radiossonda solicitados.



Fonte: *University of Wyoming* (2018)

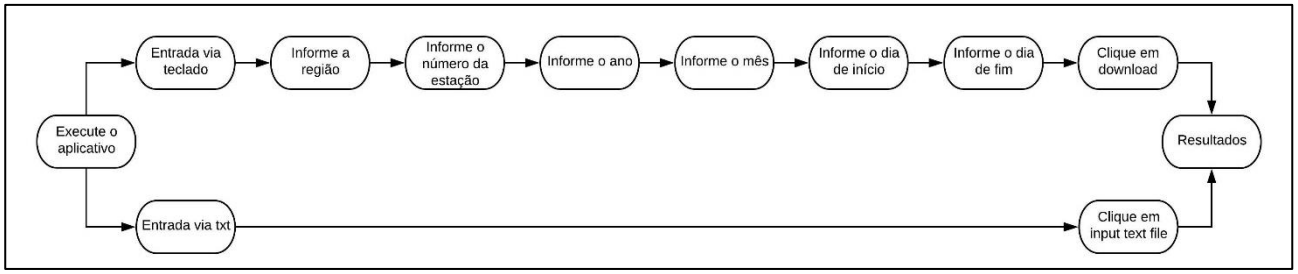
Portanto, este trabalho tem como objetivo apresentar solução para obtenção de dados de radiossonda, disponibilizado pela Universidade do *Wyoming*, de forma que venha apoiar o usuário que demanda obter dados de uma única estação, ou até mesmo de várias estações em uma determinada data ou período. Para solucionar essa problemática, foi desenvolvido um aplicativo em linguagem MATLAB, demandando conexão com internet, sendo essa uma característica necessária para obtenção dos dados pelo método tradicional.

2 METODOLOGIA

A ideia do aplicativo surgiu da necessidade de pesquisas envolvendo os alunos do Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (PGCGTG) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), mais especificamente para os alunos das linhas de pesquisa em Geodésia e Cartografia Costeira. É comum os alunos da graduação e pós-graduação obterem uma

grande quantidade desses dados para as suas pesquisas e essa é uma tarefa árdua e onerosa. O esquema geral da metodologia é apresentado no diagrama da Figura 4:

Figura 4 – Diagrama de blocos de uso do *Upper Air Sounding Download*.



Fonte: Os autores

Para solucionar esse problema foi desenvolvido um aplicativo utilizando a ferramenta GUI, em linguagem MATLAB (*MATrix LABoratoy* – Laboratório de Matrizes), que é um software interativo de alta performance muito utilizado para o cálculo numérico destinado a fazer cálculos com matrizes, porém, pode ser utilizado também para obter dados a partir de páginas web (MATHWORKS, 2018).

Os dados de entrada necessários para o correto funcionamento do aplicativo no seu modo de entrada manual devem ser inseridos diretamente na sua interface. Os dados necessários para sua correta execução, são:

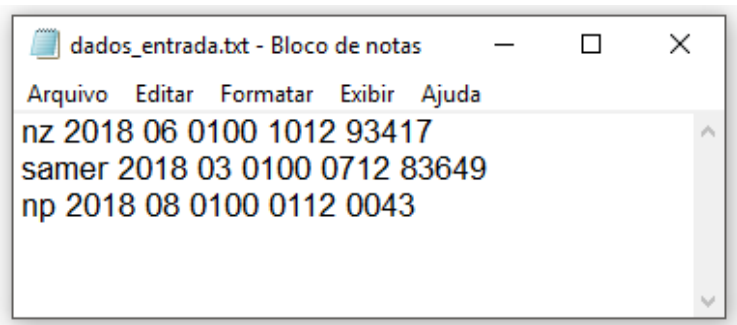
- Região da Estação;
- Número da Estação;
- Ano da série dos dados;
- Mês da série dos dados;
- Dia/hora do início da série dos dados; e
- Dia/hora do final da série dos dados.

No método manual, ao final do download, é exibida uma mensagem de sucesso, para o caso onde a estação dispõe de dados, ou uma mensagem de erro, para o caso onde os dados daquela estação não se encontram disponíveis.

Para entrada via arquivo de texto, a região, o ano, o mês, o dia/hora de início, o dia/hora do fim, e o número da estação da série dos dados, devem estar separados por um espaço, em um arquivo do tipo ".txt", conforme a Figura 5. A inserção da região merece uma atenção especial e deve está escrita da seguinte forma:

- Para a América do Norte, deve-se utilizar **nacon.**
- Para a América do Sul, deve-se utilizar **samer.**
- Para o Pacífico Sul, deve-se utilizar **pac.**
- Para a Nova Zelândia, deve-se utilizar **nz.**
- Para a Antártica, deve-se utilizar **ant.**
- Para o Ártico, deve-se utilizar **np.**
- Para a Europa, deve-se utilizar **europeu.**
- Para a África, deve-se utilizar **africa.**
- Para o Sudoeste Asiático, deve-se utilizar **seasia.**
- Para o Oriente Médio, deve-se utilizar **mideast.**

Figura 5 – Formatação dos dados de entrada via arquivo de texto (.txt).



Fonte: Os autores.

Ao final do download, é exibida uma mensagem de sucesso informando ao usuário que o download ocorreu de forma correta.

Para as duas opções de entrada, os dados da estação requerida ficam disponibilizados em um arquivo do tipo **.txt**, nomeado da seguinte forma: **região_estação_ano_mês_dia/hora/início_dia/hora/fim**. Para praticidade ao usuário, os dados ficam salvos no mesmo local onde está o executável do aplicativo.

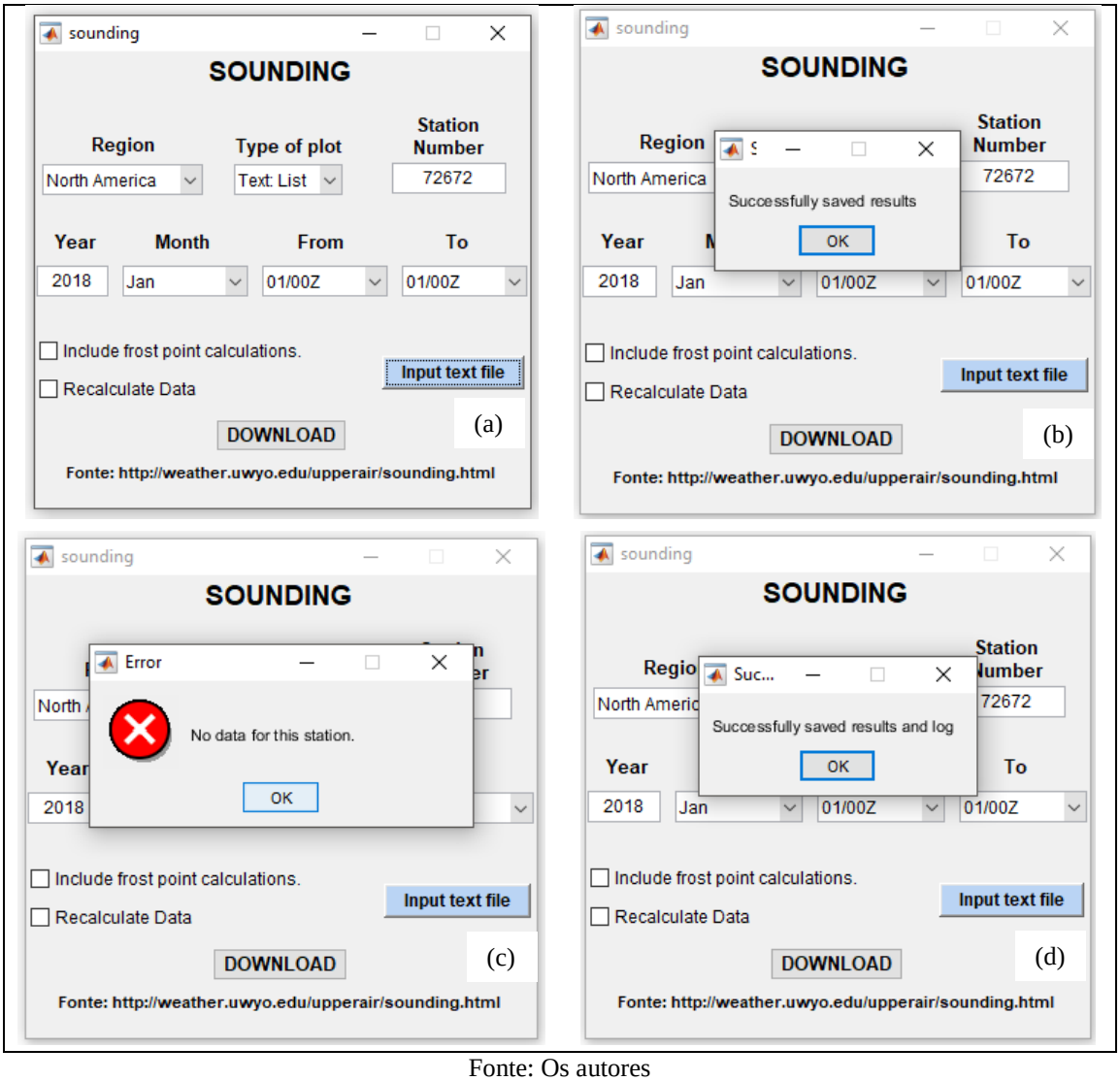
Para o caso da entrada por arquivo de texto, além do arquivo com os dados da estação, julgou-se necessário a elaboração de um arquivo de registros (*log*) com anotações do sucesso ou da falha na obtenção dos arquivos das estações. A falha, geralmente, está relacionada com a não disponibilidade dos dados para aquela estação requerida.

O funcionamento do aplicativo necessita de acesso à base de dados via *html* para obtenção dos arquivos desejados. Portanto, seu funcionamento é condicionado a uma conexão com a internet durante todo o processo de *download*.

3 RESULTADO E DISCUSSÕES

O aplicativo *Upper Air Sounding Download* encontra-se disponível para download através do link (https://goo.gl/nnkMKM), em uma pasta compactada denominada "**UpperAirSoundingDownload.rar"**, com o arquivo executável em seu interior. A sua interface inicial e a sua interface após geração dos resultados são exibidas nas Figuras 6a, 6b, 6c e 6d.

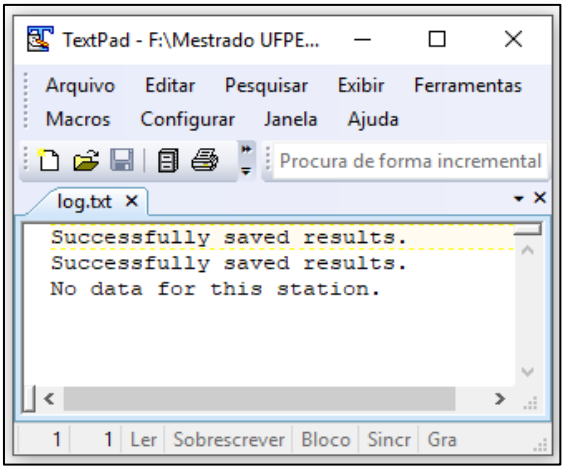
Figura 6 – Interface do aplicativo *Upper Air Sounding Download*. (a) na interface inicial; (b) após o download com sucesso na opção de entrada manual; (c) após falha no download na opção da entrada manual; (d) após o download com sucesso na opção de entrada por arquivo de texto.



Fonte: Os autores

A Figura 7 exibe um trecho do arquivo de registros do aplicativo, exemplificando os tipos de mensagens que são exibidas quando há sucesso ou falha na obtenção dos dados com a entrada via arquivo de texto.

Figura 7 – Arquivo de log após o download do *Upper Air Sounding Donwload*.



Fonte: Os autores

Para visualização dos resultados com a correta formatação, recomenda-se a utilização dos leitores de arquivos de texto como por exemplo o *TextPad* ou *WordPad*.

Para fins de quantificação de melhorias impostas pelo aplicativo desenvolvido neste trabalho, em relação ao método tradicional de obtenção dos dados de radiossonda, utilizou-se uma sequência de parâmetros comparativos informais entre ambos, conforme o Tabela 2.

Tabela 2 - Comparativo de obtenção de dados de radiossonda pelo método tradicional e com o aplicativo *Upper Air Sounding Download*.

Método Tradicional	***Upper Air Sounding Download***
Demandam conexão com a Internet	
Processo manual, exigindo atenção do usuário a cada passo.	Processo automático, permitindo ao usuário a execução de outras atividades enquanto os dados são adquiridos.
Possibilidade de falha humana durante o processo de copiar e colar.	Não há possibilidade de falha humana durante a aquisição, desde que os dados de entrada estejam corretos.
Demanda configuração prévia dos diretórios onde os dados serão armazenados.	Os dados são salvos no mesmo diretório onde está o arquivo executável do aplicativo.
Processo mecânico e repetitivo.	Processo automatizado e com maior aproveitamento do tempo.

É importante salientar que esta comparação é de caráter ilustrativo, servindo apenas para demonstrar rapidamente os ganhos com a utilização do aplicativo. Para uma análise científica deveria ser levado em consideração aspectos tais com a estabilidade e velocidade da conexão com a Internet, nível de experiência do usuário com a plataforma e também uma quantidade necessária de repetições dos métodos para validação estatística dos resultados obtidos. Ainda de acordo com a tabela 2, todos os tópicos pesam a favor do aplicativo desenvolvido neste trabalho.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como finalidade a divulgação à comunidade do desenvolvimento do aplicativo para obtenção de dados de radiossonda, com acesso direto ao portal da Universidade de Wyoming, denominado *Upper Air Sounding Download*. O aplicativo possui interface e funcionamento intuitivos, com uma solução rápida e prática, principalmente para usuários que necessitam de uma grande quantidade de estações, suprimindo possíveis falhas humanas, evitando a repetição de tarefas exaustivas, assim, podendo ser aproveitando melhor o tempo para a pesquisa.

O aplicativo foi desenvolvido no *software* MATLAB, utilizando a ferramenta GUI, que fornece ao usuário um controle do aplicativo apenas clicando na interface do software, eliminando a necessidade de aprender uma linguagem de programação ou digitar comandos para executar o aplicativo. O aplicativo na sua versão executável encontra-se disponível para download através do link (https://goo.gl/nnkMKM). Para visualização dos resultados com a formatação correta, recomenda-se a utilização dos leitores de arquivos de texto como por exemplo o *TextPad* ou *WordPad.*O primeiro autor coloca-se a disposição para possíveis dúvidas e também para solicitação do arquivo executável, caso o link não funcionar corretamente.

Espera-se que o presente trabalho venha contribuir positivamente para a comunidade geodésica, faciltando a obtenção dos dados das estações de radiossonda e assim, possibilitando o usuário uma dedicação maior do seu tempo para a produção de conhecimento sobre a sua pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PGCGTG-UFPE – Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, pela estrutura, equipamentos e recursos humanos integrados que tornaram possível a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ANDREOLI, R. V.; HERDIES, D. L.; SOUZA, R.; SAPUCCI, L. F.; ARAVÉQUIA, J. A.; FERREIRA, S. **Tipos de observações e o controle de qualidade utilizado na assimilação de dados no CPTEC/INPE**. Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia, v. 32, p. 65-70, 2008a.

ANDREOLI, R. V.; DE SOUZA, R. A. F.; SAPUCCI, L. F.; SOARES, S. H. F.; HERDIES, D. L.; ARAVÉQUIA, J. A.; **Inclusão das sondagens AIRS/AMSU no sistema global de assimilação/previsão de tempo do CPTEC/INPE: estudo de impacto**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 23, n. 1, p. 88-102, 2008b.

COSTA, M. M. G. **A Meteorologia aeronáutica no Aeroporto de Guarulhos.** Anais do VII Simpósio de Transporte Aéreo, p. 539-550, 2008.

COUTINHO, E. de C.; FISCH, G. **Distúrbios ondulatórios de leste (DOLs) na região do Centro de Lançamento de Alcântara-MA.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 22, n. 2, p. 193-203, 2007.

INGLEBY, B; RODWELL, M; ISAKSEN, L. **Global radiosonde network under pressure.** ECMWF Newsletter No. 149 – Autumn 2016, pp. 25-30. Disponível em: <https://www.ecmwf.int/en/newsletter/149/meteorology/global-radiosonde-network-under-pressure>. Acesso em: 22 de agosto de 2018.

OLIVEIRA, F. P.; AMORIM, H. S.; DERECZYNSKI, C. P. **Investigating the atmosphere with data obtained by radiosondes.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 40, n. 3, 2018.

SAPUCCI, L. F.; MONICO, J. F. G.; ESPINOZA, E. S.; MACHADO, L. A. T. **Predições do Atraso Zenital Troposférico na América do Sul para Posicionamento GNSS em Tempo Real**. Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. 2003.

WANDERLEY, H. S.; JUSTINO, F. B. **Aumento da concentração de vapor de água atmosférico na Groenlândia.** Ciência e Natura, v. 37, n. 1, p. 153-158, 2015.

WICKERT, J. **Comparison of vertical refractivity and temperature profiles from CHAMP with radiosonde measurements**. Geoforschungszentrum, 2004.

SENSORIAMENTO REMOTO E FOTOGRAMETRIA

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias daGeoinformaçãoRecife - PE, 08-09 de Nov de 2018.

ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL POR MEIO DA SUBTRAÇÃO DE IMAGEM NDVI DO MUNICIPIO DE URUÇUÍ, PI

ANTÔNIO JOSÉ DE SENA JUNIOR
GABRIELA DE SOUSA CRUZ
ABÍLIO GOMES FIGUEREDO NETO

Instituto Federal do Piaui - IFPI
Departamento de Informação, Ambiente, Saúde e Produção Alimentícia, Teresina. Piauí.
senageopro@gmail.com[1], gabrielascruz09@gmail.com [2], abiliotleo@hotmail.com [3]

RESUMO - O presente estudo tem como objetivo a análise das mudanças da cobertura vegetal do município de Uruçuí, PI, acontecidas nos últimos 23 anos, pela subtração de imagens NDVIs. Para realização do mesmo foram utilizadas imagens do satélite Landsat5 e Landsat 8, com datas de passagem 20/09/1994 e 21/10/2017, órbita 220 cenas 66 e 65, priorizando assim o período seco da região e cobertura de nuvens 10% para o quadrante da imagem. Os resultados mostram a eficiência da metodologia empregada na subtração de imagens NDVIs entre as duas datas analisadas, onde obteve-se resultados de 17% na classe de desmatamento, 71% na classe de não mudança e 12% na classe de regeneração. A predominância da classe de Não mudança da vegetação pode levar a uma interpretação muitas vezes errônea de uma condição ótima de preservação da área. Contudo os grandes índices de desmatamento do município de Uruçuí devido a supressão da cobertura vegetal natural relacionada a agricultura convencional, já vem causando disparidades socioambientais na região.

ABSTRACT - The present study was aimed at analyzing the vegetation cover changes in the municipality of Uruçuí, PI, occurred in the last 23 years, by subtraction of NDVI images. For the accomplishment of the same one was used images of the satellite Landsat 5 and Landsat 8, with dates of passage 09/20/1994 and 21/10/2017, orbit 220 scenes 66 and 65, thus giving priority to the dry period of the region and cloud cover 10 % for the quadrant of the image. The results show the efficiency of the methodology used in the subtraction of NDVI images between the two dates analyzed, where results of 17% in the deforestation class, 71% in the non-change class and 12% in the regeneration class were obtained. The predominance of the non-vegetation change class may lead us to an often erroneous interpretation of an optimal condition for preservation of the area. However, the large deforestation rates of the municipality of Uruçuí due to the suppression of the natural vegetation cover related to conventional agriculture, has already caused socioenvironmental disparities in the region.

1 INTRODUÇÃO

Com as práticas agropecuárias e extrativistas em ritmo crescente desde meados do século xx, com a expansão da agricultura moderna no mundo, a intervenção humana tem afetado em ritmo preocupante a composição dos biomas brasileiros. (Matinelliet al, 2010). O segundo maior Bioma do Brasil, Cerrado com sua localização no planalto central apareceu de forma atrativa para essa expansão agrícola. (Silva, 2005).

O Brasil desde sua colonização, vem sofrendo os impactos negativos de uma agricultura agressiva, sendo um pais em grande parte agrícola, os efeitos resultam do desmatamento de biomas como a Mata Atlântica, cerrados entre outros biomas afetados de forma alarmante. (Lima et al, 2005).Essa expansão agrícola pelo Cerrado pode ser explicado pelo credito rural subsidiado pelo governo federal na década de 70 do século XX, junto com o surgimento da agricultura convencional no mundo. Onde se promove uma modernização agroindustrial desencadeada no Cerrado brasileiro, acelerado nas décadas seguintes. (Lemes et al, 2008).

As consequências desse atrativo agroindustrial no Cerrado brasileiro tem se mostrado de forma degradante no contexto socioambiental, transformando consideravelmente este Bioma, com o excesso de desmatamento, compactação do solo, erosão, contaminação de rios, perca da biodiversidade entre outros problemas. (Cunha, 2008). O Cerrado piauiense ocupa toda a região sudoeste e parte do extremo sul do Estado e, deste total, estima-se que cerca de 4 milhões de hectares sejam adequados para o uso agrícola. (OLÍMPIO; MONTEIRO, 2012).Inicia-se então por volta de 1970 até por 1990, o domínio da agricultura moderna no estado do Piauí, se tornando assim como parte do polígono da soja, juntamente com Bahia e maranhão. (AGUIAR,2005).

Podemos observar vários fatores atrativos a esse tipo de agricultura moderna no estado do Piauí, como grandes extensões de terra, topografia plana, incentivos fiscais, apoiados por ideais de vazio demográfico, cultural e econômico da região do sul do estado. (Moraes, 2000).

Uruçuí é um dos municípios piauiense que merece destaque no crescimento agrícola. Com sua economia antes baseada principalmente na pecuária extensiva, cedeu rapidamente lugar a uma produção agrícola baseada no monocultivo de grãos como a soja e arroz, elevando significativamente seu acréscimo na economia do estado. (Carvalho, 2011). Contudo Conforme Rosolenet al. (2012b), a grande mudança da vegetação nativa, evidencia a grande expansão da agricultura convencional baseadas no cultivo de monoculturas em larga escala.Ferramentas como o monitoramento da cobertura vegetal, se faz de grande importância na preservação do meio ambiente e o no desenvolvimento sustentável. (Jepson, 2005).

O sensoriamento remoto é uma ferramenta que contribui de forma eficiente para o monitoramento ambiental da vegetação, torna possível analisar parâmetros que são fundamentais para avaliar a degradação ambiental (CASTRO et al., 2013).Devido ao progresso do acesso a informações referentes a imagens orbitais, esse levantamento da cobertura vegetal terrestre se torna eficaz e viável devido aos seus custos reduzidos, se mostrando eficiente por meio do sensoriamento remoto. (Mass, 1999). Imagens de satélites são, em fato, conjuntos de dados em formato matricial, cujos vetores x, y (localização) e z (valores radiométricos) são passíveis das mais variadas transformações algébricas para fins de realce espectral, espacial e análises estatísticas (MOREIRA, 2007).

Nos estudos envolvendo este tipo de monitoramento, é muito comum a utilização de sensores eletro-ópticos, como os da série Landsat, que geram imagens multiespectrais e multitemporais, a partir da detecção da energia refletida pelos alvos localizados na superfície em específicas faixas do espectro eletromagnético, principalmente na região do vermelho e do infravermelho próximo, onde a vegetação interage mais intensamente com a radiação solar incidente (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Segundo esses autores a vegetação reflete na faixa do infravermelho próximo e absorve na faixa do visível, sendo possível assim se obter a caracterização da situação da vegetação da região de Uruçuí.

Na busca de uma melhor compreensão das repostas da vegetação com base na radiação eletromagnética, foi desenvolvido inúmeros índices de vegetação, utilizados em larga escala para monitorar a cobertura vegetal. (Zanzariniet al, 2013). O índice que mais se destaca dentre uma infinidades de índices chama-se NormalizedDifferenceVegetation Index (NDVI) ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada. (Dorigo, 2007). Este índice é proposto por Rouseet al (1973), e é baseado da normalização dos dados espectrais das bandas do infravermelho próximo e da banda do vermelho. Favorecendo comparações espaciais e temporais da vegetação.

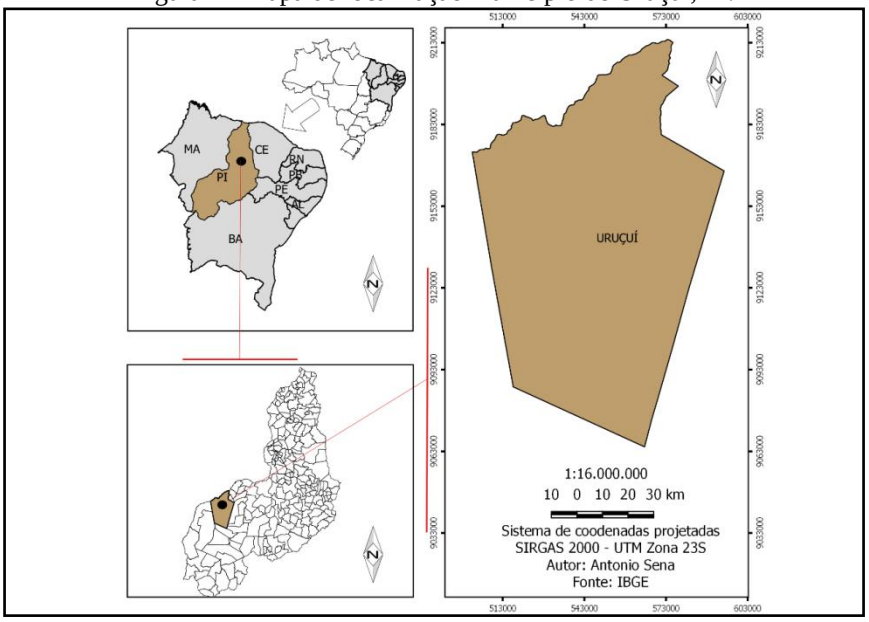
Diante do que foi exposto, esta pesquisa tem por base a análise da mudança da cobertura vegetal do município de Uruçuí, ocorridas entre os anos de 1994 a 2017, por meio da subtração de imagens originais obtidas pelos satélites Landasat-7 e Landsat-8.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

O estudo compreende a malha territorial de Uruçuí-PI, localizada na microrregião do Alto Parnaíba Piauiense. A área da unidade territorial é de 8.411,908 km2, tendo coordenada geográfica de latitude sul de 07º13’46’ e longitude de Greenwich 44º33’22’’ (IBGE, 2014).

Com um clima tropical subúmido quente, com o período seco com duração de cinco a seis meses e temperaturas médias de 21°c a 31c°. Sua vegetação se apresenta na forma de campo cerrado que se fez de grande atrativo aos investidores do agronegócio, na produção de grãos em lasca escala. (Fundação CEPRO, 2011).

Figura 1 - Mapa de localização município de Uruçuí, PI.



Fonte: Autor (2018)

Para se ter um retrato das mudanças da vegetação foram utilizadas imagens orbitais do sensor *ThematicMapper*(TM), a bordo do satélite LANDSAT 5 e imagens do sensor *OLI e TIRS* a bordo do satélite LANDSAT 8, disponibilizadas pela (USGS) - Serviço Geológico dos Estados Unidos, pelo endereço eletrônico https://earthexplorer.usgs.gov/. Na tabela 1 e 2 abaixo, identificamos as características dos sensores do satélite Landsat-5 e Landsat-8.

Tabela 1 - Bandas espectrais do sensor *ThematicMapper*(TM), a bordo do satélite LANDSAT 5.

N° da Banda	***Faixa do espectro (µm)***	***Região do Espectro***	***Resolução Espacial (m)***
1	*0,45 – 0, 52*	*Azul*	*30*
2	*0,52 – 0,60*	*Verde*	*30*
3	*0,63 – 0,69*	*Vermelho*	*30*
4	*0,76 – 0,90*	*Infra Próximo*	*30*
5	*1,55 – 1,75*	*Infra Médio*	*30*
6	*10,4 – 12,50*	*Infra Térmico*	*120*
7	*2,08 – 2,35*	*Infra Distante*	*30*

Fonte: Autor (2018)

Tabela 2 - Bandas espectrais do sensor *OLI e TIRS* a bordo do satélite LANDSAT 8.

N° da Banda	***Faixa do espectro (µm)***	***Região do Espectro***	***Resolução Espacial (m)***
1	*0,43 – 0,45*	*Aerossol, Costeira*	*30*
2	*0,45 – 0,51*	*Azul*	*30*
3	*0,53 – 0,59*	*Verde*	*30*
4	*0,64 – 0,67*	*Vermelho*	*30*
5	*0,85 – 0,88*	*Infra Próximo*	*30*
6	*1,57 – 1,65*	*Swir1*	*30*
7	*2,11 – 2,29*	*Swir2*	*30*
8	*0,50 – 0,68*	*Pancromático*	*15*
9	*1,36 – 1,38*	*Cirrus*	*30*

N° da Banda	*Faixa do espectro (µm)*	*Região do Espectro*	*Resolução Espacial (m)*
10	*10,60 – 11,19*	*-*	*100*
11	*11,50 – 12,51*	*-*	*100*

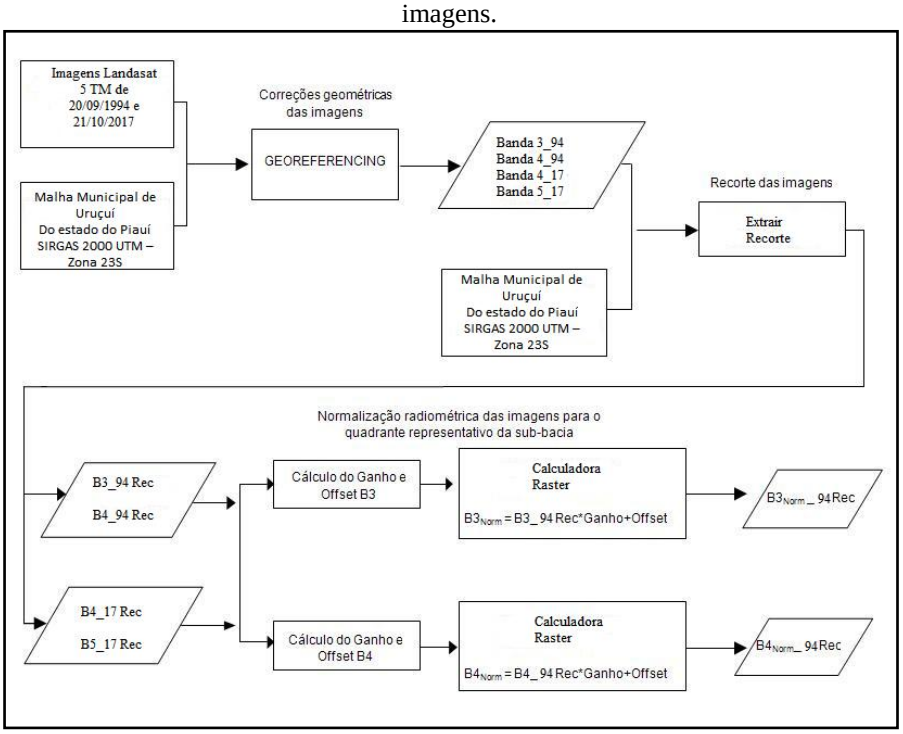
Fonte: Autor (2018)

A escolha dos satélites Landsat-5 e Landsat-8 é devido que as imagens Landsat representam a maior e mais antiga serie de dados orbitais existentes, sendo o Landsat-5 iniciou suas atividades em 01/03/1984 e mais atualmente Landsat-8 em 11/02/2013. Suprindo assim a necessidade da pesquisa, onde foram escolhidas datas da passagens de 20/09/1994 e 21/10/2017, órbita 220 cenas 66 e 65, priorizando assim o período seco da região e cobertura de nuvens 10% para o quadrante da imagem.

Foi realizado no ambiente Qgis 2.14, os procedimentos realizados na figura 2. A correção geométrica da imagem foi sua reprojeção para o sistema SIRGAS 2000/UTM zona 23S, levando em consideração que as imagens vem no sistema Wgs84/Zona 23N, sendo necessário essa reprojeção para padronização das imagens na zona 23S onde se encontra o município de Uruçuí.

Após esta etapa foi realizado o recorte das bandas 3, 4 do Landsat-5 e as bandas 4 e 5 do Landasat-8 com a malha territorial do município de Uruçuí fornecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Figura 2 - Representação esquemática dos processamentos utilizados para as correções geométricas e radiométricas das imagens.



Fonte: Autor (2018)

A correção radiométrica das imagens, parte essencial quando se analise series temporais de imagens, o métodoescolhido para essa fase foi o Método de Uniformização das Médias e Variâncias (UMV), utilizando as imagens de2017 como referência.

Neste método, a uniformização das médias e variâncias é feita por meio de uma transformação linear **f(x) = ax+ b**. Nas Equações 1, 2 e 3 são mostrados os cálculos das uniformizações das imagens, bem como dos Ganhos e dos
Offsets, necessários aos processos de normalização das bandas 3 (vermelho) e banda 4 (Infravermelho próximo) do anode 1994

$$S' = S.ganho + offset \quad (1)$$

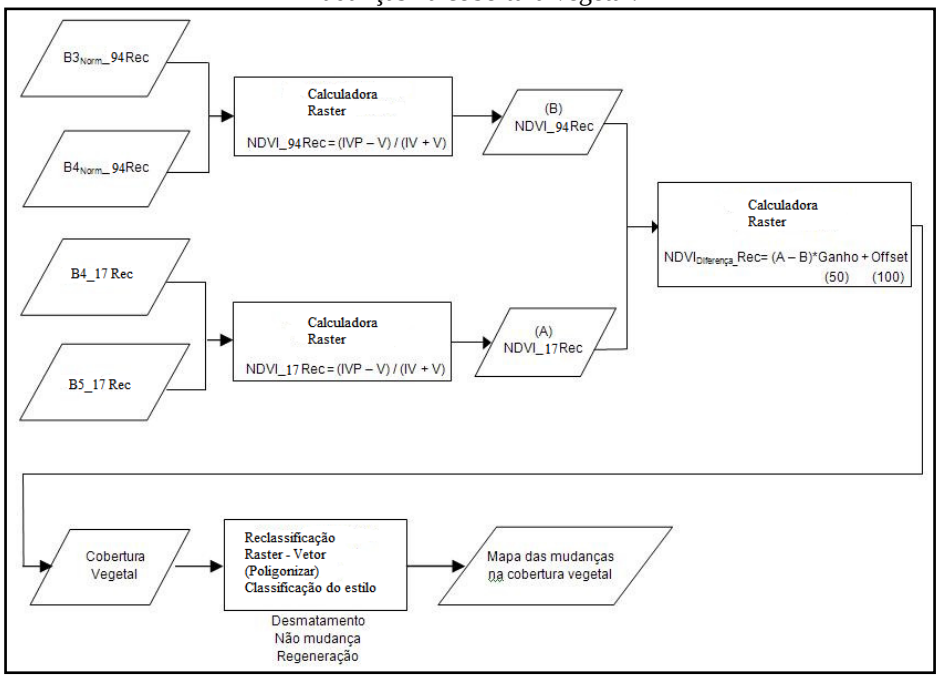
$$Ganho = \sqrt{\frac{\sigma^2 R}{\sigma^2 S}} \quad (2)$$

$$Offset = \mu_R - \sqrt{\frac{\sigma^2 R}{\sigma^2 S}} . \mu_S \quad (3)$$

Em que, **S'** é a imagem uniformizada; **S** a imagem de ajuste; $\sigma^2 R$ a variância da imagem de referência; $\sigma^2 S$ a variância da imagem de ajuste; μR a média da imagem de referência; e μS a média da imagem de ajuste.

Os NDVIs (Figura 3) foram obtidos por meio dos valores médios dos números digitais dos *pixels* para as janelas de reflectância de superfície da bandas 3 (vermelho) e banda 4 (infravermelho próximo).

Figura 3 - Representação esquemática dos processamentos utilizados para a obtenção dos NDVIs e para a avaliação das mudanças na cobertura vegetal.



Fonte: Autor (2018)

Concluído o cálculo dos NDVIS o próximo passo consiste na subtração da imagem de 2017 com a imagem de 1994, produzindo uma imagem residual representando assim as mudanças ocorridas no decorrer desses 23 anos.

No cálculo da subtração de imagens como segue a equação **NDVIDiferença= (A -B) *Ganho (50)+*Offset*(100)**, em que **NDVIDiferença** é a subtração de imagens dos índices de vegetação por diferença normalizada; **A**
referente a imagem NDVI do ano de 2017; **B** referente a imagem NDVI do ano de 1994; foram adotados ganho de 50 eoffset de 100 para se deslocar os números digitais dos pixels para positivo, evitando a compressão dos dados econsequentemente perca de informação.

Com os valores de **média,desvio padrão** e **variância** da imagem resultante da subtração dos NDVIS foidefinido as classes relativas à mudança da cobertura vegetal do município de Uruçuí, conforme os intervalos da (Tabela3) abaixo.

Tabela 3 - Intervalo e limites das classes representativas das mudanças da cobertura vegetal no município de Uruçuí-PI.

Classes	***Intervalos***
Desmatamento	(0, μ-σ)
Não Mudança	(μ-σ a μ+σ)
Regeneração	(μ+σ a 255)

Fonte: Autor (2018)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estatísticos das imagens do ano de 1994 e 2017 referentes respectivamente as bandas 3 e 4 Landsat-5 e bandas 4 e 5 Landsat-8 segue na (Tabela 4) abaixo.

Tabela 4 - Resultados estatísticos das imagens orbitais do sensor ThematicMapper (TM) do satélite LANDSAT 5 e LANDSAT 8 OLI/TIRS referentes a área de estudo.

Sensor/Banda/Ano	*Imagem*	*Média*	*Desvio Padrão*	*Variância*
LT5_B3_94	Ajuste	3.5	11.8	139.5
LT5_B4_94	Ajuste	5.1	17.2	297.4
LT8_B4_17	Referência	7.3	25.4	647.2
LT8_B5_17	Referência	9.5	33.0	1092.01

Fonte: Autor (2018)

Observa-se a necessidade das correções radiométricas das imagens, pela razão das diferenças de média e variância das imagens quando se é realizado processamento digital de imagens envolvendo datas diferentes. Vários fatores podem causar as distorções radiométricas das imagens como condições atmosféricas, iluminação, ângulos de visadas entre outros. (Hall et, 1991).

O resultado dos parâmetros da função de transformação linear **Ganho** e **Ofsset**, utilizados no método de uniformização das medias e variâncias são apresentados na (Tabela 5) abaixo.

Tabela 5 - Resultados dos parâmetros (Ganho e Offset) utilizados na uniformização das médias e variâncias das imagens de ajuste e imagens de referência.

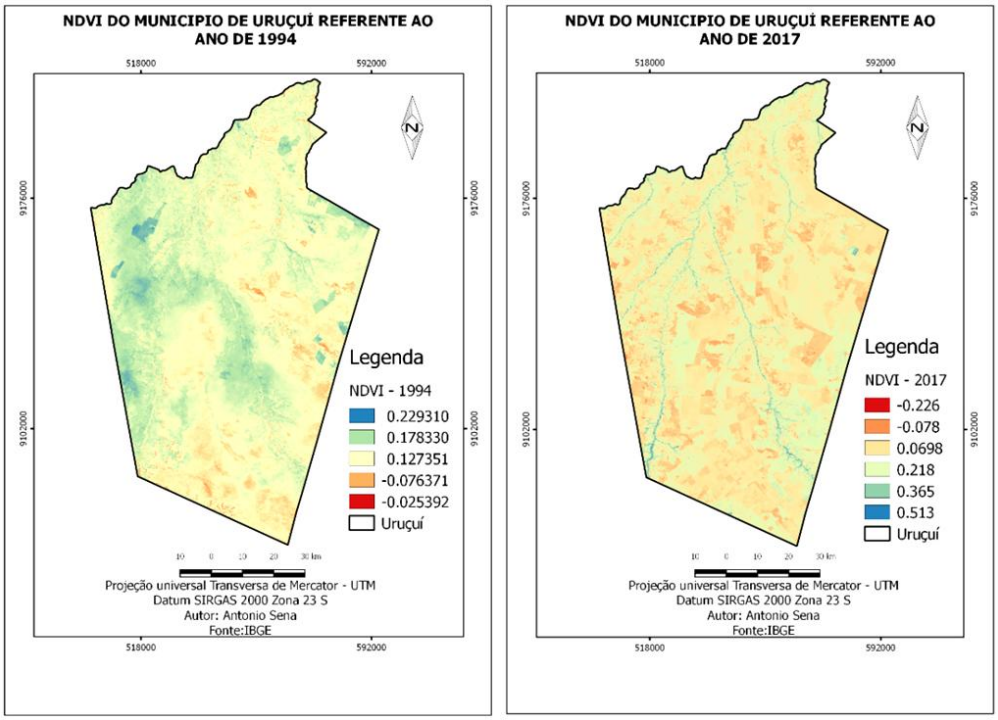
Sensor/Banda/Ano	**Ganho**	**Offset**
LT5_B3_94	0.46	3.27
LT5_B4_94	0.52	5.17
LT8_B4_17	Referência	Referência
LT8_B5_17	Referência	Referência

Fonte: Autor (2018)

Como destaca Ponzoni e Shimabukuro (2007), o **Ofsset** representa a quantidade dos números digitais mesmo quando o sensor não recebe nenhuma incidência de radiância do pixel e o **Ganho** a valores de ganho ajustados impedindo assim que os pixels sature positivamente quando observa objetos claros e também negativamente quando observa objetos escuros.

Os NDVI do ano de 1994 e 2017 são apresentados na (Figura 5) abaixo. Visivelmente se nota cenários muito diferentes entre os dois NDVI, tanto nas tonalidades como na abrangência espacial das cores. Os tons mais alaranjados e vermelhos nas imagens nos mostram áreas modificadas ou até mesmo sem vegetação nativa enquanto os tons verdes e azuis estão nos indicando uma boa e saudável cobertura vegetal indicando que seja vegetação nativa da região. Os valores de NDVI variam de -1 a 1, portanto quanto mais próximo de 1, maior o grau de verde da vegetação.

Figura 3 - Imagens de NDVI do município de Uruçuí, PI referente ao ano de 1994 e 2017.



Fonte: Autor (2018)

Os resultados apresentados pela Figura 5 nos deixa claro que no ano de 1994 havia muito mais cobertura de vegetação em seu estado natural, fato revelado por maiores áreas com tons verde e azul ou seja mais próximo de 1, indicando um maior grau de verde da vegetação. Já no caso do NDVI de 2017 podemos perceber parte significativa de tons alaranjados e vermelhos indicando tanto pela geométrica dos mesmos que na maior parte são áreas desmatadas e utilizadas na pratica de agricultura convencional, suprimindo assim grande parte da cobertura vegetal natural do município de Uruçuí.

De acordo com Barbosa et al (2006) A cerca da variabilidade de NDVI da região nordeste nos últimos 20 anos, pode-se relacionar a vários fatores a mudança da cobertura vegetal nativa como regime pluviométrico, dinâmica natural da vegetação e principalmente como se pode observar no caso de Uruçuí a ação antrópica do homem (agricultura, ocupação entre outras atividades degradantes).

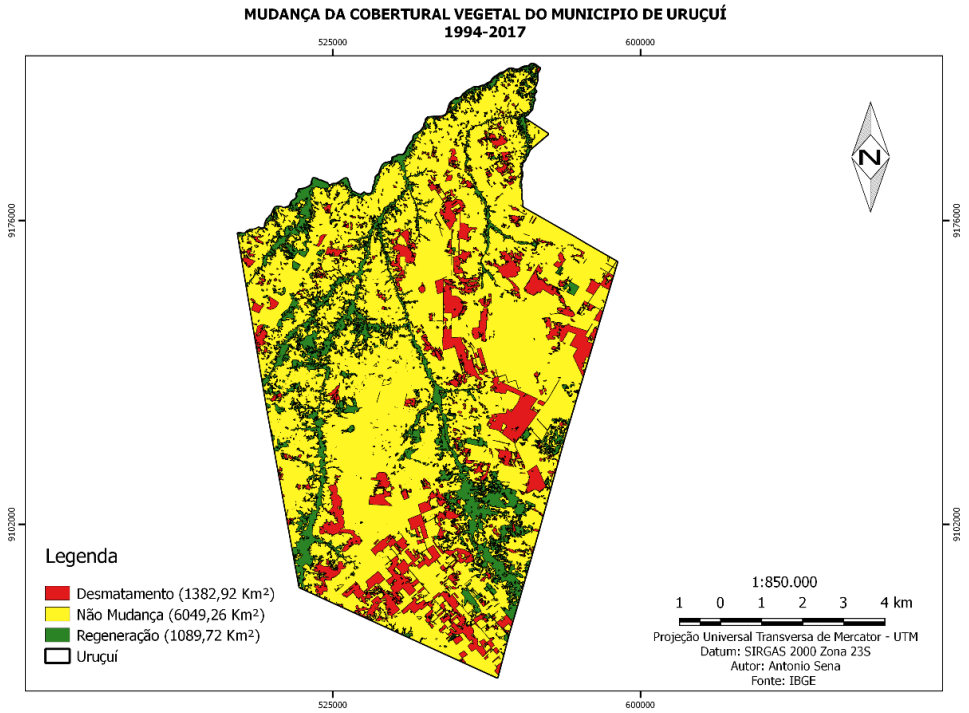
As classes representativas da mudança da cobertura vegetal de Uruçuí por meio da subtração de imagens de NDVI, foram definidos pelos novos parâmetros da imagem resultante, tendo média = 113.58, desvio padrão = 3.60 e variância = 12.96 como segue na Tabela 6 abaixo.

Tabela 6 - Quantificação das classes representativas referentes às mudanças da cobertura vegetal do município de Uruçuí - PI.

Classes	Área (Km²)	Área (%)
Desmatamento	13.829.247	16.22
Não Mudança	60.492.609	70.98
Regeneração	10.897.173	12.78

Fonte: Autor (2018)

Figura 4 - Mapeamento das mudanças na cobertura vegetal do município de Uruçuí, PI no período de 1994 a 2017.



Fonte: Autor (2018)

4. CONCLUSOES

De acordo com os resultados encontrados houve desmatamento em 6049.26 Km² (71%), podemos observaruma alta taxa desmatamento com 1382.92 Km² (16%), devido principalmente ao potencial da região para agriculturaconvencional de monocultura instalada no estado desde meados de 1970 e cerca de 1089.72 Km² (13%), deregeneração, decorrente do processo de crescimento natural da vegetação nativa ao longo do período estudado, podemosobservar essa maior recuperação próxima aos canais de água que percorrem o município.

Esses resultados confirmam a eficiência do método de subtração de imagem NDVI para caracterizar a mudançana cobertura vegetal de uma determinada região. A predominância da classe de Não mudança da vegetação pode noslevar a uma interpretação muitas vezes errônea de uma condição ótima de preservação da área.

Contudo os grandes índices de desmatamento do município de Uruçuí podem levar futuramente a problemasgraves como a erosão do solo, diminuição da retenção de água na superfície, diminuição no número de espéciesvegetais, empobrecimento do solo entre outros problemas que se analisado em uma esfera socioambiental num período
longo poderá causar transformações preocupantes ao município.

Referências Bibliográficas

AGUIAR, T.J.A. **Ocupação do Cerrado Piauiense: Modelo Agrícola e Desenvolvimento Sustentavel em Uruçuí.2005.** 111p. Dissertação (Mestrado em desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Piauí
(PRODEMA/

BARBOSA, H. A.; HUETE, A. R.; BAETHGEN, W.E.A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Regionof Brazil.**JournalofAridEnvironments**, v.67, p. 288-307, 2006.

CARVALHO, D.C.M. **Agricultura familiar em Uruçuí: multifuncionalidade e impactos ambientais**. Dissertação
(Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Teresina, PI: UFPI, 2011. 112p.

CASTRO, B.L.G.; SOUSA, E.F.F.; SILVA, L.R. et al. **Avaliação da supressão da vegetação e aumento datemperatura em áreas agrícolas do Oeste Baiano entre os anos de 1990 e 2010 por meio dos dadosLANDSAT/TM**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, abril de2013, INPE.

CUNHA, N.R.S.; LIMA, J.E.; GOMES, M.F.M.; BRAGA, M.J. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados. **RevistaBrasileira de Economia e Sociologia Rural**. v.46,n.2, p.291-323, 2008.

DORIGO, W. A.; MILLA, R. Z.; DE WIT, A. J. W.; BRAZILE, J.; SINGH, R.; SCHAEPMAN, M. E. **A reviewon reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling**.*InternationalJournal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v.9, p. 165-193, 2007.

FUNDAÇÃO CEPRO. **Diagnóstico socioeconômico do município de Uruçuí**. 2014. Disponível em: http://www.cepro.pi.gov.br/download/201106/ CEPRO21_0b5fab9677.pdf (acessado em 17 Março de 2018).

HALL, F. G.; STREBEL, D. E.; NICKESON, J. E.; GOETZ, S. J. Radiometric rectification: toward a commonradiometric response among multidate, multisensory images. **Remote SensingofEnvironment**, v. 35, p. 11-27, 1991.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Informações completas dacidade de Uruçuí**. 2014. Disponívelem: http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=221120&search=||infogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas (acessado em 17 Março 2018).

JEPSON, W. A disappearing biome?Reconsidering land-cover change in the Brazilian savanna.**The GeographicalJournal**, vol. 171, n. 2, p. 99-111, 2005.

LEMES, K.C.; LEMES, C.C.; FERREIRA, F.R.; PAULA, J.S.; MATOS, P.F.; A Modernização da Agricultura e os Impactos Socioespaciais. **RevistaMirante**, v.1, n.2, p.1-18, 2008.

LIMA, G. S.; RIBEIRO, G. A.; GONÇALVES, W. Avaliação da efetividade de manejo das unidades de conservação de proteção integral em Minas Gerais. **RevistaÁrvore**, v. 29, n. 4, p. 647-653, 2005.

MAAS, J. F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal ofRemoteSensing**, v. 20, n. 1, p. 139-152, 1999.

MARTINELLI, L. A.; NAYLOR, R.; VITOUSEK, P. M.; MOUTINHO, P. Agriculture in Brazil: impacts, costs, and opportunities for a sustentainable future. **CurrentOpinion inEnvironmental Sustainability**, v. 2, n.5-6, p. 431-438,2010.

MORAES, M.D.C. **Memórias de um sertão desencantado: modernização agrícola, narrativas e atores sociais nos cerrados do sudoeste piauiense**. 2000. 481p. Tese (Doutoradoem Ciências Sociais) – Universidade Estadual deCampinas, 2000.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa, MG: UFV, 3ª edição, 2007, 320 p.

OLÍMPIO J.A.; MONTEIRO, M.S.L. **Impacto ambiental da produção de grãos no cerrado piauiense**. 2012.
Disponível em: <http://www. emater.pi.gov.br>. Acesso em: 23 out. 2012.

PONZONI, F. J.; SHIMABURUKO, Y. E. **Sensoriamento remoto noestudo da vegetação.** 2007. 150p.

ROSOLEN, V.; RESENDE, T.M.; BORGES, E.N. et al. Impactos da substituição da vegetação original do Cerradobrasileiro em sistemas agrícolas: alteração do carbono orgânico do solo e 13C. Investigaciones Geográficas - **BoletíndelInstituto de Geografía**, n.79, p.39-47, 2012a.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. ***Third ERTS Symposium***. NASA SP-351 I: 309-317, 1973.

SILVA, A.A. Uso de sensoriamento remoto para o monitoramento ambiental dos Cerrados. In: **Simpósio Brasileiro deGeografia Física Aplicada**, 11, 2005, São Paulo. AnaisSão Paulo: USP, 2005.

ZANZARINI, F. V.; PISSARRA, T. C. T.; BRANDÃO, F. J. C.; TEIXEIRA, D. D. B. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. ***Revista brasileira de engenharia agrícola e***

ambiental, [s.l.], v.17, n.6, p. 608-614, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662013000600006.

ANÁLISE ESPACIAL DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA NO MUNICÍPIO DE IBIMIRIM – PERNAMBUCO

ANDRÉ VICTOR SILVA MENEZES
LEIDJANE MARIA MACIEL OLIVEIRA
BRUNO E SILVA URSULINO
JÉSSICA FERNANDA DE LIMA
ÁLVARO AUGUSTO DAS MONTANHAS FARIAS

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica e Departamento de Engenharia Civil, Recife, PE
andrevictorsm27@gmail.com, leidjaneoliveira@hotmail.com, brunosenga@gmail.com, fernanda.agrim@gmail.com, alvaroamfarias@gmail.com

RESUMO – O município de Ibimirim, possui um dos maiores açudes da região do Nordeste. Portanto, objetivou-se estimar e avaliar a distribuição espacial de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para o açude Poço da Cruz do município de Ibimirim, Pernambuco, utilizando imagens orbitais do satélite Landsat-5 de sensor TM, correspondentes a órbita 215, ponto 66, para a data de passagem: 31/08/2011, buscando a de menor incidência de nuvens na área e a processando com o algoritmo no GEDAL. Foi gerado o mapa temático da região para análise dos valores do NDVI, onde com eles pode-se verificar os dados referentes à vegetação, corpo hídrico, solo exposto e área urbana.

ABSTRACT - The township of Ibimirim, has one of the largest reservoirs in the Northeast region. Therefore, the objective of this study was to estimate and evaluate the spatial distribution of the Normalized Difference Vegetation Index for the Poço da Cruz reservoir in the city of Ibimirim, Pernambuco, using orbital images of the Landsat-5 sensor satellite, corresponding to orbit 215, point 66, for the date of passage: 08/31/2011, seeking the one of lower incidence of clouds in the area and processing it with the algorithm in GEDAL. The thematic map of the region was generated to analyze the NDVI values, where they can verify the data referring to vegetation, water body, exposed soil and urban area.

1. INTRODUÇÃO

O emprego do Sensoriamento Remoto Orbital é considerado um avanço no estudo de ambientes urbanos e ecossistemas devido a sua capacidade de trabalhar em escalas regionais, custo econômico baixo, praticidade na coleta de dados, rapidez e, porque em comparação com métodos tradicionais, é capaz de fazer o registro permanente da área ou objeto de estudo com elevado grau de acurácia (FERREIRA et al., 2001).

Ao longo das últimas duas décadas, as técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) possibilitaram o monitoramento de diferentes e grandes áreas nos diversos biomas do mundo, com o intuito de determinar os parâmetros biofísicos à superfície, analisados em diferentes escalas espaciais e temporais. O estudo de Oliveira et al. (2014), que estimaram a evapotranspiração a partir de imagens de satélite em uma bacia hidrográfica do estado de Pernambuco, atingiu resultados satisfatórios no estudo, mesmo com presença de nuvens na área analisada.

Sabe-se que o crescimento de áreas urbanas e o uso do solo por parte da agricultura modificam as características do clima local alterando os padrões e a magnitude da interação entre a radiação proveniente do Sol e o solo e, consequentemente, os processos de troca de energia no sistema solo-planta-atmosfera (GARTLAND, 2008). A mudança na cobertura do solo impacta inicialmente o albedo da superfície (CARDOZO et al., 2009).

A especialização dessas variáveis tem se tornado um desafio. No entanto, de acordo com Liberato e Nascimento (2011), a evolução das técnicas de Sensoriamento Remoto proporcionou a estimativa de parâmetros biofísicos de grandes áreas, com rapidez e baixo custo, a partir da utilização de imagens obtidas por sensores instalados em satélites.

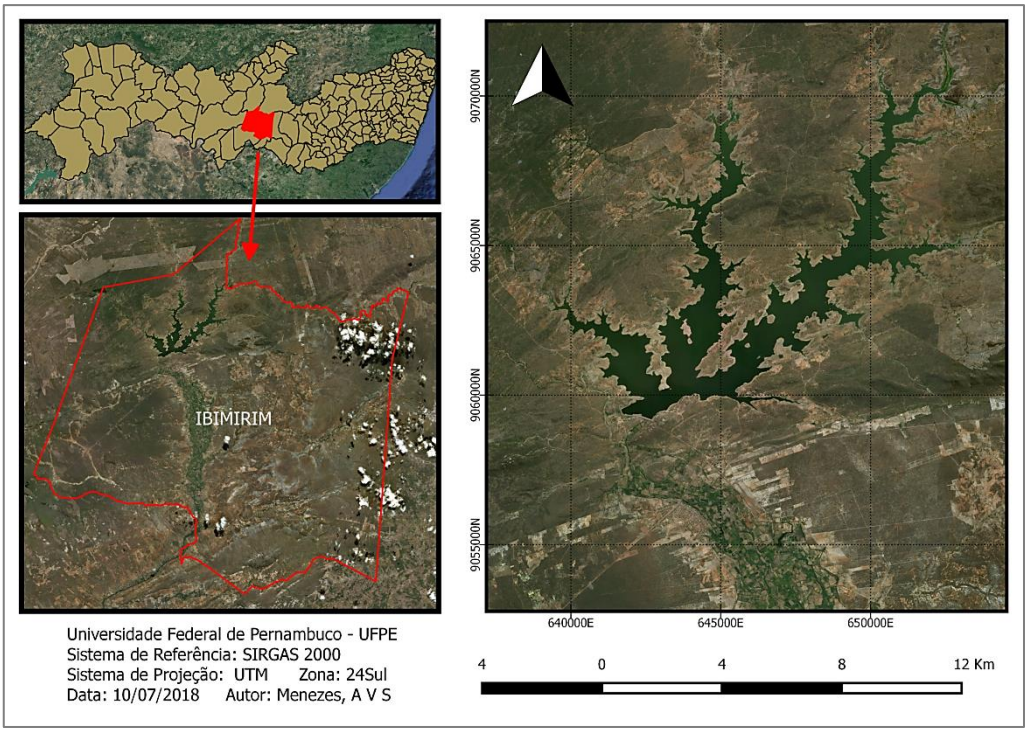
Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi analisar a distribuição espacial do índice de vegetação por diferença

normalizada (NDVI), estimado por imagens de satélite do Landsat 5 – TM, para o Açude Poço da Cruz do município de Ibimirim – Pernambuco, localizado na bacia de Moxotó.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

Ibimirim é um município do estado de Pernambuco, no Brasil (Figura 1). Com uma área total de 1.901,5 Km², limita-se ao norte com os municípios de Custódia e Sertânia, ao sul com Inajá e Manari, a leste com Tupanatinga e oeste com Inajá e Floresta. Sua sede situa-se nas coordenadas UTM 643995mE e 9056033mN no Sistema geodésico de referência Sirgas2000, com altitude de 400 metros acima do nível do mar. O mesmo está a 339 Km da capital, Recife, com acesso pelas rodovias BR-232, BR-110 e via Cruzeiro do Nordeste, e conta com uma população de 24.340 de habitantes, sendo 13.496 na área urbana e 10.844 na área rural (IBGE, 2000). A principal atividade econômica na região é a agricultura e o comércio. No município, o período chuvoso ocorre entre os meses de março e julho (APAC, 2018). As temperaturas variam de acordo com a época do ano, com máximas de 30 °C a 37 °C e mínimas de 14 °C e 23 °C, no verão; e no inverno, máximas de 26 °C e 33 °C e mínimas de 11 °C e 16 °C.

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo, Ibimirim – Pernambuco.



Fonte: Autores

Para o estudo, foram utilizadas imagens Thematic Mapper – TM, a bordo do satélite Landsat 5, e alguns dados complementares do mesmo, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Metadados da imagem TM Landsat 5

Data de aquisição	Hora da passagem	Elevação do Sol
31/08/2011	12h24min	54,49278004

A cena utilizada no estudo foi adquirida junto à USGS (United States Geological Survey), compreendendo a órbita 215 e ponto 066, sendo composta por sete bandas espectrais, cujas características principais estão descritas na Tabela 2. Esse dia foi selecionado por não apresentar cobertura de nuvens sobre a região durante a passagem do satélite.

Tabela 2 – Descrição das bandas do Landsat 5 (TM), com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – a e máxima – b) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA)

Bandas	Comprimento de onda (μm)	Coeficientes de Calibração (Wm^{-2} sr^{-1} μm^{-1})		Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera – Kλi (Wm^{-2} μm^{-1})
		a	b (2011)	
1 (Azul)	0,452 – 0,518	-1,52	193	1983
2 (verde)	0,528 – 0,609	-2,84	365	1796
3 (vermelho)	0,626 – 0,693	-1,17	264	1536
4 (IV-próximo)	0,776 – 0,904	-1,51	221	1031
5 (IV-médio)	1,567 – 1,784	-0,37	30,2	220
6 (IV-termal)	10,450 – 12,420	1,2378	15,303	-
7 (IV-médio)	2,097 – 2,349	-0,15	16,5	83,44

Fonte: Adaptado de Chander et al. (2009)

Utilizou-se também o software QGIS 2.14.18 Essen para empilhar as bandas, recortar a área de interesse e reprojetar para o sistema de coordenadas SIRGAS2000. Também foi desenvolvido um modelador de processamento no algoritmo do Geospatial Data Abstraction Library (GDAL), para cálculo e obtenção do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI).

A primeira etapa do processamento foi à calibração radiométrica, que consiste na conversão do número digital que varia de 0 a 255 de cada pixel da imagem na radiância espectral de cada banda ($L_{\lambda i}$), com a aplicação da equação 1 de Markham & Baker (1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + (b_i - a_i) / 255 * ND \quad (1)$$

em que: $L_{\lambda i}$ = radiância espectral de cada banda (Wm^{-2} sr^{-1} μm^{-1}), "a" e "b" = radiâncias espectrais mínimas e máximas (Wm^{-2} sr^{-1} μm^{-1}) obtidos em Chander, Markham e Helder, (2009); ND = intensidade do pixel (número inteiro entre 0 e 255) correspondente a referida cada banda do TM Landsat 5, presentes na Tabela 2.

A reflectância monocromática de cada banda ($\rho_{\lambda i}$), corresponde à razão entre o fluxo de radiação refletida por cada banda e o fluxo de radiação incidente, sendo obtida por Allen et al. (2002) como demonstra a equação 2:

$$\rho_{\lambda i} = \pi * L_{\lambda i} / K_{\lambda i} * \cos Z * d_r \quad (2)$$

em que: $\rho_{\lambda i}$ = reflectância monocromática de cada banda (Wm^{-2} sr^{-1} μm^{-1}), $L_{\lambda i}$ = radiância espectral de cada banda (Wm^{-2} sr^{-1} μm^{-1}), $k_{\lambda i}$ = irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera (Wm^{-2} sr^{-1} μm^{-1}) (Tabela 1), Z = ângulo zenital solar e d_r = quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_o) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DSA), E = ângulo de elevação do Sol no metadados da imagem.

Para se calcular os valores de: CosZ e d_r, utiliza-se as seguintes equações 3 e 4:

$$\text{CosZ} = \cos(\pi/2 - E) \text{ em que o argumento do cos está em radianos} \quad (3)$$

$$d_r = 1 + 0{,}033 \cos(\text{DSA} * 2\pi / 365) \quad (4)$$

em que: E = elevação do Sol em graus (para 2011 = 54,49278004) e o DAS = dias até a data da imagem (para 2011 = 242).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) permite a detecção de mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento e atividades da vegetação, possibilitando o perfil temporal de crescimento e pico de verde. Apresenta uma variação entre -1 e +1, sendo que, em superfícies com vegetação verde, os valores variam de 0 a 1 e, na água ou nuvens, os valores predominam menores que zero, sendo obtido pela equação 5 de Rouse et al. (1973):

$$NDVI = \rho_{IVp} - \rho_V / \rho_{IVp} + \rho_V \quad (5)$$

em que: ρ_{IVp} = reflectância da banda do infravermelho próximo (reflectância da banda 4) e ρ_V = reflectância da banda do vermelho (reflectância da banda 3).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 apresenta os resultados do índice NDVI para a área de estudo. De acordo com Huete & Tucker (1991), os valores de NDVI para os solos expostos são, geralmente, na faixa de 0,05 a 0,30, entretanto devido às propriedades óticas do solo, não se pode definir uma faixa rigorosa de valores de NDVI para solos com pouca ou nenhuma vegetação. A região demarcada com NDVI entre 0,24 a 0,03 representam regiões com vegetação estressada ou área degradada pela ação antrópica, enquanto as áreas com NDVI maior que 0,44, de fato, são regiões de vegetação, em sua maioria os perímetros irrigados.

A Tabela 3 apresenta os parâmetros estatísticos de mínimo, máximo, média e desvio padrão, para o NDVI da imagem utilizada na área de estudo. Como pode ser observada, a variação do NDVI foi de -0,387 a 0,708, com média de 0,215 e desvio padrão de 0,102. Para o entorno do reservatório de Itaparica-PE, Matos et al. (2013) encontraram valores mínimos, máximos e média de -0,857, 0,791 e 0,19, respectivamente, do NDVI para o ano de 2010, utilizando imagens do Landsat 5. Já Santiago et al. (2009), em um estudo realizado no entorno da Barragem do Botafogo - PE, observaram variações no NDVI entre -0,05 e 0,812. Os valores negativos representam a presença do corpo hídrico extenso na área, que é o açude Poço de Cruz e o Rio Moxotó, que percorre o município até chegar ao açude.

Figura 2 – Resultado do NDVI da área de estudo no período de 31/08/2011, no sistema de referência SIRGAS2000.

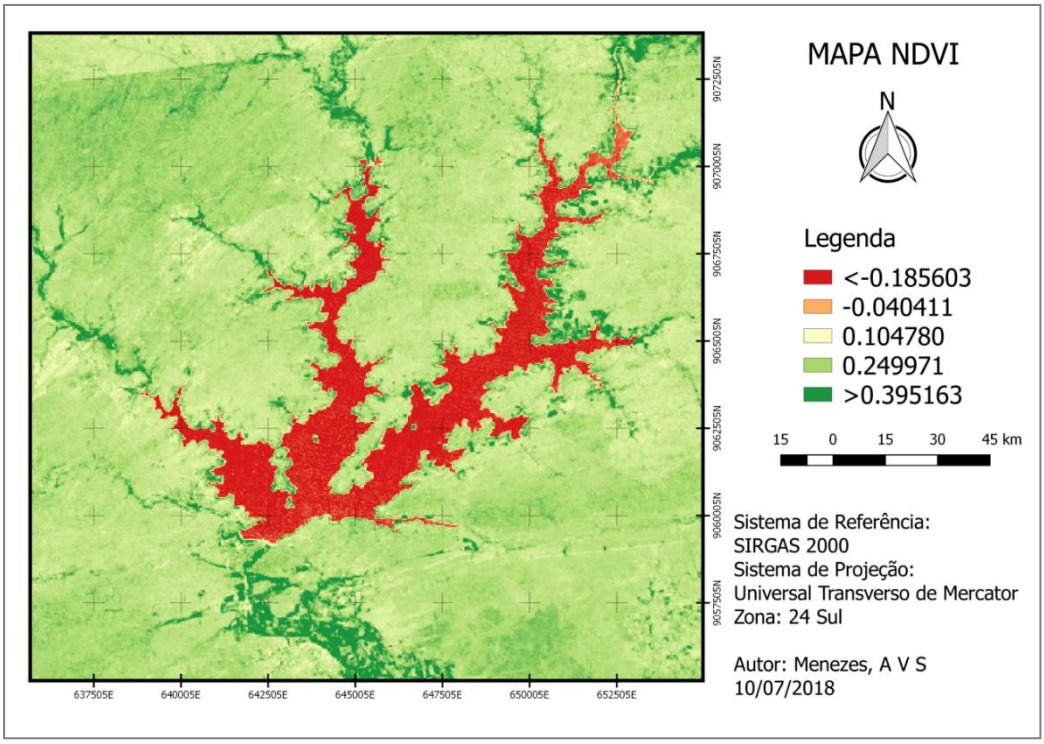


Tabela 3 - Valores estatísticos do NDVI, a partir do software QGIS.

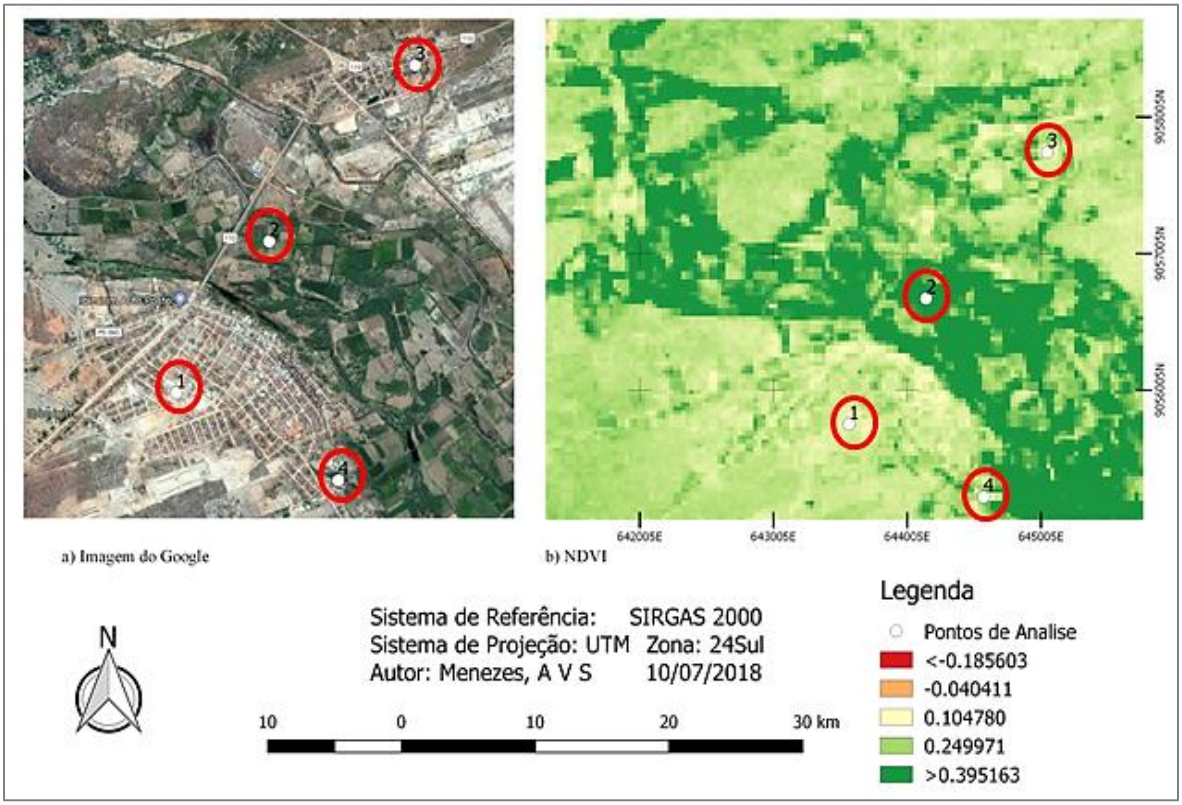
NDVI	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
	-0,387	0,708	0,215	0,102

Para melhor entendimento do resultado obtido, foi realizada uma análise de pixel sobre quatro pontos aleatórios, para amostra, em comparação visual com uma imagem de satélite da base do Google, Figura 3.

Na Tabela 4 observaram-se os valores de cada pixel do NDVI adotado para a análise. É possível verificar que para os pontos 1 e 3 ocorre a presença antrópica da área urbana do município de Ibimirim e povoados, com valores os valores de 0,157 e 0,101, respectivamente. O valor negativo do ponto 4 (-0,020) é indicativo de presença de corpo hídrico na região, mesmo em pequena quantidade. Já no ponto 2, o valor de 0,605 representa feições com vegetação fotossinteticamente ativa além de possuir uma taxa de umidade relativa, devido ao fato de se encontrar nas imediações dos corpos hídricos adjacentes. Estes resultados condizem com Oliveira et al. (2013), quando detectaram NDVI superior

à 0,80 na bacia hidrográfica do rio Tapacurá.

Figura 3 – Mapa de comparação, imagem do Google de 2018 e o NDVI de 2011 (em SIRGAS2000), com os pontos para análise.



Fonte: Autores

Tabela 4 – Análise dos pontos aferidos, a partir do software QGIS.

Pontos	**1**	**2**	**3**	**4**
Valores do NDVI	0,157	0,605	0,101	-0,020

4. CONCLUSÕES

As técnicas de Sensoriamento Remoto possibilitaram a análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), para o município de Ibimirim – PE e povoados adjacentes. A área em estudo apresentou variações sazonais nos valores de NDVI, por conta da vegetação ser predominante de plantas de porte mais baixo e das culturas agropecuárias, serem irrigadas pelo açude e pelo Rio Moxotó. Com isso, pelos resultados encontrados nesse estudo, podemos atestar que nesse sitio há solo exposto na região, em virtude da substituição da vegetação nativa por culturas, provocando a erosão do solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), pela disponibilização dos materiais e dados para realização da pesquisa e; a FACEPE pela bolsa de doutorado do terceiro autor.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSSEN, W. (2002). **“SEBAL: Surface Energy**

Balance Algorithms for Land, Idaho implementation". Idaho: Waters Consulting: University of Idaho: Water Watch, Inc. 2002. 97 p. (Advanced Training and Users Manual, version 1.0).

APAC, Agência Pernambucana de Águas e Clima, Monitoramento Pluviométrico. (2018). Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em julho/2018.

CARDOZO, F. S.; PEREIRA, G.; SILVA, F. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; MORAES, E. C. (2009). **"Análise da estimativa da refletância e albedo em áreas alagadas do Pantanal"**. Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.392-401, 2009.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. (2009). **"Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors"**. Remote Sensing of Environment, v. 113, p. 893–903.

FERREIRA, M.E.; ANDRADE, L. R. M.; SANO, E.E; CARVALHO, A. M. (2001). "**Uso de processadores de imagens digitais na avaliação da taxa de cobertura do solo"**. Congresso Brasileiro Da Ciência Do Solo, 28. 2001, Londrina. Ciência do solo: Fator de produtividade competitiva com sustentabilidade; [resumos]. Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Embrapa Soja, p. 284.

GARTLAND, L. (2008). **"Heat islands: understanding and mitigating heat urban areas"**. Published by Earthscan. UK and USA. pp.1-215.

HUETE, A.R.; TUCKER, C.J. (1991). **"Investigation of soil influence in AVHRR red and near infrared vegetation index imagery"**. International Journal of Remote Sensing, v.12, p. 1223 – 1242.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **"Contagem da população"**. Ministério do planejamento. Departamento de população e indicadores sociais, 2000.

LIBERATO, A. M.; NASCIMENTO, G. S. L. "**Estimativa de albedo e índice de área foliar em região tropical úmida através do algoritmo SEBAL"**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE. p. 6113.

MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. (1987). **"Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances"**. International. Journal of Remote Sensing, v.8, n.3, pp.517-523.

MATOS, R.C. M.; CANDEIAS, A.L.B.; AZEVEDO, J.R.G.; HATTERMANN, F.F.; KOCH, H.; KLEINSCHMIT, B. (2015). **"Análise multitemporal do albedo, NDVI e temperatura no entorno do Reservatório de Itaparica – PE: anos de 1985 e 2010"**. Revista Brasileira de Cartografia 3(67), pp. 545 – 554.

OLIVEIRA, M. M. DE; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B. DA; MOURA, A. E. S. S. DE; GUSMÃO, A. C. V. E L.; SALGUEIRO, J. H. P. DE. B. (2013). **"Índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do rio Tapacurá – PE"**, in Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, RS, Nov. 2013.

OLIVEIRA, L. M.; MONTENEGRO, S. M.; SILVA, B. B.; ANTONINO, A. C.; MOURA, A. E. (2014). **"Evapotranspiração real em bacia hidrográfica do Nordeste brasileiro por meio do SEBAL e produtos MODIS"**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande – PB, v. 18, n. 10, pp. 1039-1046.

ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A. and DEERING, D.W. (1973). **"Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS"**. In 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I, pp. 309–317.

SANTIAGO, M.M.; SILVA, H.A.; GALVINCIO, J.D.; OLIVEIRA, T.H. (2009). **"Análise da Cobertura Vegetal Através dos Índices de Vegetação (NDVI, SAVI e IAF) no Entorno da Barragem do Botafogo-PE"**. In anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, pp. 3003-3009.

USGS - United States Geological Survey. Earth Explore. 2018. Disponível em:< https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: Julho de 2018.

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL DO MUNICÍPIO DE ARCOVERDE

MANUELLA LIMA DAMASCENO 1
JOÃO ANTONIO DOS SANTOS PEREIRA 2
CARLOS ALBERTO BORBA SCHULER 3

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
manuellalimaufpe@gmail.com, antoniopereira278@gmail.com, cschuler@ufpe.br

RESUMO - Considerando a vegetação um parâmetro indicador da qualidade ambiental, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise espaço-temporal da cobertura vegetal do município do Arcoverde no período de 2009-2010 através de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Utilizou-se imagens do satélite LANDSAT 5-TM, para as datas de passagem: 20 de novembro do ano de 2009 e 29 de setembro de 2010. As imagens foram processadas utilizando-se o software QGIS versão 2.14 e após as etapas de calibração radiométrica e reflectância, foram geradas cartas temáticas de albedo da superfície, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Área Foliar (IAF) e saldo de radiação. A análise do comportamento do NDVI e do IAF, permitiu concluir que a precipitação pluviométrica foi identificada como fator de controle decisivo da tendência destes parâmetros, uma vez que condiciona a cobertura da superfície do solo. O albedo de superfície e o saldo de radiação tiveram comportamento similar aos índices de vegetação e os resultados foram semelhantes aos encontrados na literatura.

ABSTRACT - Considering vegetation an indicator parameter of environmental quality, the present work had the objective of performing a space-time analysis of the vegetation cover of the municipality of Arcoverde in the 2009-2010 period through geoprocessing and remote sensing techniques. Images of the LANDSAT 5-TM satellite were used for the crossing dates: November 20, 2009 and September 29, 2010. Images were processed using QGIS software version 2.14 and after the radiometric calibration steps and reflectance, thematic maps of surface albedo, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Foliar Area Index (LAI) and radiation balance were generated. The analysis of the NDVI and IAF behavior allowed to conclude that rainfall was identified as a decisive control factor of the trend of these parameters, since it conditions the soil surface cover. The surface albedo and the radiation balance had similar behavior to the vegetation indexes and the results were similar to those found in the literature.

1 INTRODUÇÃO

A cobertura vegetal tem grande importância na proteção ambiental, porque evita o impacto direto das gotas de chuva no solo, reduzindo a desagregação das partículas e com isso impedindo o aumento dos índices de erosão, ao mesmo tempo em que evita compactação do solo, no qual diminui a capacidade de absorção de água, além de dar suporte a uma vida silvestre dependente, seja fauna ou flora, aumentando a porosidade e a permeabilidade do solo (Coelho et al., 2015).

Nesse sentido, diversos índices de vegetação têm sido propostos na literatura com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas faixas espectrais do visível e do infravermelho próximo, como o Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) (Rouse et al., 1973) e o Índice de Área Foliar (IAF) (Allen et al. (2002). Esses índices são relacionados a variáveis biofísicas da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar, além de minimizarem os efeitos de iluminação da cena, declividade da superfície e geometria de aquisição, que influenciam os valores de refletância da vegetação e são citados por Ponzoni et al., (2012). O referido autor evidencia ainda que quanto maior for à densidade da cobertura vegetal de uma determinada área, maior será a reflectância na região do visível, em razão da maior oferta de pigmentos fotossintetizantes.

Em regiões áridas e semiáridas de todo o mundo, há diversos estudos que utilizaram o NDVI e o IAF para a classificação da cobertura terrestre com base nas variáveis ambientais (clima, solo, geologia) que influenciam a variação das características fenológicas das plantas. Nesse contexto, são destacadas as pesquisas de Weiss *et al*. (2004) que utilizou o NDVI para analisar 11 anos (1990-2000) de variabilidade sazonal e interanual no centro do Novo México, EUA e Karnieli (2000), que aplicou o NDVI para monitorar durante dois anos a cobertura vegetal no deserto de Negev, Israel. Ramos et. al (2010), utilizaram o NDVI para analisar a degradação no interior do Parque Nacional Boqueirão de Onça (PNBO), no sub-médio da Bacia do Rio São Francisco e aponta este índice de vegetação como sendo mais sensível a vegetação esparsa, como é o caso da caatinga.

Outros parâmetros biofísicos empregados no monitoramento ambiental são: albedo da superfície e o saldo de radiação, este último refere-se ao balanço entre as entradas e saídas de radiação de ondas curtas (Sol) e longas (atmosfera). Uma das ferramentas que tem se apresentado ao estudo do monitoramento ambiental em grandes áreas quantificando parâmetros biofísicos como os citados, é o Sensoriamento Remoto (SR), já que os métodos convencionais representam grande dispêndio de recursos materiais e humanos. Esta tecnologia, constitui-se uma solução de baixo custo e abrangência de grandes áreas geográficas e registros temporais. Dentre outros usos, detecta alterações na cobertura do solo e presença de água, proporcionando através de índices de vegetação, o diagnóstico e planejamento socioambiental (Ferreira et al., 2001).

Os autores Hoppe & Ulbricht (1978) citam que as imagens do satélite LANDSAT podem ser úteis não apenas para levantamentos em pequena escala, mas para mapeamentos mais detalhados. Souza et al (2008), utilizando imagens do satélite LANDSAT 5 e estimando parâmetros biofísicos, realizaram um estudo da evolução da cobertura vegetal dos municípios de Boa Vista-PB, chegando à conclusão que a cobertura vegetal deste município foi reduzida ao longo do período de 1987 a 2004, comprovando a eficiência das técnicas aplicadas. Conforme Sá (2008), a contribuição dos índices de vegetação, sobretudo, o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) têm se mostrado satisfatória na avaliação da cobertura vegetal, podendo ser utilizado no monitoramento ambiental e na identificação de possíveis alterações do uso e ocupação do solo em determinada região.

Sendo a Caatinga o único e exclusivo bioma brasileiro, tem-se a necessidade da sua conservação, tendo em vista a manutenção do seu alto grau de endemismo e riqueza de espécies (Queiroz, 2009), pois, ao longo do processo de uso e ocupação do espaço semiárido, este bioma vêm passando por intensos processos de degradação devido às práticas agropecuárias e o extrativismo vegetal, realizados de forma intensiva resultando na perda da cobertura vegetal. No município de Arcoverde, este tipo de cobertura vegetal vem passando por diversos processos de deterioração ambiental devido a rápida e inadequada expansão da malha urbana, entre outros processos, conforme pode-se constatar nos trabalhos efetuados por Koechlin (1980), Sousa (2007), Nascimento (2013), dentre outros estudos voltados para a análise da questão ambiental na área de abrangência do bioma Caatinga.

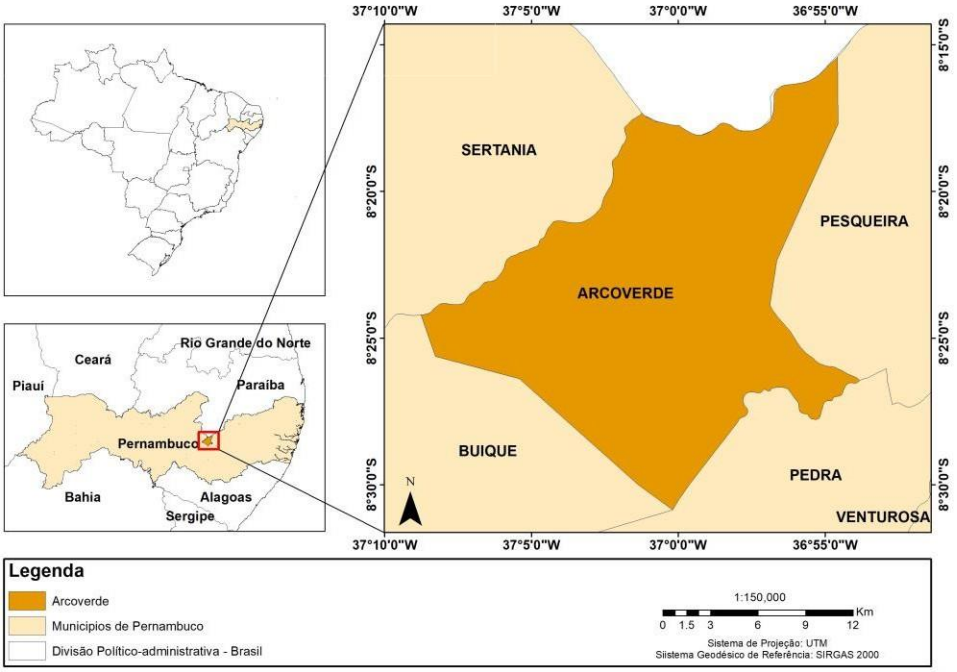
Diante das características ambientais apresentadas e considerando a vegetação um parâmetro indicador da qualidade ambiental, o presente trabalho buscou analisar a distribuição espaço-temporal da cobertura vegetal a partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Área Foliar (IAF), Albedo da superfície e do Saldo de radiação, considerando-se dados de precipitação pluviométrica e utilizando-se técnicas de sensoriamento remoto orbital para a área de abrangência do município de Arcoverde.

2. Material e métodos

2.1 Caracterização da área de estudo

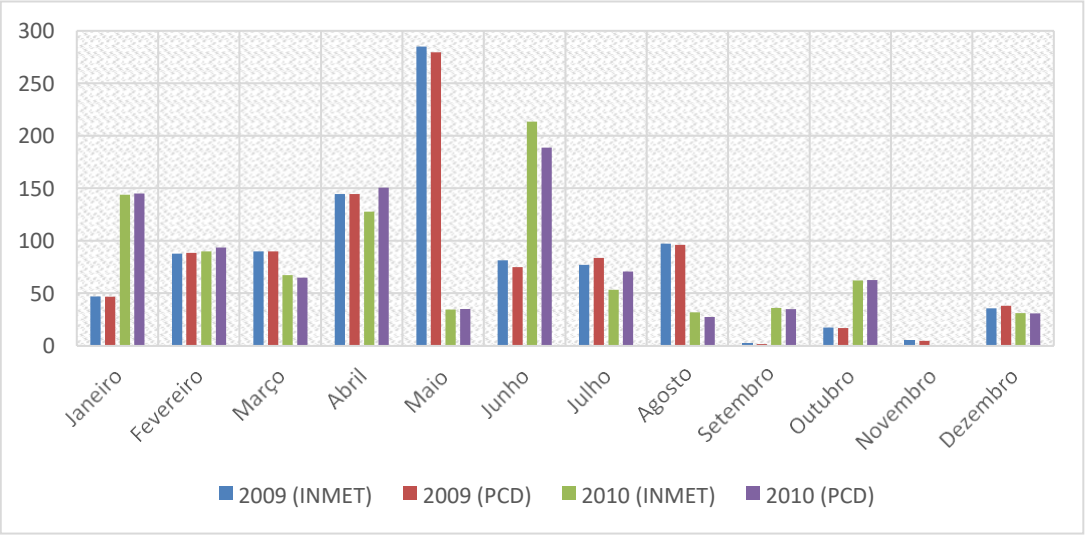
A área de estudo compreende o município de Arcoverde, que está localizado na mesorregião Sertão e na Microrregião Sertão do Moxotó no Estado de Pernambuco, limitando-se ao norte com o Estado da Paraíba, ao sul com Buíque e Pedra, a leste com Pesqueira e a oeste com Sertânia (Figura 1). A área municipal ocupa 379 km² e representa 0.38 % do Estado de Pernambuco. Está inserido nas Folhas SUDENE de Sertânia, Pesqueira, Venturosa e Buíque na escala 1:100.000. A sede do município tem uma altitude aproximada de 663 metros e coordenadas geográficas de 08º 25’08” latitude sul e 37º 03’14” longitude oeste, distando 254 km da capital, cujo acesso é feito pela BR-232.

Figura 1 – Mapa de localização do município de Arcoverde.



De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Bshs', com precipitação pluviométrica média anual de 653 mm, conforme dados de pluviométricos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O Gráfico 1 mostra a precipitação mensal média relativa aos dois anos estudados, obtidos nas duas estações pluviométricas utilizadas no estudo: INMET e Plataforma de Coleta de Dados de Pernambuco (PCD). O período chuvoso inicia no mês de janeiro ou fevereiro estendendo-se até julho (APAC, 2017). As temperaturas médias variam entre 12 e 25 °C. A vegetação é constituída por florestas Caducifólias e Subcaducifólias (CPRM, 2005; IBGE, 2008).

Gráfico 1 – Precipitação mensal média do município de Arcoverde. Fonte: INMET e PCD.

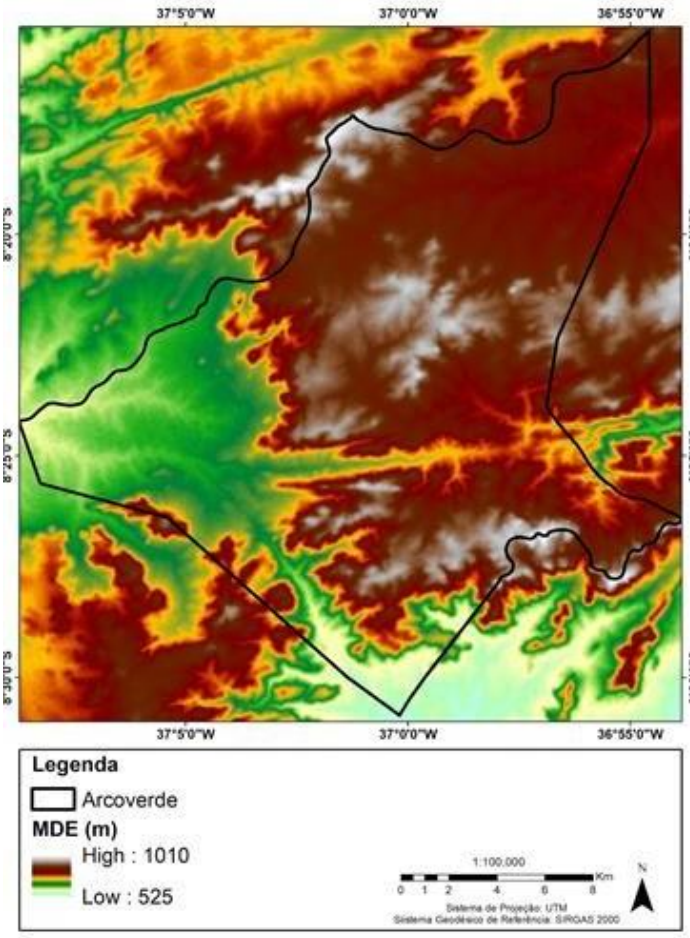


2.2 Modelo Digital de Elevação

O Modelo Digital de Elevação (Figura 2) das cenas foi utilizado na geração do mapa de altitude e reamostrado para 30x30m, proporcionando a estimativa da pressão atmosférica em cada pixel. Espacializar as áreas de encostas,

afloramentos e de maior altitude, ajuda a entender a relação destas regiões com a vegetação de maior porte, assim como se relaciona com o desenvolvimento da vegetação nativa.

Figura 2 – Modelo de elevação digital do município de Arcoverde.



2.3 Processamento das imagens

Foram adquiridas de forma gratuita junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), duas imagens do satélite Landsat 5, órbita 215 e ponto 66, referentes a: 20 de novembro do ano de 2009 e 29 de setembro de 2010. As imagens foram processadas utilizando-se o software Quantum GIS versão 2.14. As bandas foram empilhadas, reprojetadas para o sistema EPSG31984 e em seguida, a cena foi recortada para a área de estudo, corresponde ao município de Arcoverde. Dessa forma, foram geradas cartas temáticas de albedo de superfície, NDVI, IAF e saldo de radiação. A sequência metodológica utilizada no desenvolvimento do presente trabalho encontra-se esquematizada na figura 3 a seguir.

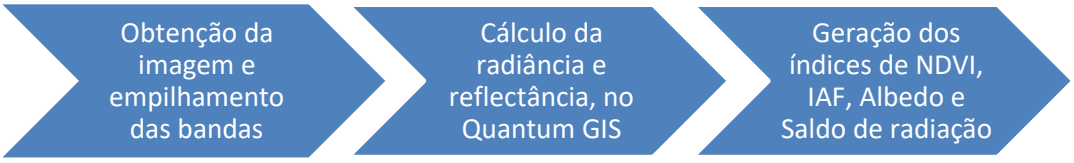


Figura 3 –Fluxograma de procedimentos metodológicos.

Para determinação dos parâmetros biofísicos – albedo, NDVI, IAF e saldo de radiação – inicialmente foi feita a conversão dos níveis de cinza para radiância e refletância utilizando coeficientes radiométricos de calibração referentes a radiância e refletância, respectivamente, por meio da equação proposta por Markham & Baker (1987):

$$L\lambda i = ai + (bi + ai)/255 \times ND \quad (1)$$

onde: Lλi = radiância espectral de cada banda (Wm-2 sr-1 μm-1), "a" e "b" = radiâncias espectrais mínimas e máximas (Wm-2 sr-1 μm-1) obtidos em Chander et al. (2009); ND = intensidade do pixel (número inteiro entre 0 e 255) correspondente a referida cada banda e; i = cada banda do TM Landsat 5.

A reflectância (ρλi) correspondente a proporção entre o fluxo de radiação eletromagnética incidente e o fluxo que é refletido por cada banda, foi obtida conforme Silva et al. (2005b) e Bezerra et al. (2011), pela equação:

$$\rho\lambda i = \pi L\lambda i/(k\lambda i \times \cos Zdr) \quad (2)$$

onde: Lλi (Wm-2 sr-1 μm-1) é a radiância espectral de cada banda; kλi (Wm-2 μm-1) é a irradiância solar espectral de cada banda, no topo da atmosfera, obtida de acordo com Chander & Markham (2003); Z é o ângulo zenital solar; e dr é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (ro) e a distância Terra-Sol (r), em dado dia do ano.

A transmissividade atmosférica (τsw) foi obtida conforme Allen et al. (2007), em função da pressão atmosférica e da água precipitável por meio da equação:

$$\tau sw = 0{,}35 + 0{,}627 \exp[-0{,}00146P/(Kt \cos Z) - 0{,}075(W/\cos Z)0{,}4] \quad (3)$$

onde: Z é o ângulo zenital solar; Kt é o coeficiente de turbidez da atmosfera (Kt = 1, para céu claro e limpo); P é a pressão atmosférica (kPa); e W é a água precipitável (mm), calculadas conforme Garrison & Adler (1990), pelas equações:

$$P = 101{,}3(Ta - 0{,}0065h)/Ta \text{ e } W = 0{,}14eaP + 2{,}10 \quad (4)$$

em que: Ta é a temperatura do ar (Kelvin); h (m) é a altitude da área em estudo, pelo modelo digital de elevação (MDE); e ea é a pressão atual de vapor de água (kPa), que é função da umidade relativa do ar (%) e pressão de saturação (KPa) à temperatura do ar.

O albedo da superfície (α) ou albedo corrigido dos efeitos atmosféricos foi obtido pela equação, α = (αtoa - αp)/τsw 2 (5) (Bastiaanssen et al., 1998), em que: αtoa é o albedo planetário; αp é a reflectância atmosférica, considerada nesta pesquisa igual a 0,03, conforme Bastiaanssen (2000); e τsw é a transmitância atmosférica.

No equacionamento do NDVI utilizou-se o algoritmo padrão onde são consideradas as bandas 3 e 4 do satélite Landsat 5, aplicado diretamente sobre cada par de pixels das bandas, nas faixas do espectro eletromagnético correspondentes ao vermelho visível (V) e do infravermelho próximo (IVP), produzindo um valor pertencente ao intervalo [–1, 1]. O NDVI permite a detecção de mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento e atividades da vegetação, possibilitando o perfil temporal de crescimento e pico de verde. Varia entre -1 e +1, sendo que, em superfícies com vegetação verde, os valores variam de 0 a 1 e, na água ou nuvens, os valores predominam menores que zero (Rouse et al.,1973):

$$NDVI = \rho IVp - \rho V/\rho IVp + \rho V \quad (6)$$

Para a determinação do IAF, definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação (m2), utilizou-se a equação proposta por Allen et al. (2002):

$$IAF = -ln(0{,}69 - SAVI0{,}59)0{,}91 \quad (7)$$

Após o cálculo da radiação de onda curta incidente (ROC,INC) e da radiação de onda longa incidente (ROL,INC), ambas em W m-² , foi calculado o saldo de radiação à superfície (Rn) (Wm²) utilizando-se a seguinte equação do balanço de radiação à superfície:

$$Rn = ROC,INC\ .(1-\alpha) - ROL,EMI + ROL,INC - (1-\varepsilon 0).ROL,INC \quad (8)$$

Onde: ROC,INC = radiação de onda curta incidente (W m-2); ROL,INC = radiação de onda longa incidente (W m-2); ROL,EMI = radiação de onda longa emitida pela superfície (W m-²); α = albedo da superfície (%); $\varepsilon 0$ = emissividade no domínio da banda larga de cada pixel.

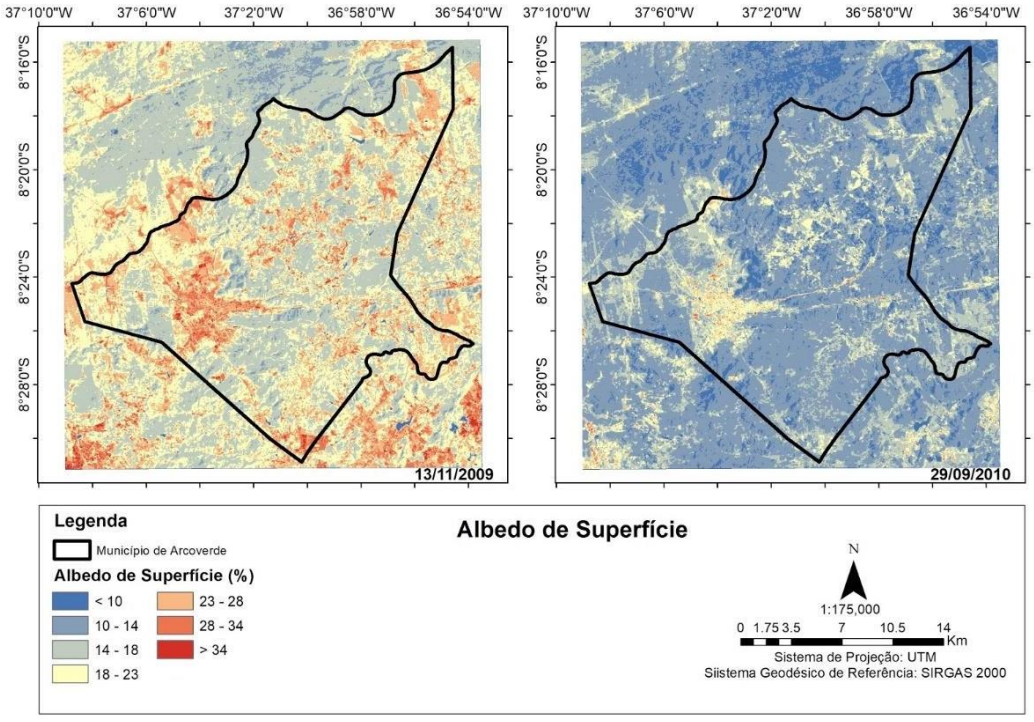
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A carta-imagem referente ao albedo de superfície (Figura 4) permite observar uma grande variação nesse parâmetro entre os dois anos analisados. Valores altos de albedo podem identificar superfícies mais lisas, secas e de coloração clara, e os valores mais baixos são associados a superfícies rugosas, úmidas e de coloração escura (LOPES et al., 2007). Por sua vez, Querino et al. (2006) encontraram valores médios anuais de albedo de 13% para regiões de floresta e para pastagens de 18%. Esse comportamento está diretamente relacionado com a ocorrência de maiores volumes pluviométricos nos meses de janeiro a julho, conforme é demonstrado no gráfico 1. A vegetação de caatinga é extremamente sensível às condições climáticas, e por esse motivo, mesmo em intervalos curtos de tempo, pode apresentar grandes variações em seus aspectos biofísicos, como observou (Lins et al., 2017).

Na imagem referente a novembro de 2009, foram observadas diversas áreas com albedo superior à 23%, chegando a superar 34% em algumas localidades. Valores dessa magnitude geralmente são encontrados em áreas de solo exposto e/ou áreas urbanizadas, como observado por (Godoy et al., 2009). A precipitação média no trimestre antecedente à passagem do satélite correspondeu a aproximadamente 145mm. A vegetação de caatinga apresentou grande variação em seus valores, expressando desde valores próximos a 10%, chegando a cerca de 23%. Essa discrepância é decorrente da heterogeneidade da paisagem, onde a influência do relevo e dos usos, pode acentuar as variações meteorológicas.

Em contraponto, na imagem de setembro de 2010, o albedo mostrou-se em geral bem inferior. O acúmulo de chuvas no trimestre antecedente a passagem do satélite correspondeu a aproximadamente 300mm, fazendo com que praticamente a área urbana e seu entorno se destacasse com valores mais elevados de albedo. Ainda assim, os valores nessa área dificilmente ultrapassaram 28%. A maior parte da imagem apresentou valores abaixo de 18%, sendo o intervalo compreendido entre 10 a 14%, bastante representativo. Este comportamento foi observado também por (Lima, 2008).

Figura 4 – Albedo de Superfície do município de Arcoverde.

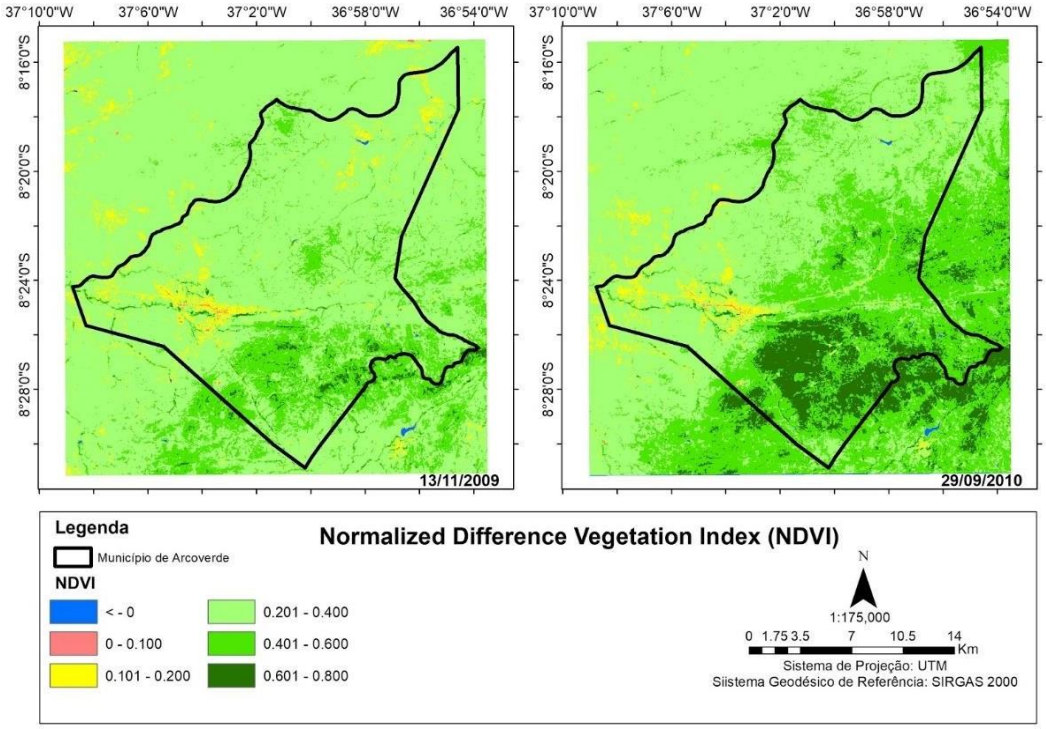


O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), parâmetro que caracteriza de forma muito eficiente o perfil da vegetação também aponta para uma acentuada variação entre as imagens estudadas (Figura 5). O intervalo de valores predominante na imagem de 2009 foi o compreendido entre 0.201 e 0.400. Valores esses associados à uma vegetação sob estresse hídrico, onde esta perde parte de sua folhagem, e por consequência disso, ocorre uma diminuição de sua biomassa. Arraes et al. (2012) encontrou valores semelhantes para áreas de caatinga. Valores entre 0.401 e 0.800,

praticamente ficaram restritos à áreas de maiores altitudes. A mancha urbana e áreas de possível solo exposto apresentou valores entre 0 e 0.200, valores coerentes para este tipo de uso do solo, como foi observado por (Lins et al., 2017).

A imagem de 2010 no entanto, já apresentou considerável aumento em seus valores, sobretudo no intervalo compreendido entre 0.401 e 0.800. Esse comportamento denota um aumento do porte da vegetação arbóreo-arbustiva, assim como uma recuperação da caatinga de menor porte quanto ao ano anterior. Desta forma, é possível observar a acentuada capacidade de regeneração do bioma frente à condições mais favoráveis ao seu desenvolvimento, de acordo com (Maldonado, 2004). A área urbana e seu entorno apresentaram comportamento semelhante à imagem anterior, com seus valores variando de 0 à 0.200.

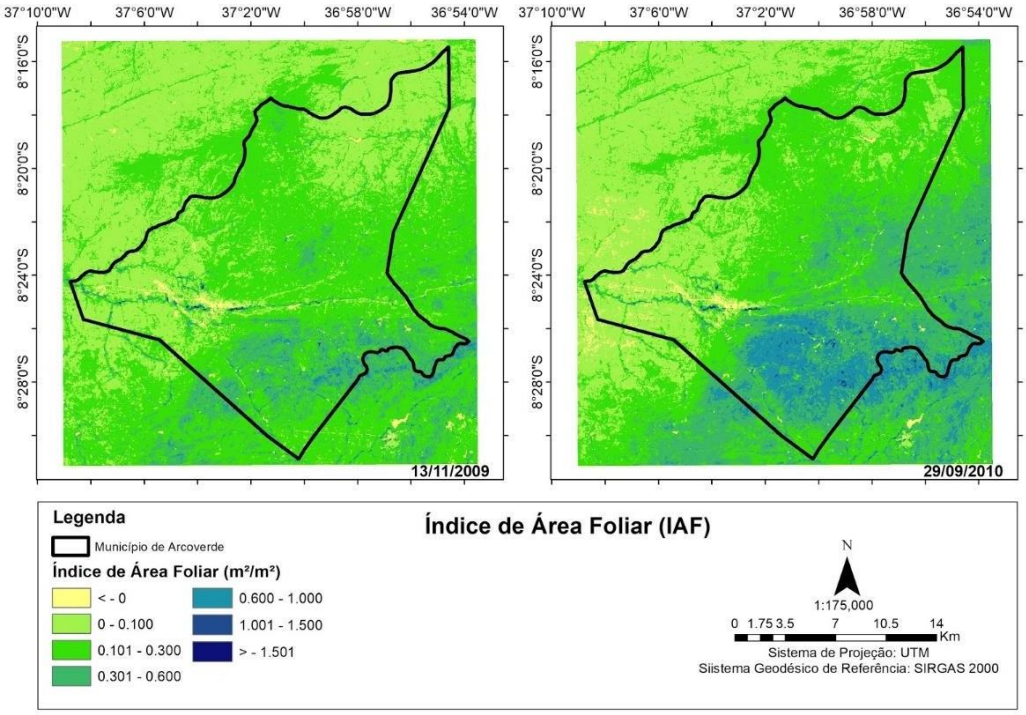
Figura 5 – NDVI do município Arcoverde.



A carta-imagem (Figura 6), do índice de área foliar (IAF) reforça o impacto que a precipitação tem na vegetação. Na imagem do ano de 2009, o índice em sua predominância apresentou valores entre 0 e 0.300 m²/m² de proporção de área vegetada. Valores esses considerados baixos e referentes à uma área com reduzida cobertura vegetal, baixo conteúdo hídrico e biomassa. Ribeiro *et al* (2016) encontrou valores semelhantes a estudar o comportamento da vegetação de caatinga na bacia do rio Pajeú. As áreas com valores entre 0.301 à 0.600 e 0.601 à 1000 m²/m² e até mesmo acima disso, se reduzem basicamente às áreas de encostas mais elevadas, e mata ciliar ao entorno do curso hídrico que corta a área urbana do município, comportamento semelhante também encontrado por Ribeiro *et al* (2016). A área urbana e áreas de solo exposto, como esperado apresentou valores próximos à 0, se mostrando coerente com o observado por Ramos *et al* (2011).

A imagem de 2010 já apresenta considerável aumento nos valores do índice. As áreas com valores entre 0.301 à 0.600 e 0.601 à 1000 m²/m² obtiveram considerável expansão na região. Áreas com valores variáveis entre o intervalo de 0.101 e 0.300 m²/m² avançaram sobre as localidades ao norte e nordeste do município onde anteriormente tais regiões se encontravam com valores entre 0 e 0.100 m²/m². A área urbana praticamente não apresentou mudança.

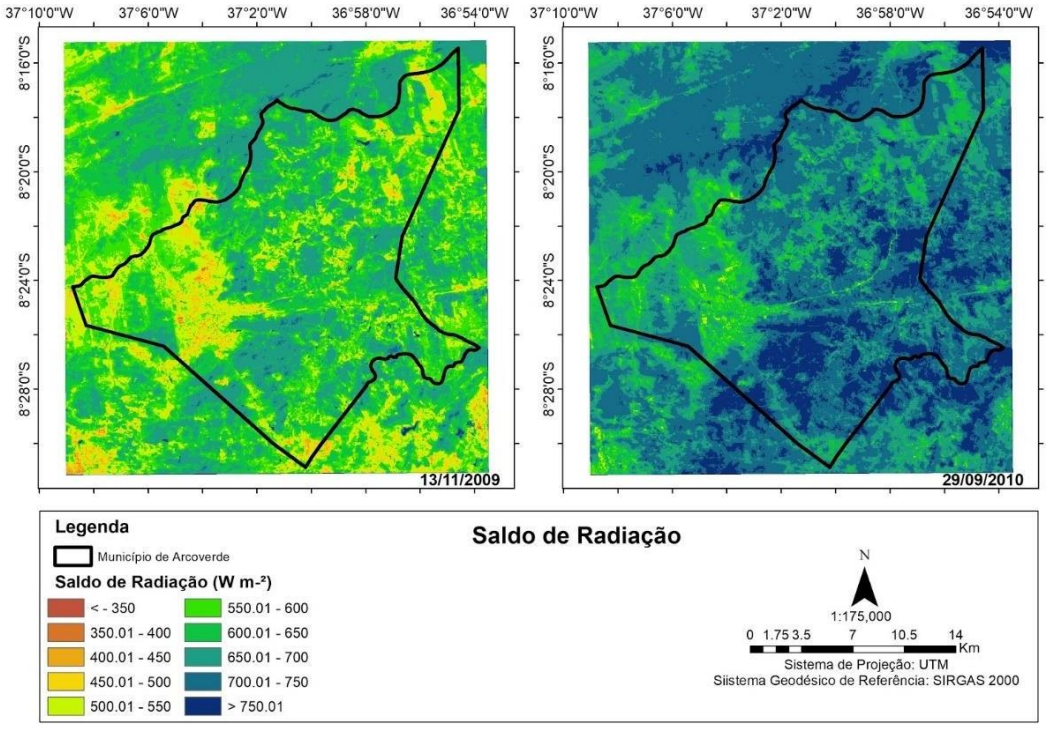
Figura 6 – Índice de área foliar do município de Arcoverde.



A carta-imagem referente ao saldo de radiação (Figura 7) destaca a grande variação que a maior umidade exerceu neste parâmetro. As classes que apresentam maiores valores de saldo, e consequentemente têm maior proporção de troca de massa com a atmosfera são as que possuem maiores conteúdos hídricos, pois estas fornecem mais energia para os processos de evapotranspiração, aquecimento do ar e do solo, assim como a fotossíntese (Oliveira. 2012). Na imagem de 2009 valores acima de 750 W m^{-2} são referentes apenas à corpos hídricos, semelhante aos valores encontrados por Andrade (2008), que observou valores também em torno de 750 W m^{-2} para o lago da represa de Sobradinho nos anos de 2000 e 2001 . Os valores predominantes na imagem compreendem o intervalo entre 500.01 à 700.0 W m^{-2}. Lopes *et al* (2014) encontrou valores médios de 626,1 W m^{-2} para áreas de caatinga. A área urbana apresentou valores entre 400 e 550 W m^{-2}, semelhante ao padrão encontrado Lins *et al* (2017), que também para o município de Arcoverde-PE, com imagens do sensor OLI/TIRS à bordo do Landsat 8 observou valores de saldo para áreas antropizadas em torno de 435 à 500 W m^{-2} . Valores abaixo disso ocorrem de forma pontual e podem ser referentes à bancos de areia e/ou afloramentos rochosos.

A imagem de 2010, no entanto, mostrou grande variação nos valores médios do saldo de radiação. Valores acima de 650 W m^{-2} passaram a ser predominantes. O fato da maior disponibilidade hídrica causada pela ocorrência de chuvas no trimestre anterior a da imagem propiciou a concentração de umidade capturada pela vegetação, e possibilitou um maior fluxo energético entre a superfície e a atmosfera. Na área urbana, foram observados valores próximos à 550 W m^{-2}, sendo os mais baixos para a imagem.

Figura 7 – Saldo de radiação do município de Arcoverde.



4. CONCLUSÃO

A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto permitiu a identificação das diferenças nos padrões espaciais e temporais da cobertura vegetal do município de Arcoverde – PE, predizendo diante das análises a necessidade de se ter um planejamento ambiental e maior atenção a esta área que está inserida no bioma da caatinga, pois o mesmo já é sensível às variações meteorológicas, podendo assim, favorecer processos de degradação em caso de gestão ineficiente do espaço. As técnicas aplicadas mostram-se eficientes na estimativa do padrão de distribuição espaço-temporal de todos os parâmetros para a região, com valores semelhantes aos presentes na literatura para estudos realizados em regiões próximas e/ou em condições similares.

Neste estudo, a análise do comportamento do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e do Índice de Área Foliar (IAF) observada no município de Arcoverde, permitiu concluir que a precipitação pluviométrica foi identificada como fator de controle decisivo da tendência destes parâmetros, uma vez que condiciona a cobertura da superfície do solo. O albedo de superfície e o saldo de radiação tiveram comportamento similar aos índices de vegetação e os resultados foram semelhantes no estudo realizado por Lins *et al.* (2017) na estimativa dos parâmetros biofísicos de Arcoverde-PE no período de 2015-2016.

Os mapas gerados (albedo de superfície, saldo de radiação, NDVI e IAF) oferecem dados com potencial de utilização pelas pessoas físicas, poder público, ou até mesmo ONG's que cuidem do planejamento urbano e da formulação de políticas públicas de infraestrutura e de saúde ambiental, de modo a trazer qualidade de vida à população local bem como auxiliar no planejamento ambiental da região.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela disponibilização dos dados meteorológicos para realização da pesquisa, e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo fornecimento das imagens do TM-Landsat 5.

REFERÊNCIAS

APAC-Agência Pernambucana de Águas e Clima. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br. Acesso em: 5 de julho de 2018.

ARRAES, F. D. D.; ANDRADE, E. M.; SILVA, B. B. Dinâmica do balanço de energia sobre o açude Orós e suas adjacências. **Revista Caatinga**, Mossoró – RN, v. 25, n. 1, p. 119-127, 2012.

ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (Metric) – model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133, p.380-394, 2007.

BASTIAANSSEN, W. G. M. **SEBAL - based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin**, Turkey. Journal of Hydrology, v.229, p.87-100, 2000.

COELHO, I. A. M.; DUARTE, S. M. A.; COELHO, O. A. M. Estudo da dinâmica da cobertura vegetal no município de Floresta/PE através de processamento digital de imagens. **Revista GEAMA**, Recife, v.2, n.1, p. 7-24, 2015.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**: diagnóstico do município de Arcoverde, Estado de Pernambuco. Recife – PE: CPRM/PRODEEM, 2005. 23 p.

Chander, G., Markham, B. L. and Helder, D. L., 2009. **Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors.** Remote Sensing of Environment, 113, pp. 893–903.

FERREIRA, M.E.; ANDRADE, L. R. M.; SANO, E.E; CARVALHO, A. M. Uso de processadores de imagens digitais na avaliação da taxa de cobertura doo solo. **CONGRESSO BRASILEIRO DA CIENCIA DO SOLO**, 28., 2001, Londrina. Ciência do solo: Fator de produtividade competitiva com sustentabilidade.

GODOY, L. B; BAPTISTA, G. M. M; ALMEIDA, T. Relação entre vegetação e temperatura de superfície nos parques urbanos do Distrito Federal, por meio de dados ASTER. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009. Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 699 – 705, 2009.

GOMES, H. F., SILVA, B. B. da, CAVALCANTI, E. P., ROCHA, H. R. Balanço de radiação em diferentes biomas no estado de São Paulo mediante imagens Landsat 5. **Geociências**, v.28, p.153-164, 2009.

GARRISON & ADLER. **Reducing the computacional requirements of the minimum-distance classifier**. Remote Sensing of Environment, vol. 25, p. 117-128, 1990.

BEZERRA, R.C.; **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao estudo temporal do uso da terra e na comparação entre classificação não-supervisionada e análise visual**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista - UNESP. Faculdade de Ciências Agronômicas. Botucatu/São Paulo. 2011.

HOPPE, P.; ULBRICHT, K. A. **Application of digital imagine processing module of Landsat scenes for their improved Nd geological evolution**. In: Earth observation from space Nd management of planetary resource. Paris, European Space Agency, p.237-241, 1978.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo do Município de Arcoverde – PE**. Arcoverde: 2008. 8p.

KARNIELY S, et al. **Alpha-complementation as a probe for dual localization of mitochondrial proteins**. Science

289(5477):256-7, 2000.

LIMA, R. C. **Identificação das ilhas de calor na cidade de Campo Grande/MS utilizando o sensoriamento remoto**. 2008, 69f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia Bacharelado) – Universidade Federal do Mato Grasso do Sul, Aquidauana, 2008.

LOPES, P.M.O.; VALERIANO, D.M. validação do albedo de superfície terrestre obtido dos dados do sensor MODIS em regiões montanhosas. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, Brasil, INPE, p. 2805-2812. 2007.

LINS, F. A. C.; ARAÚJO, D. C. dos S.; SILVA, J. L. B. da; LOPES, P. M. O.; OLIVEIRA, J. D. A.; SILVA, A. T. C. S. G. Estimativa de parâmetros biofísicos e evapotranspiração real no semiárido pernambucano utilizando sensoriamento remoto. **Revista Irriga & Inovagri**. Botucatu-SP, Edição especial, p.64-75, 2017.

MALDONADO, F.D. **Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia para detecção de mudança na cobertura vegetal do semiárido.** 2004. 313p. Tese (Doutorado em sensoriamento remoto) – Instituto de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 2004.

MARKHAM, B. L. & BARKER, J. B. Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing.** v. 8, n. 3, p. 517-523, 1987.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 160 p, 2012.

QUEIROZ, M. T. **Modelagem da evapotranspiração para a gestão hídrica de perímetros irrigados com base em sensores remotos**. (Tese Doutorado em do Curso de Pos-Graduacao em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São Jose dos Campos, 2007.

RAMOS, R,R,D.; LOPES, H.L.; FREIRE, M.S.; SOBRAL, M.C.; MONTENEGRO, S.M.L.; ACCIOLY, L.J.O.; **Determinação de variáveis biofísicas na bacia do rio Pajeú - Pernambuco, Brasil**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.1449.

RIBEIRO, E. P.; NÓBREGA, R.S.; FILHO, F.O.M.; MOREIRA, E.B.M.; **Estimativa dos índices de vegetação na detecção de mudanças ambientais na bacia hidrográfica do rio Pajeú.** Geosul, Florianópolis, v. 31, n. 62, p 59-92, jul./ago. 2016.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A; DEERING, D. W. 1974. “Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS”, Proceedings, Thrid Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351, pp. 3010-3017.

WEISS A, et al. **High-throughput phenotypic profiling of gene-environment interactions by quantitative growth curve analysis in Saccharomyces cerevisiae**. *Anal Biochem* 327(1):23-34, 2004.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018*

ANÁLISE MULTIFONTE DAS TEXTURAS PRESENTES NA REGIÃO DO RESERVATÓRIO - PE

GIVALDO CESAR DA PAIXÃO JUNIOR
JOÃO RODRIGUES TAVARES JUNIOR

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
givaldocesar@live.com, rodriguesjoao380@gmail.com

RESUMO - A análise de imagens de satélite é de fundamental importância para a cartografia, mas o seu processamento pode ser complexo e exigir muito conhecimento sobre as propriedades físicas ali representadas. Aqui é proposto um método de classificação de texturas, apenas utilizando estatística básica sobre os números digitais dos pixels presentes. A metodologia consiste em definir estatisticamente o que é a textura de um pixel; coletar imagens de diferentes sensores espectrais (MUX, TM e OLI) da região do reservatório de Itaparica situado no estado de Pernambuco, a área de estudo foi escolhida baseada na grande diversidade de terrenos presente na mesma; descrever o método de classificação das texturas calculadas, que neste caso foi o método de quebras naturais, que consiste em encontrar as classes que possuem a menor variância interna; e então criar um software em linguagem Python, para o processamento das imagens encontradas, este software gera imagens, nas quais cada classe de pixels possui sua cor própria, além de imagens binárias para cada classe. Como resultado, percebe-se que o algoritmo separa bem os corpos d'água e os diferentes tipos de solo presentes, notou-se também que com o aumento do número de bandas utilizadas no processamento, houve uma melhoria na definição das classes encontradas. O melhor resultado foi alcançado com o sensor OLI, onde há uma boa diferenciação entre os diferentes tipos de alvos presentes, pois o mesmo é o que apresenta o maior número de bandas, além de um maior número de bits.

ABSTRACT - The analysis of satellite images is of fundamental importance for cartography, but their processing can be complex and require a lot of knowledge about the physical properties represented there. Here we propose a method of classifying textures, only using basic statistics on the digital numbers of the pixels present. The methodology consists of defining statistically what the texture of a pixel is; to collect images of different spectral sensors (MUX, TM and OLI) of the Itaparica reservoir region, located in the state of Pernambuco, the study area was chosen based on the great diversity of lands present in it; to describe the method of classification of the calculated textures, which in this case was the method of natural breaks, which consists in finding the classes that have the smallest internal variance; and then create software in Python language for processing the images found, this software generates images in which each class of pixels has its own color, in addition to binary images for each class. As a result, it is noticed that the algorithm separates well the water bodies and the different soil types present, it was also noticed that with the increase of the number of bands used in the processing, there was an improvement in the definition of the found classes. The best result was achieved with the OLI sensor, where there is a good differentiation between the different types of targets present, since it is the one with the highest number of bands, besides a larger number of bits.

1 INTRODUÇÃO

Jenks (2011) define sensoriamento remoto como o registro da informação das regiões do ultravioleta, visível, infravermelho e microondas do espectro eletromagnético, sem contato, por meio de instrumentos como câmeras, escâneres, lasers, dispositivos lineares e/ou matriciais localizados em plataformas tais como aeronaves e satélites, e a análise da informação adquirida por meio visual ou processamento digital de imagens.

Segundo Pena (s.d.), entre os satélites mais importantes e utilizados para a observação e registro de informações da superfície estão o Landsat e o CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres). O primeiro foi pela primeira vez lançado pela Agência Espacial Norte-Americana (NASA) em 1972, tendo outras versões mais modernas construídas posteriormente, de modo que a mais recente é a Landsat 8. Já o CBERS é resultado de uma parceria entre o Brasil e a China, cujo primeiro lançamento ocorreu em 1999, e já existe o projeto para o CBERS-4A com seu lançamento previsto para o primeiro semestre de 2019.

Ao analisar imagens oriundas de satélites, como o LANDSAT, percebe-se que a principal fonte de informação sobre o terreno são os números digitais (ND) atribuídos aos pixels em cada banda. Estes valores não representam as propriedades físicas dos alvos e precisam passar por um tratamento matemático para serem transformados e corrigidos a fim de corresponderem a tais características, como por exemplo, existem métodos para converter ND em reflectância. Isto torna o processo longo e complexo, sendo necessário um alto grau de conhecimento sobre as propriedades físicas do sensor e dos alvos, além de softwares capazes de segmentar as imagens.

Aqui é proposto um meio para a classificação dos alvos utilizando apenas características estatísticas de uma amostra de ND's, sem a necessidade de conversão em propriedades físicas, com o intuito de simplificar o processo no tratamento de imagens. Além de automatizar todo o processo, padronizando-o e evitando que a subjetividade afete os resultados.

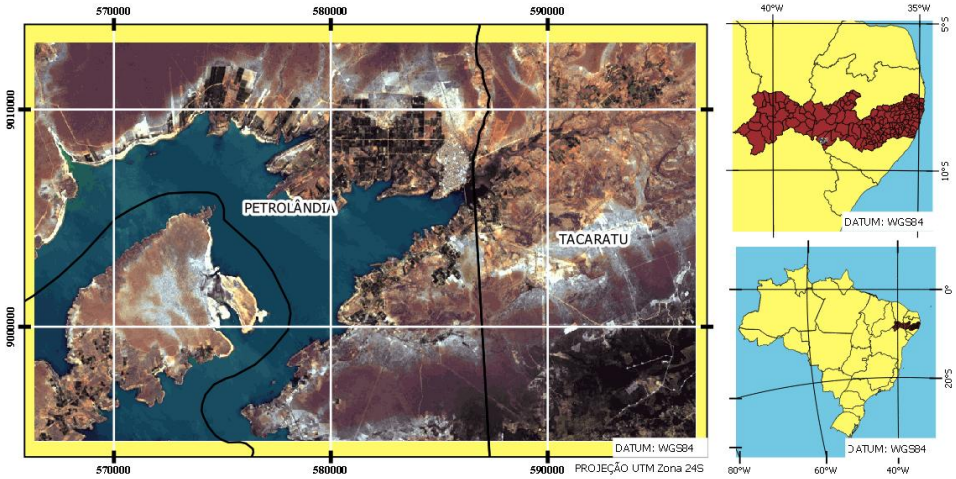
2 MATERIAIS

Os materiais consistem nos recortes retangulares das imagens descritas abaixo:

Satélite: CBERS-4	Satélite: Landsat 5	Satélite: Landsat 8
• Sensor: MUX	• Sensor: TM	• Sensor: OLI
• Path/Row: 149/110	• Path/Row: 216/66	• Path/Row: 216/66
• Data: 14/04/2015	• Data: 06/08/2011	• Data: 02/09/2015
• Bandas: 5, 6, 7, 8	• Bandas: 1, 2, 3, 4, 5 e 7	• Bandas: 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
• Fonte: INPE	• Fonte: Earth Explorer	• Fonte: Earth Explorer

O canto superior esquerdo de cada recorte possui como coordenadas os valores E= 566372,5 m e N= 9013089,9 m e o canto inferior direito E= 596826,7 m e N= 8994740,4 m. Um dos recortes é apresentado na Figura 1.

Figura 1 Área de Estudo



3 METODOLOGIA

Definição de Textura

Baseado em Magalhães e Lima (2004), buscou-se meios de caracterizar uma amostra de ND's presentes numa máscara de modo único, a fim de criar um filtro que evidencie os diferentes tipos de textura presentes na imagem.

Assim, escolheram-se três medidas que caracterizam uma amostra, a mediana, o desvio mediano e o desvio padrão, e criamos um índice, denotado como *índice de textura (T)*.

$$T = \sqrt{Md^2 + DMd^2 + \sigma^2} \qquad (1)$$

Onde *Md* é a mediana da amostra, *DMd*, o desvio mediano da amostra, σ, o desvio padrão da amostra. A mediana é obtida ordenando os dados e tomando o valor central. E foi escolhida por melhor caracterizar uma amostra de dados, sabendo-se que a média é bastante afetada quando há valores muito discrepantes, e isto é bem comum de ocorrer neste tipo de imagens. O desvio mediano é calculado através de:

$$DMd = \frac{1}{n} \times \left(\sum_{i=1}^{n} |x_i - Md|\right) \qquad (2)$$

Por causa do módulo, é difícil o estudo de suas propriedades, estando aqui apenas como mais uma variável para caracterizar um grupo de dados. O desvio padrão é calculado através de:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - x_{médio}^2} \qquad (3)$$

E serve como uma medida para a variabilidade dos dados da amostra, uma medida de dispersão comumente utilizada em várias áreas.

Nota-se que T é a norma do vetor (Md, DMd, σ), sendo possível representar tais valores geometricamente, a fim de perceber o comportamento das texturas de cada pixel em uma imagem.

Ainda definimos a Textura Espectral como sendo:

$$Tes(x,y) = \sqrt{T1(x,y)^2 + T2(x,y)^2 + T3(x,y)^2 + T4(x,y)^2 + T5(x,y)^2 + T6(x,y)^2 + T7(x,y)^2 + \cdots} \qquad (4)$$

Onde (x, y) é a posição do pixel na imagem e T1, T2, ... ,T7, ... são as texturas calculadas em cada banda para a posição (x, y) da imagem.

Descrição do algoritmo Python

O Python é uma linguagem orientada a objetos clara e poderosa, comparável a Perl, Ruby, Scheme e Java. Sua sintaxe elegante permite que os programas se tornem fáceis de ler, possui ampla portabilidade podendo ser executado em diferentes sistemas operacionais como Windows, Linux e até Android. Além de possuir uma grande biblioteca padrão que suporta muitas tarefas comuns de programação, como conectar-se a servidores web, pesquisar texto com expressões regulares, ler e modificar arquivos. (SMITH, 2017)

O algoritmo foi desenvolvido em linguagem Python 2.7.10, a razão de se usar tal versão é a compatibilidade com a versão presente no QuantumGis, criando a possibilidade da produção de um plugin para o mesmo. Este cria uma máscara de tamanho escolhido pelo usuário, neste trabalho utilizou-se uma máscara 3x3 pixels, na qual o mesmo calcula o índice de textura e atribui ao pixel central da máscara, ou seja, o algoritmo é um filtro que atribui a cada pixel da imagem seu índice de textura. Os valores de T para cada pixel é denominada banda de textura. Calculado T para cada pixel da imagem, os pixels são classificados pelo método de Quebras Naturais e é gerada uma imagem de saída com cada classe correspondente a uma cor definida automaticamente, além de imagens binárias para cada classe, com as imagens binárias é possível extrair feições com o uso de morfologia matemática.

Método de classificação dos pixels

O método de otimização Jenks, também chamado de método de classificação de quebras naturais, é um método de classificação de dados projetado para determinar a melhor organização de valores em diferentes classes. Isto é feito procurando minimizar a variância dentro de cada classe, enquanto maximiza a variância entre as classes. (CHEN apud ESRI, 2010). Por este motivo é que este método foi escolhido para agrupar as texturas semelhantes, buscando uma boa homogeneidade dentro das classes.

Segundo a Wikipedia (2018), o método requer um processo iterativo, ou seja, os cálculos devem ser repetidos usando diferentes intervalos no conjunto de dados para determinar qual conjunto de intervalos tem a menor variação dentro de cada classe. O processo é iniciado dividindo os dados ordenados em grupos, as divisões iniciais podem ser arbitrárias.

Existem quatro etapas que devem ser repetidas:

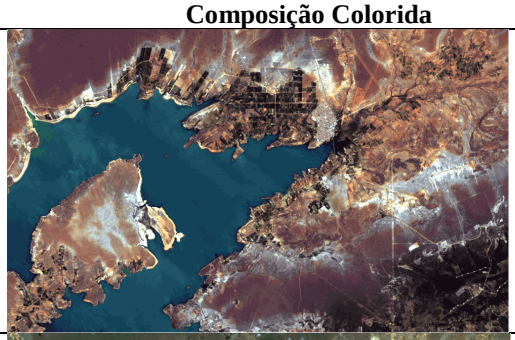
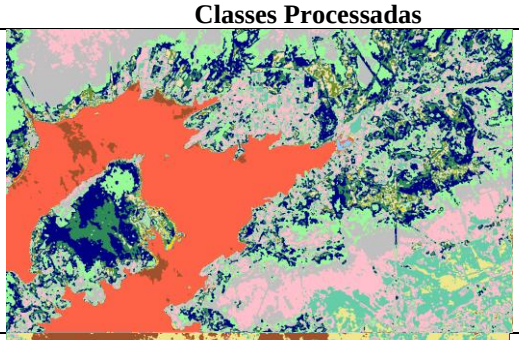
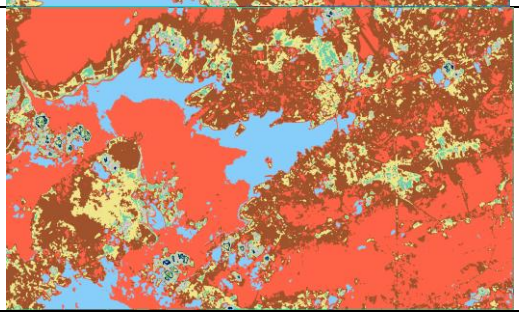
- Calcular a soma das variâncias entre as classes (SDBC).
- Calcular a soma das variâncias em relação a média da matriz de dados (SDAM).
- Subtrair o SDBC do SDAM (SDAM-SDBC). Isso é igual à soma das variâncias em relação a médias da classe (SDCM).
- Depois de inspecionar cada um dos SDBC, é tomada uma decisão para mover uma unidade da classe com o maior SDBC para a classe com o menor SDBC.

Novas variâncias são então calculadas e o processo é repetido até que a soma das variâncias dentro da classe atinja um valor mínimo. Finalmente, a o ajuste da qualidade da variância (GVF) é calculado. O GVF é definido como (SDAM - SDCM) / SDAM. O GVF varia de 0 (pior ajuste) a 1 (ajuste perfeito).

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

Não foi possível encontrar imagens com datas muito próximas para analisar melhor o comportamento do algoritmo, seja por excesso de nuvens ou por não existirem imagens. Na Tabela 1 estão as imagens resultantes, ao lado do nome de cada sensor estão às bandas usadas para a composição colorida e processamento.

Tabela 1 Composições coloridas e classes resultantes

	Composição Colorida	**Classes Processadas**
OLI (1,2,3,4,5,6,7)		
TM (1,2,3,4,5,7)		
MUX (5,6,7,8)		

Percebe-se que com o aumento do número de bandas utilizadas, há uma melhora na distinção dos alvos presentes no terreno. O resultado obtido para o sensor OLI é bem mais limpo, apresentando uma distinção clara entre a massa

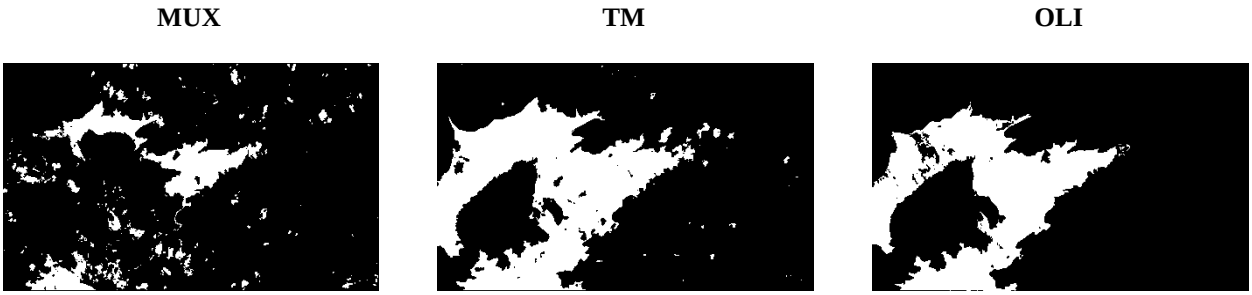
d'água (em laranja) e os tipos de solo. Neste caso, o algoritmo ainda conseguiu destacar sedimentos presentes nos corpos d'agua.

Para o sensor TM, o resultado foi mediano, apresenta boa distinção entre os corpos d'água e tipos de terreno, apesar do ruído causado pelas nuvens.

Com o sensor MUX o resultado não foi como o esperado, a imagem ficou confusa, o algoritmo classificou sedimentos nos corpos d'água como solo exposto, talvez por possuir um número inferior de bandas, o que dificulta uma classificação espectral.

As nuvens são um fator que atrapalham bastante, tanto as suas sombras, quanto suas imagens. Acabam se misturando com outra classe criada anteriormente, como um tipo de solo ou água.

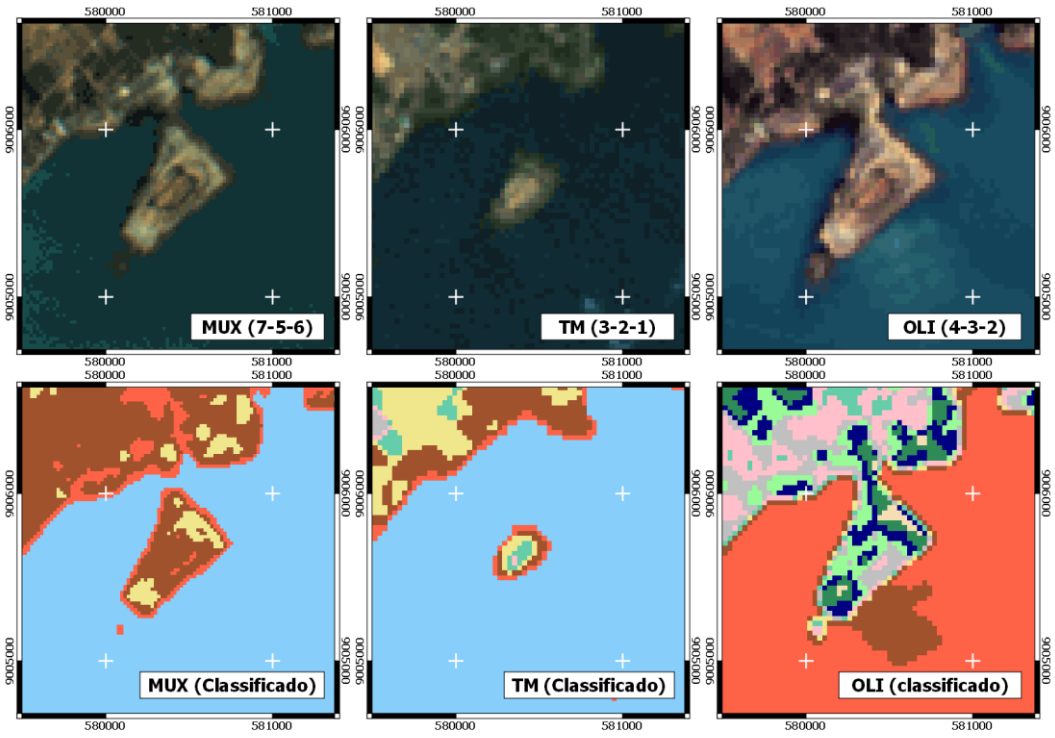
Figura 2 Imagens binárias da classe referente aos corpos d'água



Na figura 1 são apresentadas as imagens binárias referentes aos corpos d'água obtidas no processamento, na imagem TM, as pequenas manchas claras são em sua maioria referente a nuvens, o mesmo acontece com a imagem MUX. Como as imagens OLI não apresentaram nuvens, não houve essa interferência.

Na imagem MUX, a maior massa d'água que é referente ao próprio reservatório, ficou degrado, devido a confusão dos sedimentos com solo feita pelo o algoritmo.

Figura 3 Comparação entre composição colorida e imagem classificada



Na figura 2, nota-se o comportamento do algoritmo numa imagem em grande escala. Na imagem OLI, nota-se um pequeno banco de sedimentos, reforçando o que foi descrito anteriormente. Nota-se também uma pequena erosão em relação à imagem colorida e a classificada, em todos os casos, isso se deve a máscara possuir o tamanho 3x3.

5 CONCLUSÕES

A linguagem Python pode ser uma ferramenta poderosa para o processamento de imagens, pois a mesma não exige muito hardware para processamento, além de possuir alta portabilidade entre sistemas operacionais, facilitando assim a criação de softwares. Programas como o ArcGIS e QuantumGIS já possuem um ambiente Python intrínseco ao seu sistema indicando a necessidade de cartógrafos entenderem cada vez mais esta ferramenta.

Com o uso das imagens, principalmente das binárias, é possível criar mapas temáticos para diferentes regiões, pois é gerado um contraste maior entre os alvos, facilitando a interpretação pelo usuário.

O melhor resultado foi alcançado com o sensor OLI, devido ao maior número de bits, o que garante um fatiamento mais fino de cada banda, além do número superior de bandas, o que aumenta a quantidade de informação extraída em cada pixel, facilitando a distinção entre os mesmos.

6 REFERÊNCIAS

MAGALHÃES, M.N., LIMA A.C.P. 2004. **Noções de Probabilidade e Estatística**. São Paulo: EdUSP.

SMITH, M. BeginnersGuide/Overview – Python Wiki. Disponível em: <https://wiki.python.org/moin/BeginnersGuide/Overview> Acesso em: 20 agosto 2018.

CHEN, J. et al. Research on geographical environment unit division based on the method of natural breaks (Jenks). **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. Volume XL-4/W3. 2013.

WIKIPEDIA. Jenks natural breaks optimization – Wikipedia. Disponível em: < https://en.wikipedia.org/wiki/Jenks_natural_breaks_optimization > Acesso em: 20 agosto 2018.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remote do ambiente: Uma perspective em recursos terrestres**. São Paulo: Parêntese, 2011.

PENA, Rodolfo F. Alves. "Sensoriamento Remoto"; *Brasil Escola*. Disponível em <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/sensoriamento-remoto.htm>. Acesso em 20 agosto de 2018.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

ANÁLISE MULTITEMPORAL DO COMPORTAMENTO URBANO NAS MICRORREGIÕES UR-06 E UR-11 (JABOATÃO DOS GUARARAPES / PE) ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE FOTOGRAMETRIA

AMAURY GOUVEIA PESSOA NETO 1
IONÁ MARIA BELTRÃO RAMEH BARBOSA 2

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE
Departamento Acadêmico de Infraestrutura e Construção Civil, Recife, PE
gouveia.amaury@gmail.com, ionarameh@recife.ifpe.edu.br

RESUMO - O fenômeno da urbanização aconteceu em diversas cidades brasileiras de maneira desordenada, acelerada e intensa. Como consequência desse processo, tem-se intensificado a ocorrência de vários problemas das questões ambientais, econômicas e sociais. Diante disso, torna-se fundamental a aquisição de dados confiáveis e atualizados sobre as alterações no uso e ocupação do solo em áreas urbanas ao longo dos anos. Isso se torna ainda mais importante, pois essas informações são imprescindíveis no que concerne a estruturação e viabilização de políticas públicas adequadas. O objetivo deste estudo foi analisar a expansão urbana nas microrregiões UR-06 e UR-11, no bairro do Zumbi do Pacheco, no município do Jaboatão dos Guararapes/PE, ocorrida entre os anos de 1974 e 2016. Esta análise foi realizada por meio da ferramenta do geoprocessamento, mais especificamente, com a utilização de produtos advindos de serviços de aerofotogrametria. O processo metodológico foi definido em: aquisição dos produtos aerofotogramétricos disponíveis para os anos de 1974 e 2016; consolidação dos dados relativos às áreas antropizadas e naturais em relação ao período e região de estudo; modelagem e observação dos resultados. Após a realização da análise comparativa foi possível observar o expressivo aumento de área antropizada ao longo dos períodos observados.

ABSTRACT - The phenomenon of urbanization happened in several Brazilian cities in a disorderly, accelerated and intense way. As a consequence of this process, several problems of environmental, economic and social issues have intensified. Given this, it is fundamental to acquire reliable and updated data on changes in land use and occupation in urban areas over the years. This becomes even more important, since this information is essential when it comes to structuring and enabling appropriate public policies. The objective of this study was to analyze the urban expansion in the UR-06 and UR-11 micro-regions, in the district of Zumbi do Pacheco, in the municipality of Jaboatão dos Guararapes / PE, occurring between 1974 and 2016. This analysis was carried out by medium of the geoprocessing tool, more specifically, the use of products from aerial photogrammetry services. The methodological process was defined as: acquisition of aerial photogrammetric products available for the years 1974 and 2016; consolidation of data on anthropic and natural areas in relation to the period and region of study; modeling and observation of results. After the comparative analysis, it was possible to observe the significant increase in anthropic area over the observed periods.

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno da urbanização, que se iniciou a partir da Revolução Industrial Brasileira, aconteceu em diversas cidades do país. De acordo com Silva *et al.* (2017), este processo ocorreu de forma desordenada, acelerada e intensa, sem a fiscalização da gestão pública urbana e o ordenamento de dispositivos legais. Isso trouxe, como consequência, a necessidade exacerbada da concepção de edificações e obras de infraestrutura urbana e, através dessas construções, a alteração significativa do uso e ocupação do solo. Como efeito negativo desse processo, tem-se intensificado a ocorrência de vários problemas das questões ambientais, econômicas e sociais.

Rosa e Paz (2016) afirmam que diante da crescente complexidade na dinâmica dos municípios, ressalta-se a importância e a necessidade da obtenção de informações confiáveis e atualizadas referentes ao uso e ocupação do solo, como subsídio para a estruturação e viabilização de políticas públicas adequadas. Nesse contexto, o uso de ferramentas de geoprocessamento é fundamental para auxiliar na implantação de melhorias socioeconômica e ambientais.

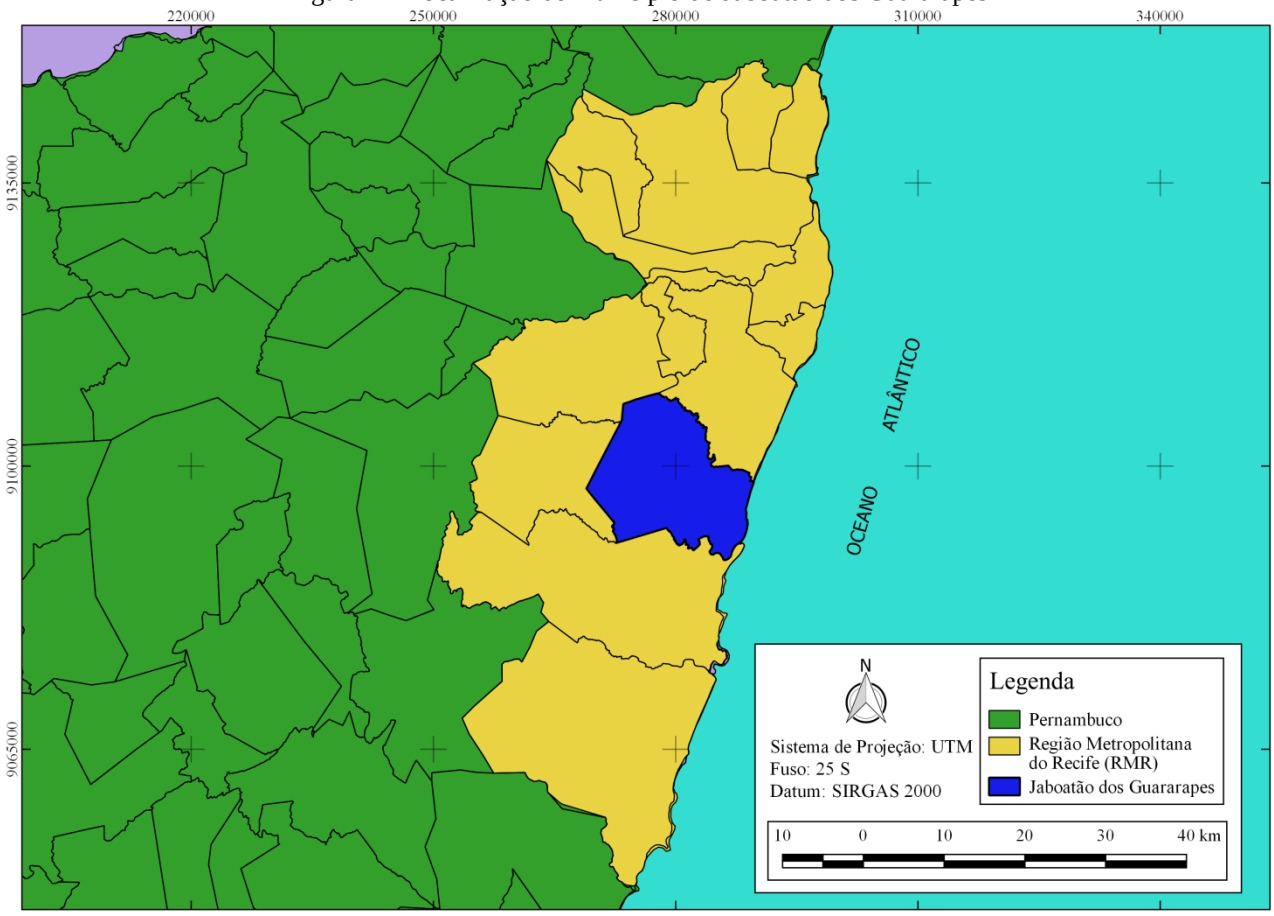
A Fotogrametria é a ciência e tecnologia de se reconstruir o espaço tridimensional, a partir de imagens bidimensionais, advindas da gravação de padrões de ondas eletromagnéticas, sem contato físico direto com o objeto ou alvo de interesse (ALVES *et al.*, 2004). Neste sentido, as técnicas de fotogrametria, conforme Silva *et al.* (2017), podem permitir realizar estudos sobre a expansão das cidades e seus efeitos na paisagem, em conjunto com as ciências geodésicas e tecnologias da geoinformação para leitura e o controle das modificações. Ainda nesta perspectiva, Ummus *et al.* (2008) afirmam que o referido artifício possibilita ainda, uma visão sinótica e global da situação, facilitando as comparações intra e interregionais, que serão de grande valia para as políticas de desenvolvimento urbano e de ocupação do solo.

O objetivo do presente estudo foi avaliar a expansão da ocupação urbana, nas microrregiões UR-06 e UR-11, no bairro do Zumbi do Pacheco, no município do Jaboatão dos Guararapes/PE, no período compreendido entre 1974 e 2016, através da análise multitemporal de produtos fotogramétricos disponíveis.

ÁREA DE ESTUDO

O município do Jaboatão dos Guararapes está situado na região litorânea do Estado de Pernambuco e faz parte da Região Metropolitana do Recife (RMR), conforme mostra a Figura 1. Limita-se com Recife ao norte, Moreno a leste, São Lourenço da Mata a noroeste, Cabo de Santo Agostinho ao sul e com o Oceano Atlântico a leste, ocupando uma área total de 258,694 km² (IBGE, 2018).

Figura 1 – Localização do município do Jaboatão dos Guararapes

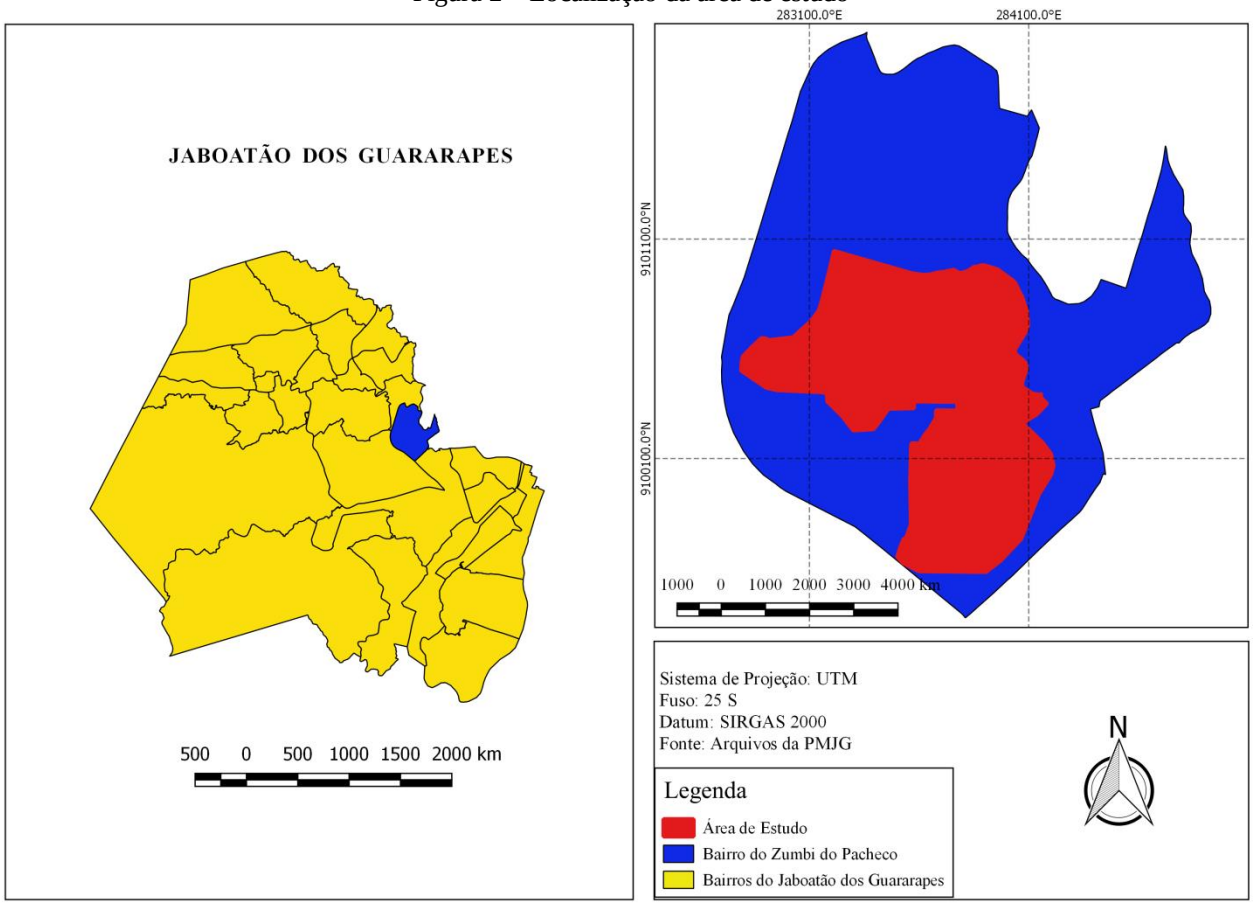


Jaboatão dos Guararapes, de acordo com a CPRM (1997), está localizado numa região, que segundo a classificação de Köppen, apresenta um clima tropical úmido (AMS'). Possui temperatura média anual de 26° C, com uma mínima de 18° C e uma máxima de 32° C. O ritmo de chuvas é definido por um período em que elas desenvolvem-se entre os meses de março a agosto (outono-inverno), com pluviosidade máxima e mínima mensais de 270 mm e 140 mm, respectivamente e média anula de 1.500mm. A precipitação máxima ocorre durante o período de inverno.

A área de estudo é constituída pelas microrregiões UR-06 e UR-11, inseridas no bairro do Zumbi do Pacheco no município do Jaboatão dos Guararapes como retrata a Figura 2. Essa área está localizada entre as coordenadas UTM

9.101.045,65 mN e 282.788,20 mE e, 9.099.582,64 mN e 284.213,30 mE definindo uma área de 1,085 km² correspondendo a, aproximadamente, 0,42% do município. A escolha dessas microrregiões se deu pelo fato de serem constituídas por residências contempladas pelo programa habitacional COHAB (Companhia de Habitação Popular), estas são moradias que têm a finalidade de favorecer o acesso à habitação digna à população de menor renda. Diante disso, por ser uma região planejada e onde foi seguido um padrão de edificações, esperava-se que, mesmo havendo expansão urbana, fosse respeitado algum critério de uniformidade.

Figura 2 – Localização da área de estudo



3 METODOLOGIA DO TRABALHO

Para a produção deste trabalho, inicialmente, foram adquiridos os produtos fotogramétricos, datados de 1974 e 2016, para que fosse efetuada análise multitemporal da expansão urbana na área de estudo. Para o ano de 1974, foram utilizadas ortofotocartas oriundas de um serviço de aerofotogrametria desenvolvido pela Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM); acerca do ano de 2016, foi utilizado um mosaico de imagens advindas também de um recobrimento aerofotogramétrico contratado pela Prefeitura do Município do Jaboatão dos Guararapes (PMJG). Estas imagens foram manipuladas no software livre QGis (Versão 2.18.22) em coordenadas UTM no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS).

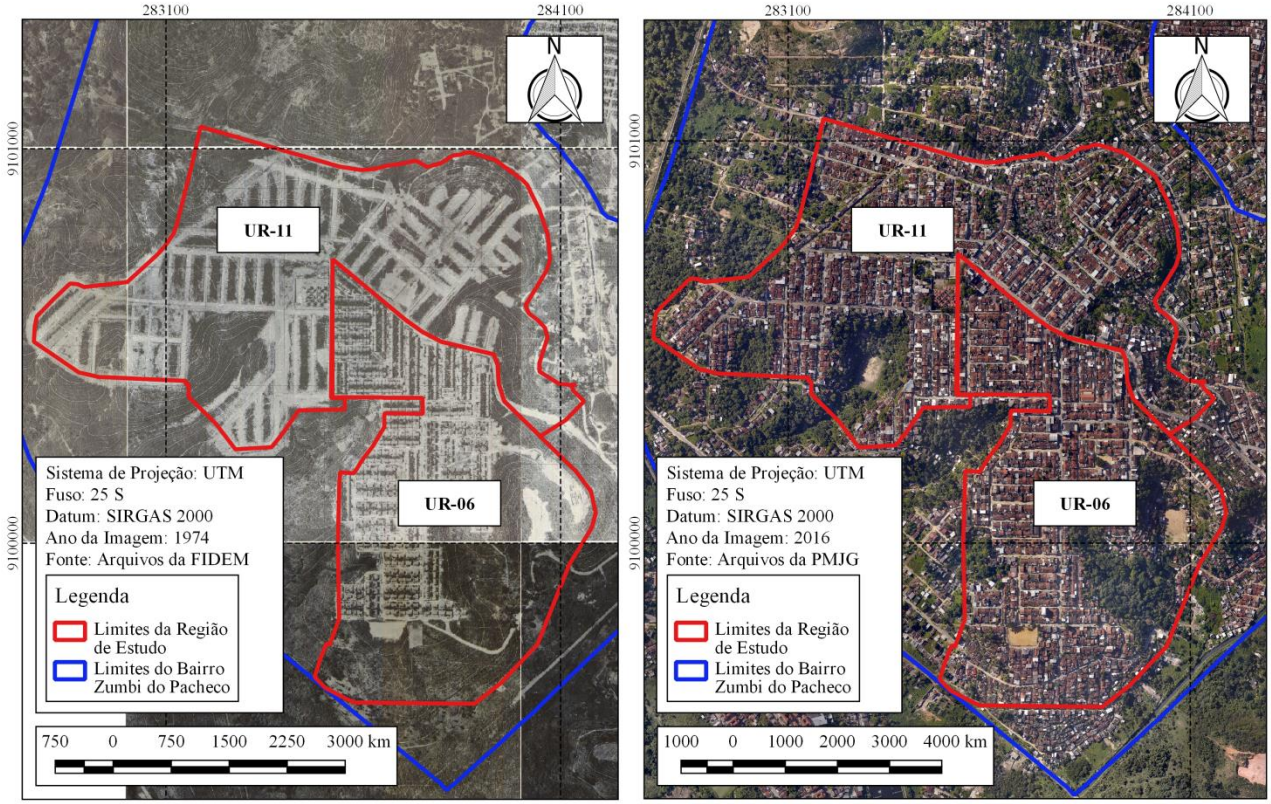
A análise multitemporal foi fundamentada na observação das transformações ocorridas na rede viária, vegetação, áreas edificadas e solo exposto. Para delimitação dos alvos em estudo foi criado no programa uma camada, no formato shapefile, do tipo polígono para cada categoria. Após serem definidos os polígonos, foi possível, então, calcular suas referidas áreas e analisar as modificações ocorridas em cada categoria na região de estudo. Para estas características observadas na fotointerpretação foi elaborada uma tabela no software Microsoft Excel (Versão 14.0) contendo os valores, em termos de medidas de superfície, do que foi alterado em função do tempo, anteriormente determinado, entre a quantidade de áreas edificadas, área vegetativa, solo exposto e rede viária.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados

A partir da delimitação da área de estudo nas imagens aéreas foi elaborado um mapa temático, conforme retrata a Figura 3, evidenciando a comparação entre a região analisada nos anos de 1974 e 2016.

Figura 3 – Análise comparativa da região de estudo entre os anos de 1974 e 2016



Conforme observado, é possível notar que no período de 1974 a região já passava por ações antrópicas, através de edificações populares para uso residencial (COHAB), bem como a determinação da rede viária. As superfícies a noroeste dessas habitações apresentavam-se como possíveis quadras indicando zona de preparação para o processo de urbanização. De maneira geral, é percebido na região uma significativa quantidade de solo exposto e vegetação. Em relação ao ano de 2016, no entanto, é nítido perceber a vasta modificação que houve na região, sobretudo pela expansão no tecido urbano e decréscimo da área vegetativa e solo exposto. Esse feito pode ser verificado nos dias atuais.

Como resultado final, obteve-se a confecção dos mapas temáticos, apresentados nas Figuras 4 e 5, da cobertura superficial da área de estudo. Estes permitiram a quantificação da expansão urbana ao longo do período analisado.

Figura 4 – Mapa da cobertura do solo da região de estudo no ano de 1974

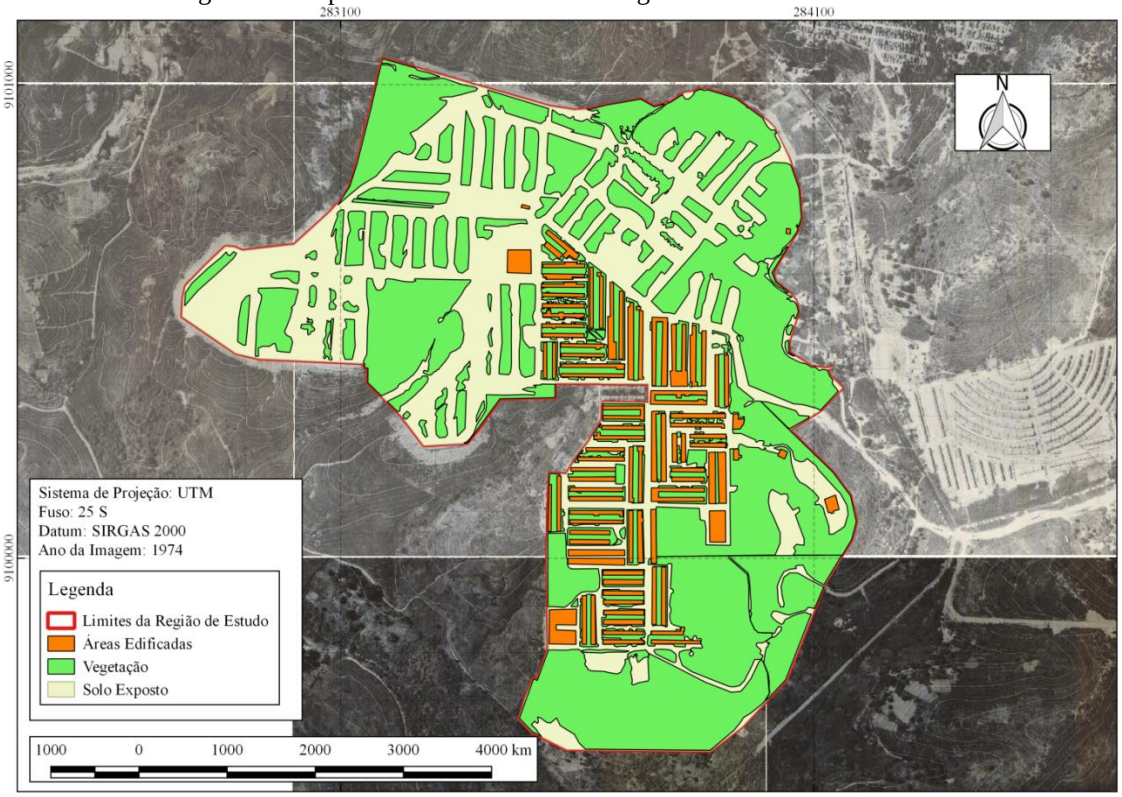
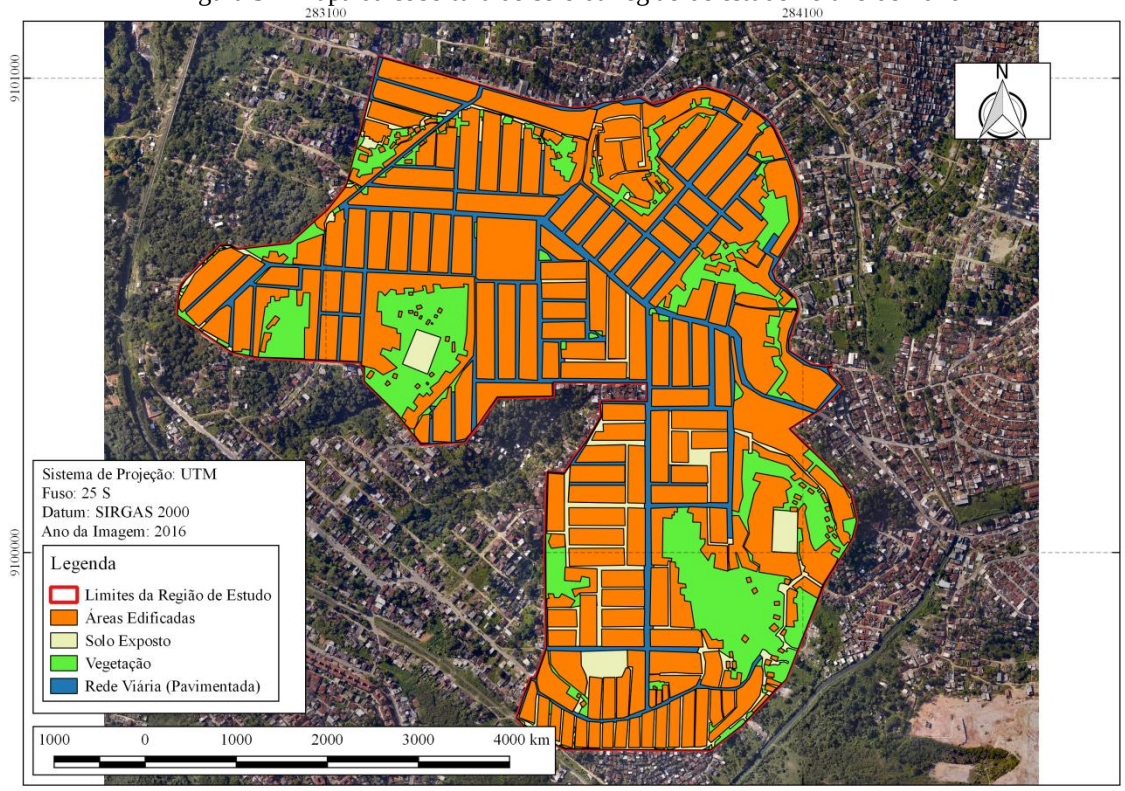


Figura 5 – Mapa da cobertura do solo da região de estudo no ano de 2016



Na tabela 1 é possível identificar os valores das áreas dos temas elencados nos anos de 1974 e 2016. Nela é observada a evolução numérica desses dados.

Tabela 1 – Classificação da cobertura do solo da região de estudo para os anos de 1974 e 2016.

Ano	Uso	Área (km²)	Taxa Percentual (%)
1974	Áreas Edificadas	0,091	8,39
	Rede Viária (Pavimentada)	0,000	0,00
	Vegetação	0,588	54,19
	Solo Exposto	0,406	37,42
	Total	1,085	100,00
2016	Áreas Edificadas	0,722	66,54
	Rede Viária (Pavimentada)	0,131	12,08
	Vegetação	0,169	15,57
	Solo Exposto	0,063	5,81
	Total	1,085	100,00

Os resultados demonstrados estabelecem acentuadas modificações na área de estudo. Foi revelado que as microrregiões UR-06 e UR-11 sofreram um acentuado processo de urbanização ao longo dos anos. Nessa observação, foi verificado um intenso adensamento das construções, sobretudo as moradias. Como consequência disso, houve uma redução expressiva da quantidade de vegetação e solo exposto.

As áreas correspondidas por áreas edificadas que possuíam 8,39% de toda a área da região em 1974, no ano de 2016 aumentam para 66,54% da área. Observa-se também que as vias pavimentadas em 1974 não têm representação, mas em 2016 elas compõem 12,08% da região de estudo. Enquanto as categorias relacionadas a antropização crescem, as demais diminuem. É o caso da vegetação e do solo exposto que, em 1974, apresentavam 54,19% e 37,42%, respectivamente, e passam a ter 15,57% e 5,81%. Nota-se que este tipo de classe dominava toda a região no primeiro período observado, mas no segundo momento são restritas, pois a retirada da vegetação é consequência do processo de expansão da área urbanizada.

A análise comparativa das imagens aéreas e dos mapas estudados contribui na indicação de tendências futuras para o comportamento urbano da região de estudo. Esses dados apontam para a predominância, segundo conceito utilizado por Japiassú e Lins (2014), de um crescimento territorial urbano intensivo. Esse tipo de comportamento tem como característica principal a intensificação da ocupação do solo. No contexto da região estudada esse fato se evidencia pela verticalização das moradias, isto é, o acréscimo de um ou dois andares às habitações existentes. Diante da mesma análise é possível constatar que o comportamento urbano ocorrido durante o período estudado caracterizou-se pelo crescimento territorial urbano extensivo, segundo define as referidas autoras. Esse fator configura-se pela extensão do tecido urbano.

4.2 Discussão

Estudo semelhante a este foi realizado por Gomes *et al.* (2017). Os autores analisaram o uso do solo e suas mudanças na ilha de Caratateua, no município de Belém/PA, fazendo uso do sensoriamento remoto. Para isso, processaram as imagens por meio de software de sistema de informações geográficas (SIG), técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Nesse trabalho eles evidenciaram um avanço desordenado na área estudada ao longo de 30 anos e concluíram que é inviável novas habitações na ilha sem que ocorra a degradação do meio ambiente, levando a redução das áreas de vegetações e aumento do meio urbano.

Neste contexto, Figueiredo e Silva (2017) abordaram as crescentes alterações do uso e ocupação do solo, com foco na análise de expansão urbana no município de Angra dos Reis/RJ. Eles monitoraram e estudaram a expansão urbana da área de estudo utilizando técnicas de sensoriamento remoto e chegaram aos resultados que mostraram uma expansão urbana bastante significativa que foi explicada com base nos eventos históricos ocorridos ao longo dos anos na cidade.

Belo *et al.* (2017) também demonstraram a importância na utilização da ferramenta geoprocessamento, através de fotointerpretação e fotogrametria, realizando uma análise espaço temporal no município de Olinda/PE utilizando ortofotocarta e ortofotos. Eles mostraram, por intermédio este instrumento, o quanto é permitido estudar a variabilidade que pode ocorrer ao se analisar os aspectos da vegetação, solo exposto, edificações e vias ou logradouros. Os autores afirmam que trabalhos que visam à análise espaço-temporal são importantes, pois fornecem diagnósticos dessas mudanças, obtendo dados estatísticos e qualitativos sobre a evolução de uma determinada área, além de auxiliar no processo de planejamento urbano de vital importância para a tomada de decisão.

Na mesma linha de pesquisa, Costa e Pedrassoli (2017) realizaram a análise multitemporal das alterações da mancha urbana no entorno da Avenida Luís Viana, localizada em Salvador/BA, através de técnicas de sensoriamento remoto e processamento digital de imagens, associando os parâmetros físicos extraídos das imagens orbitais à evolução sociodemográfica do local. Eles demonstraram que houve, no período estudado, um aumento de área urbanizada de 41,4% captados pelas cenas Landsat.

5 CONCLUSÕES

O estudo multitemporal, observando a evolução do uso e ocupação do solo nas microrregiões UR-06 e UR-11 para os anos avaliados (1974 e 2016), utilizando a ferramenta geoprocessamento, sobretudo técnicas de aerofotogrametria, mostrou-se satisfatório. Foi constatado, através dos resultados apresentados, que houve um crescimento expressivo na área urbana, ao passo que as áreas de vegetação e solo exposto foram reduzidas.

O trabalho trouxe informações de extrema importância para o município do Jaboatão dos Guararapes/PE. Com a utilização dessa tecnologia, apresentando imagens de datas distintas, tornou-se possível observar como a dinâmica do crescimento urbano segue na região com uma maior segurança, bem como identificar tendências futuras. Estes são dados que se mostram efetivos para atuação da gestão municipal, considerando-se que através dos mesmos é possível promover um planejamento urbano adequado, o qual possibilita segurança ao município para situações do porvir, bem como contribuir para a melhoria da qualidade ambiental, reduzindo e monitorando impactos que podem ser causados pelo uso e ocupação desordenados do espaço urbano.

AGRADECIMENTOS

À Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM) e à Prefeitura do Município do Jaboatão dos Guararapes (PMJG), pela colaboração no sentido de ceder as imagens aéreas aqui apresentadas.

REFERÊNCIAS

ALVES, F. P.; SILVA, D. C. da; CANDEIAS, A. L.; Andrade, A. de F. D. de; Araújo, M. das G. R. de, (2004). **Aplicação da fotogrametria digital à curta distância na medição da expansibilidade pulmonar.** In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 1., 2004, Recife. Anais… Recife: DECART-UFPE, 2004. p. 1-8.

BELO, J. C. A. S.; FARIAS, M. de O.; SCHULER, C. A. B. (2017). **Análise espaço temporal de parte de Bairro Novo – Olinda entre 1986 a 2014 utilizando ortofotocarta e ortofotos.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2017, Santos. Anais... Santos: Mendes Convention Center, 2017. p. 3447-3454.

COSTA, L. J. M.; PEDRASSOLI, J. C. (2017). **Análise multitemporal das mudanças no uso e ocupação da Ilha de Caratateua (Belém–PA) utilizando geoprocessamento (1986 – 2016).** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 27., 2017, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Escola Naval, 2017. p. 776-780.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (1997). **Atlas do meio físico do município do Jaboatão dos Guararapes - Estado de Pernambuco**. CPRM/FIDEM Recife – PE, 26p.

FIGUEIREDO, M. R.; SILVA, A. F. R. da (2017). **Análise da expansão urbana do munípicio de Angra de Reis - RJ através de técnicas de sensoriamento remoto.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 27., 2017, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Escola Naval, 2017. p. 772-775.

GOMES, M. V. F.; MOREIRA, T. A.; JUNIOR, W. L. T. N. (2017). **Análise multitemporal da mancha urbana no entorno da Avenida Luís Viana - Salvador no período de 1991 a 2016.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 27., 2017, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Escola Naval, 2017. p. 820-823.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **IBGE Cidades: Jaboatão dos Guararapes**. < https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/jaboatao-dos-guararapes/panorama>. Acesso: 24 junho 2018.

JAPIASSÚ, L. A. T.; LINS, R. D. B. (2014). As diferentes formas de expansão urbana. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 02, n.13, p. 15-25, 2014.

ROSA, Olga Martins Freitas; PAZ, Manuela Rodrigues (2016). **Análise histórica da ocupação das áreas públicas do loteamento Peurê - Navegantes / SC.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO E GESTÃO TERRITORIAL, 12., 2016, Florianópolis. Anais... Florianópolis: Hotel Quinta da Bica d'Água, 2016. p. 1-17.

SILVA, C. F. A.; SCHULER, C. A. B.; LIMA, F. V. M. S.; MORAES, J. K.; BARRETO, E. P. (2017). **Análise multi-temporal dos processos de expansão urbana em áreas de risco utilizando técnicas fotogramétricas na cidade do Recife, Nordeste do Brasil.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 27., 2017, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Escola Naval, 2017. p. 634-638.

UMMUS, M. E.; MATOS, P. P. O.; JESUS, S. C. de (2008). **O avanço da urbanização no município de Niterói (RJ) entre 1987 e 2007.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2., 2008, Recife. Anais... Recife: Mar Hotel, 2008. p. 000-000.

ANÁLISE MULTITEMPORAL DO PROCESSO DE EXPANSÃO URBANA DO MUNICÍPIO DE TERESINA, PIAUÍ, NO PERÍODO DE 1998 E 2009

ÁLVARO AUGUSTO DAS MONTANHAS FARIAS
PROFA. DRA. LUCILENE ANTUNES CORREIA MARQUES DE SÁ
DENIEZIO DOS SANTOS GOMES
ALINE NEVES SILVA

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
alvaroamfarias@gmail.com, lacms@ufpe.br, deniezio@hotmail.com, alinevess@gmail.com

RESUMO - O processo de urbanização intensificou-se a partir da década de 50 no Brasil, impulsionado pela industrialização crescente e o êxodo rural, a mudança de hábitos na população brasileira modificou a dinâmica do espaço geográfico das cidades, definindo novas formas de uso e ocupação do solo, a marca deste processo no Brasil é a heterogeneidade, desalinhado com políticas habitacionais. Este estudo analisou o aumento do tecido urbano no município de Teresina-PI no ano de 1998 e 2009. As imagens foram calibradas por radiância e reflectância, para tanto foi utilizado o *software* livre QGIS 2.14.18 para elaboração dos mapas. A utilização das técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) é possível constatar alteração promovida e a substituição das paisagens naturais por áreas construídas, com a aplicação dos parâmetros biofísicos NDBI (Normalized Difference Built-up Index) e NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), foram levantados dados climatológicos como pluviosidade, umidade do ar e temperatura, para confrontar com as imagens de satélite. Resultados indicaram que houve pouca variação na cobertura vegetal em função da variação pluviométrica, visto que o período em estudo foi considerado como normal, confirmado através da diminuição sensível entre os valores máximos e mínimos do NDVI entre os anos estudados, o desempenho dos índices foram satisfatórios para as análises em questão, apontando para uma elevação das temperaturas a partir da evolução urbana, que contribui para formação de microclimas.

ABSTRACT - The urbanization process intensified since the 1950s in Brazil, driven by increasing industrialization and the rural exodus, changing habits in the Brazilian population modified the dynamics of the geographical space of cities, defining new forms of land use and occupation , the hallmark of this process in Brazil is the heterogeneity, in disarray with housing policies. This study analyzed the increase of the urban tissue in the city of Teresina-PI in the year 1998 and 2009. The images were calibrated by radiance and reflectance, for which the free software QGIS 2.14.18 was used for mapping. The use of the Remote Sensing (SR) techniques is possible to verify the promoted change and the replacement of the natural landscapes by constructed areas, with the application of NDBI (Normalized Difference Built-up Index) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) parameters. climatological data such as rainfall, air humidity and temperature, to compare with the satellite images. Results indicated that there was little variation in the vegetation cover due to the rainfall variation, since the period under study was considered normal, the performance of the indices were satisfactory for the analyzes in question, pointing to a rise in temperatures from the urban evolution, which contributes to the formation of microclimates.

1. INTRODUÇÃO

A implementação de políticas que impulsionaram a industrialização no Brasil a partir da década de 1930, o processo de urbanização brasileira é intensificado, e na metade do século XX nota-se um ligeiro crescimento na população que vivia em cidades que em 1940 representava 26,3% e em 2010 é observado um salto significativo de 84,4% da população do país vivendo em espaços urbanos (LIMA; LOPES; FAÇANHA, 2017) a marca deste processo no Brasil é a heterogeneidade, ressaltando o desalinhamento das políticas habitacionais ao longo do país.

O caso do processo de expansão urbana no município de Teresina é intensificado a partir da década de 1950, quando a ação industrial acontece de forma mais concreta no local (FAÇANHA, 2003). Os agentes de transformação que mais colaboraram com este processo foram as instituições governamentais, no âmbito federal vale salientar as políticas nacionais de habitação, com ênfase para construção de conjuntos habitacionais. Na condição de transformador do espaço urbano, o estado atua na organização espacial da cidade (CORRÊA,1989), regulamentando o uso do solo, dotando ou não essas parcelas do terreno de determinadas infraestruturas, como saneamento básico, unidades de saúde em bairros periféricos.

Não obstante disso, outro fato importante na composição do tecido urbano, foi a escolha do município como cidade piloto para implantação do Programa de Arrendamento Residencial – PAR (SILVA; SILVA; VIEIRA, 2017), que foi responsável pela alocação de recursos para diminuir o déficit habitacional, atentando cada vez mais para expansão do município entre os anos de 1998 e 2009. A interligação dos espaços, com a malha viária das rodovias espalhadas pelo país, fazendo com que o tráfego do Norte para Região Nordeste tivesse que passar obrigatoriamente por Teresina.

Com o uso das ferramentas de Sensoriamento Remoto (SR), que é entendido como a técnica que utiliza sensores para a captação e registro a distância, sem contato direto, da energia refletida ou absorvida pela superfície terrestre (FITZ, 2008), é possível constatar a substituição das paisagens naturais pelo avanço das áreas construídas, que alteram as características da superfície terrestre, que podem provocar além da alteração nas paisagens, problemas de ordem econômica e social.

As imagens foram adquiridas gratuitamente no site do Inpe (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), do satélite Landsat-5 lançado em 1984 com atividades encerradas em 2011, sensores TM (Thematic Mapper), que foram tratadas no *software* livre QGis, versão 2.14.18, com a aplicação dos parâmetros biofísicos para identificação de áreas construídas e supressão de vegetação é possível identificar as alterações promovidas no espaço geográfico, que constituem fontes de informações importantes para órgãos competentes que atuam na área de planejamento urbano.

O presente trabalho destaca a relevância deste estudo para sociedade tendo como objetivo analisar através das técnicas de sensoriamento remoto, com uso dos parâmetros biofísicos NDBI (Normalized Difference Built-up Index) e NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) que irá constatar as alterações promovidas no espaço ao longo da variação temporal, podendo definir e retratar melhor o avanço das áreas construídas na cidade de Teresina, Piauí, entre os anos 1998 e 2009.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

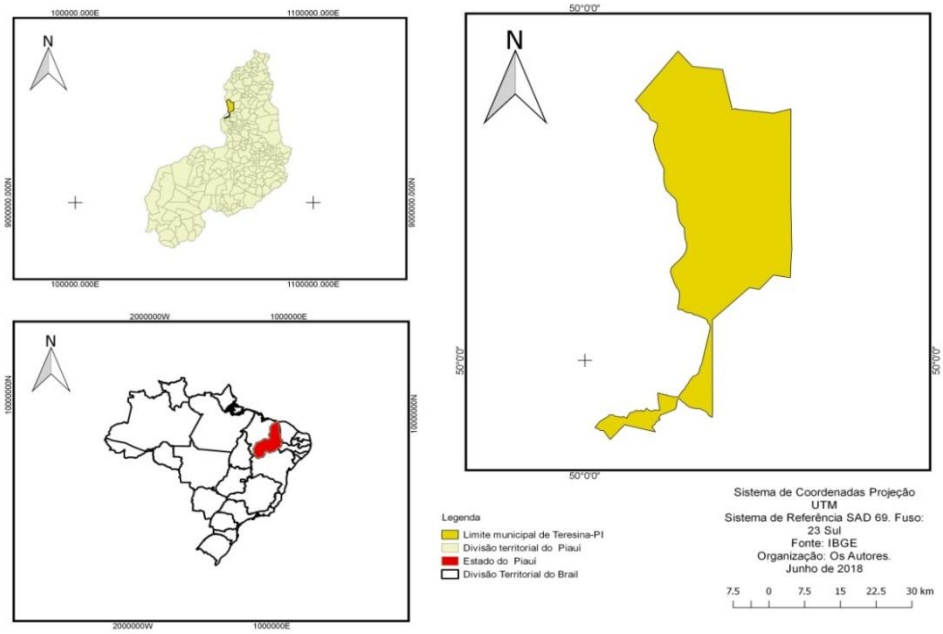
2.1 Caracterização da área

Conhecida como Cidade Verde, título dado pelo poeta Coelho Neto em 1899, Teresina a capital do Estado do Piauí fundada em 1852, fica localizada nas seguintes coordenadas geográficas latitude 5°05’20” S, longitude 42°48’07” W, como mostra a figura 1, e com altitude média em relação ao nível do mar de 72 m. Possui uma extensão territorial de 1.392 km2, desta, cerca de 17% é zona urbana e 83% é zona rural (SEMPLAN, 2016). Esta extensão territorial dá a Teresina a 21ª posição entre as maiores cidades brasileiras (em área territorial) e a 1ª colocação dentre as capitais do Nordeste.

O clima de Teresina é Tropical, segundo a classificação climática Köppen “Aw” (SILVA *et al*.). Com biomas predominantes de Caatinga e Cerrado, e pelo fato de se encontrar em uma região próxima à Linha do Equador, tem

estações climáticas pouco definidas, destacando-se períodos chuvosos que se iniciam por volta da primeira quinzena de dezembro e estendem-se até maio e períodos secos nos demais meses do ano (GOMES *et al*., 2017). A cidade possui uma população de 850.198 habitantes segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas - IBGE (2017), população esta, que ocupa um total de 123 bairros atualmente (SEMPLAN, s.d.).

Figura 1. Mapa de caracterização da área de estudo.



Fonte: Os autores.

2.2 Aquisição das imagens

No andamento da pesquisa, o primeiro passo foi a escolha da área de estudo, seguido de levantamento bibliográfico e cartográfico acerca da temática abordada, em seguida, no levantamento cartográfico foi necessário adquirir as imagens orbitais do LANDSAT-5 TM (ThematicMapper), da órbita 219 e do ponto 63 e 64 do dia 23/08/1998, e da órbita 219 ponto 63 e 64 do dia 06/09/2009, a aquisição das imagens foram realizadas pelo site do Inpe (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), disponibilizadas gratuitamente através do site <www.inpe.br>. Já os dados vetorias utilizados para a confecção dos mapas, foram adquiridos no site do IBGE (Instituto Brasileiro de Estatística).

Os processamentos dos dados matriciais, vetorias e as aplicações do parâmetro biofísico NDBI foram realizados no *software* livre QGIS 2.14.18, em seguida as imagens foram recortadas com base no *shapefile* da área urbana, extraídas a partir dos dados disponibilizados pela Semplam.

2.3 Radiância espectral

Para realizar a determinação, primeiro se converte os números digitais de cada pixel em radiâncias espectrais de cada banda ($L_{\lambda i}$), isto decorre de satélites que medem as radiâncias espectrais emitidas e refletidas pelos alvos e armazena-os em formato digital. Portanto, para converter os números digitais (DN) de cada pixel em radiância espectral, usam-se os correspondentes coeficientes de calibração para cada banda. As radiâncias representam a energia

solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medidade no sensor TM do satélite Landsat 5 nos canais 1, 2, 3, 4, 5, e 7. O valor de ($L_{\lambda i}$) foi obtido pela equação 1, proposta por Markham e Baker (1987)

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

2.4 Reflectância monocromática

A reflectância monocromática de cada banda (ρλi), corresponde à razão entre o fluxo de radiação refletida por cada banda e o fluxo de radiação incidente, sendo obtida por Allen *et al*. (2002), na equação 2, onde o CosZ vai variar em virtude da elevação do sol, e d_r que é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (FARIAS, *et al.*, 2017), sofrerá variação em função do dia sequencial do ano

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi . L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} . CosZ . d_r} \quad (2)$$

2.5 Índice Normalizado por Diferença de Área Construída – NDBI

Com a aplicação do índice NDBI, é possível realizar a constatação do crescimento de áreas construídas em áreas urbanas, bem como o uso e ocupação do solo. Podendo ser utilizado para ações de planejamento urbano, definido pela equação 3, proposta por Zha *et al*. (2003)

$$NDBI = \frac{MidIR_{TM5} - NIR_{TM4}}{MidIR_{TM5} + NIR_{TM4}} \quad (3)$$

Onde:
MidIR: corresponde a banda do infravermelho médio.
NIR: corresponde ao infravermelho próximo

2.6 Índice Normalizado por Diferença de Vegetação – NDVI

Com a obtenção das imagens, é possível realizar uma análise nas alterações promovidas e as mudanças no uso e ocupação do solo por meio do NDVI, de acordo com Byama e Sano (2015), este parâmetro é capaz de evidenciar as variações sazonais, interanuais. O NDVI poderá constatar se as mudanças ocorridas são devidas a sazonalidade climática ocasionadas pela alteração do regime de chuvas ou se ocorrem mudanças no uso e ocupação da terra, e pode ser definido pela equação 4 proposta por Rouse *et al* (1974)

$$NDVI = \frac{NIR_{TM4} - MidIR_{TM5}}{MidIR_{TM5} + NIR_{TM4}} \quad (4)$$

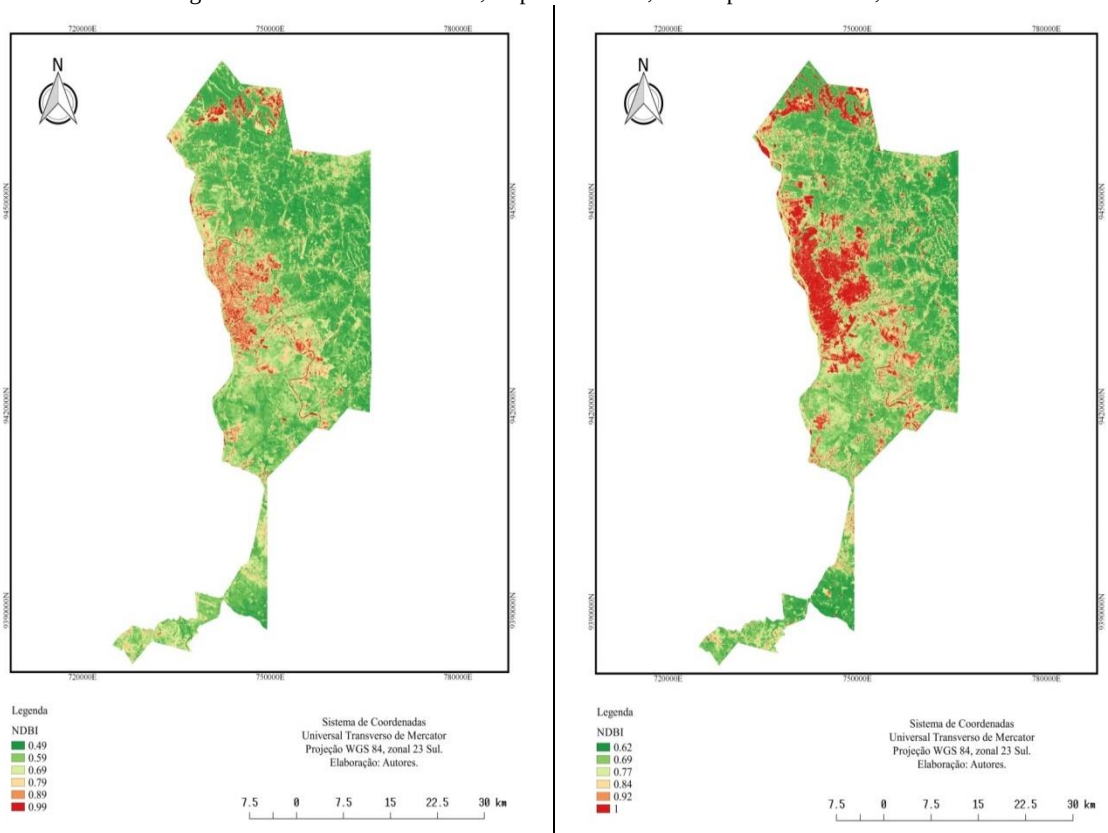
Após a aplicação do parâmetro, foi estabelecida uma comparação do resultado das imagens e as médias pluviométricas, temperatura e umidade do ar entre os anos de 1998 e 2009, para constatar as possíveis alterações na composição vegetal.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise entre a variação multitemporal propiciou um maior detalhamento sobre o uso e ocupação do solo e através dos resultados obtidos a partir da aplicação do NDBI, que foram satisfatórios, próximos de 1 (figuras 2 e 3), permitiu a constatação do avanço das áreas construídas no município de Teresina-PI, no ano de 1998 e 2009. A problemática da utilização apenas do NDBI, poderá implicar na confusão entre solo exposto e área construída, para tanto foi necessário a aplicação do parâmetro biofísico NDVI, além de comparar com as médias pluviométricas locais e confirmar se o bioma local sofreu alteração com a variação das chuvas, umidade do ar e temperaturas na região.

A imagem de 1998 (figura 2) mostra a mancha urbana, que está localizada às margens do Rio Parnaíba, onde historicamente se deu o processo de aglomeração urbana no local, e uma área urbanizada mais desconcentrada ao norte e sudeste do município.

Figura 2 e 3. NDBI 1998 e 2009, respectivamente, município de Teresina, Piauí.



Fonte: Os autores.

No ano de 2009 a partir da imagem gerada (figura 3) já podem ser observadas algumas alterações promovidas na paisagem, a partir do mapeamento do tecido urbano, essa constatação já indica a diminuição da cobertura vegetal no

município, que promoveram alterações no uso e na cobertura do solo (tabela 1). O estudo dessas alterações permite que sejam realizados projetos de planejamento urbano, afim de que haja um controle na diminuição dos espaços verdes, e se possível medidas mitigadoras para conter a supressão vegetal no espaço urbano, que pode provocar alterações nas temperaturas locais ao longo do tempo.

Tabela 1. Valores estatísticos do NDBI, nos anos de 1998 e 2009.

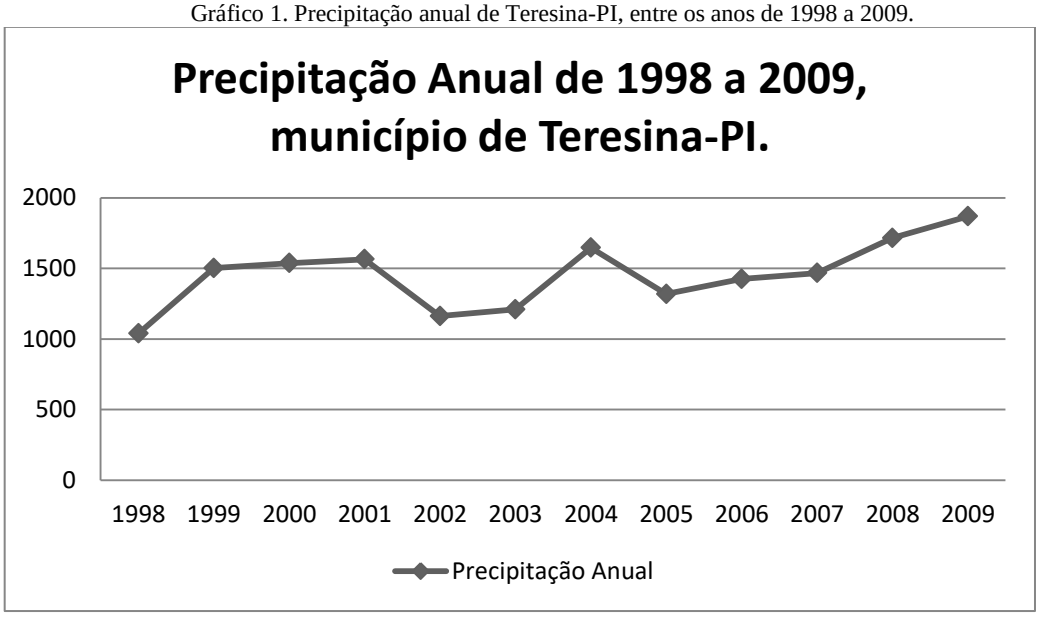
Imagem (Ano)	Valor mínimo	Valor Máximo	Média
NDBI (1998)	0.49	0.99	0.74
NDBI (2009)	0.62	1.00	0.81

Fonte: Os autores.

Verifica-se que no processo de expansão da área urbanizada no período em questão, houve pouca desconcentração e o crescimento que mesmo com o surgimento de alguns focos de ocupação nas áreas mais periféricas do município e tendeu a concentrar-se nas áreas radiais, aproveitando uma série de infraestruturas já disponíveis no espaço urbano.

De acordo com Menezes *et al* (2016), o período compreendido neste estudo, os totais pluviométricos anuais foram dentro da normalidade, o ano de 2009 foi classificado como chuvoso e seco. Os dados pluviométricos apontam para uma normalidade no que tange as chuvas no município, entre os anos de 1998 a 2009, como mostra o gráfico 1. A variação de temperatura se dá sob influência do *El niño*, o ano de 1998 teve temperaturas médias de 27,9°C e foi caracterizado como um ano quente e que de acordo com o avanço do processo de urbanização, crescimento das cidades, e retirada das áreas verdes, que promovem a elevação das temperaturas a nível local, o ano de 2009 tem temperatura média de 28,1ºC.

Gráfico 1. Precipitação anual de Teresina-PI, entre os anos de 1998 a 2009.

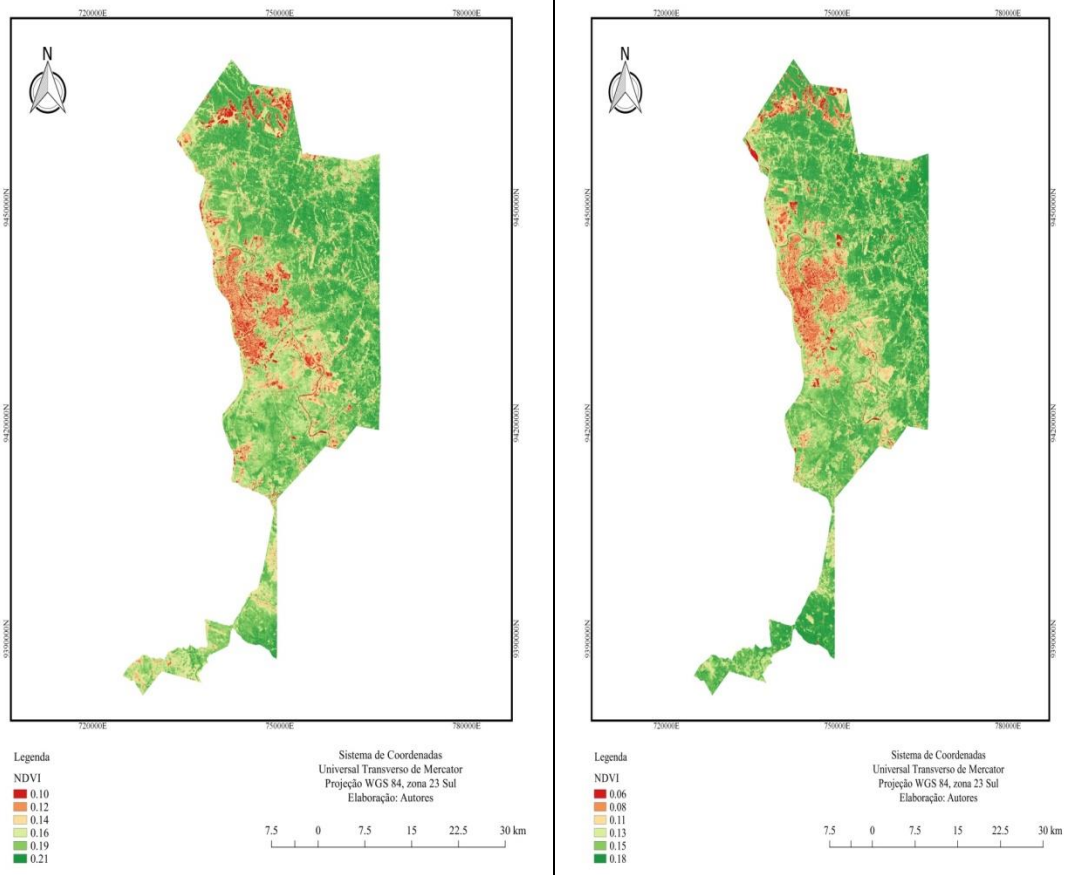


Fonte: Menezes *et al* (2016).

Outra informação indispensável está relacionada à umidade do ar, que para Feitosa (2010) é importante na composição do clima por estar diretamente relacionada com a atmosfera, regendo as condições de um dado momento e lugar, a média da umidade relativa do ar em Teresina-PI é de 69,9%, no período de 1977 a 2009, de acordo com Feitosa

(2010). A combinação do aumento da temperatura do ar, com o final da estação chuvosa, indisponibilidade hídrica faz com que a atmosfera absorva pouca umidade, nos meses mais secos a umidade pode chegar até 30%, sendo considerada baixa.

Figura 2 e 3. NDVI 1998 e 2009, respectivamente, município de Teresina, Piauí.



Fonte: Os autores.

Com a geração das imagens (Figura 4 e 5), a partir da aplicação do NDVI, constata-se que a variação na cobertura vegetal foi pequena (tabela 2), aliado com a normalidade das médias de chuvas e uma pequena variação na temperatura do município nos anos estudados, deixa evidente a pouca relação da supressão vegetal com as variações das condições atmosféricas e que o crescimento da cidade e a intensificação do processo de urbanização estão associados ao crescimento populacional, entre os anos citados neste trabalho.

Tabela 2. Dados estatísticos do NDVI, nos anos de 1998 e 2009.

Imagem (Ano)	Valor mínimo	Valor Máximo	Média
NDVI (1998)	0.10	0.21	0.15
NDVI (2009)	0.06	0.18	0.12

Fonte: Os autores.

O município é composto por vegetações pertencentes ao bioma caatinga que possui vegetação adaptada a regimes com déficit hídrico, com espécies do tipo cactáceas e arbustivas, diminuindo o consumo de água com a substituição das folhas por espinhos e o cerrado, que é caracterizado pela presença de espécies de vegetais com raízes profundas do tipo ombrófila, adaptadas a períodos secos ou úmidos, em virtude da normalidade entre as médias

pluviométricas da região, pode-se destacar que a alteração em função das variações das condições atmosféricas foi muito pequena.

O uso recorrente das ferramentas de das ferramentas de Sensoriamento Remoto visam cada vez mais atender uma necessidade de monitoramento do espaço, além de ser um forte aliado no monitoramento de ecossistemas, permitindo também uma possibilidade maior de planejamento do processo de urbanização, por parte dos órgãos competentes, trazendo aumento da qualidade de vida para a população do município.

4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos após a aplicação dos parâmetros biofísicos NDBI e NDVI foram satisfatórios e evidenciaram as alterações promovidas ao longo da variação temporal, contribuindo para os estudos sobre o avanço do processo de urbanização, podendo atuar também no sentido de conservação do meio ambiente, otimizando o tempo das análises. A sensível alteração na cobertura vegetal pode ser confirmada através da diminuição dos valores máximos e mínimos do NDVI, conforme a tabela 2.

Por conseguinte, pode-se concluir que a utilização destes parâmetros constituem ferramentas importantes para o estudo das diferentes formas de uso e ocupação do solo.

REFERÊNCIAS

CORRÊA, R. L. O espaço urbano. São Paulo: Ática, 1989.

DEUS, R. A. S. G; *et al*. Análise Multitemporal da expansão urbana do município de Garanhuns – PE, através do sensoriamento remoto. In: **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. V. 19, n. 2, mai-ago, 2015. p. 1535-1544.

FAÇANHA, A. C. **A evolução urbana de Teresina: passado, presente e....** Disponível em: https://sigaa.ufpi.br/sigaa/verProducao?idProducao=877156&key=9fcac448d38db120e1f951238806e74d. Acesso em: 13 abr. 2018.

FARIAS, M. O. *et al*. Variabilidade espaço-temporal da cobertura do solo por índices de vegetação e água no Agreste Pernambucano. In: **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v.7, n.3, p. 91-99, 2017.

FEITOSA, S. M. R. Alterações climáticas em Teresina-PI decorrentes da urbanização e supressão de áreas verdes. **Dissertação** (Mestrado). Núcleo de Referência em Ciências Ambientais do Trópico Ecotonal do Nordeste, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2010. 112 p.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. Ed. Oficina de textos: São Paulo, 2008.

GOMES, D. S. et al. ESTUDO DE CASO: QUANTITATIVO E ANÁLISE ESPACIAL DOS FOCOS DE INCÊNDIO EM TERESINA-PI. In: **XIII CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA** - CONEA 2017, 13., 2017, Teresina. Anais... Teresina: CONEA, 2017. p. 53 - 62. Disponível em: <http://www.mundogeoconnect.com/2018/arquivos/news/ANAIS_XIII_CONEA.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. **Teresina/ Panorama**. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/teresina/panorama>. Acesso em: 25 abr. 2018.

LIMA, S. M. S. A; LOPES, W. G. R; FAÇANHA, A. C. Urbanização e crescimento populacional: reflexões sobre a cidade de Teresina, Piauí. In: **Gaia Scientia**, 2017. Vol. 11(1), p. 31-51. Disponível em: http://www.periodicos.ufpb.br/index.php/gaia/article/view/34864/18748. Acessoem: 12 abr. 2018.

MARKHAM, B. L.; BAKER, L.L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. In: **International Journal of Remote Sensing**, n. 3, p.517-523, 1987.

MENEZES, H. E. *et al*. Climatologia da pluviometria do município de Teresina, Piauí, Brasil. In: **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 11, n. 4. p. 135-141, Pombal-PB, 2016.

SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO. **Teresina em Bairros**. s.d. Disponível em: < http://semplan.teresina.pi.gov.br/teresina-em-bairros/>. Acesso em: 25 abr. 2018.

SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO. **Teresina: Caracterização do Município**. 2016. Disponível em: <http://semplan.teresina.pi.gov.br/wp-content/uploads/2016/08/TERESINA-Caracterizaçãodo-Município.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2018.

SILVA, E. O; SILVA, G. R; VIEIRA, N. R. C. Expansão urbana da cidade de Teresina e suas transformações socioespaciais. In: **Encontro Nacional da Rede Observatório das Metrópoles: Regimes urbanos e governança metropolitana**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 2017. Disponível em: http://cchla.ufrn.br/rmnatal/evento_2017/anais/ST2/expansao_urbana.pdf. Acesso em: 15 abr. 2018.

SILVA, V. M. de A. *et al*. CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO NO MUNICÍPIO DE TERESINA, PI, BRASIL. In: **CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA** – CONTECC' 2015, Fortaleza. Anais... . Fortaleza: Contecc, 2015. Disponível em: <http://www.confea.org.br/media/AGRONOMIA_2015.rar>. Acessoem: 25 abr. 2017.

ZHA, Y. et al. Used of Normalized Difference Built-up Index in Automatically Mapping Urban Areas from TM Imagery.In: **Journal of Remote Sensing**, Vol. 24(3), p. 583-594, 2003.

ANÁLISE MULTITEMPORAL E BIOFÍSICA UTILIZANDO O SENSOR THEMATIC MAPER NO MUNICÍPIO DE ARARIPINA - PE

JÉSSICA FERNANDA DE LIMA
LEIDJANE MARIA MACIEL DE OLIVEIRA

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica e Departamento de Engenharia Civil, Recife, PE
fernanda.agrim@gmail.com, leidjaneoliveira@hotmail.com

RESUMO – Este artigo trata de uma análise usando a composição dos índices biofísicos NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e NDBI (*Normalized Difference Built-up. Index*), para avaliar a cobertura vegetal e o desenvolvimento urbano da capital do polo gesseiro do Sertão Pernambucano. A área de estudo foi o município de Araripina do estado de Pernambuco. Foram usadas duas cenas do Landsat 5 (*Thematic Mapper*), órbita ponto 217 – 065 nas datas de 26 de setembro de 1998 e 24 de setembro de 2009. O QGIS 2.14.18 foi o software utilizado para o processamento das imagens. Os resultados demonstraram um acréscimo na cobertura vegetal, e isso foi decorrente ao índice pluviométrico que antecedeu a passagem do satélite, contudo, o NDVI apresentou coerência, visto que os valores máximos encontrados foram de 0,6971 e 0,6781, que se aproximam do resultado observado em um estudo da bacia do Rio Brígida que foi de 0,7. O NDBI se mostrou reduzido, não possibilitando a definição do perímetro urbano, sendo também consequência da precipitação. Os valores máximos identificados do índice de construção foram de 0,3517 e 0,3007.

ABSTRACT - This article deals with an analysis using the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and NDBI (Normalized Difference Built-up Index), to evaluate the vegetation cover and urban development of the capital of the poles. The study area was the municipality of Araripina in the state of Pernambuco. Two scenes from Landsat 5 (Thematic Mapper), orbit point 217-0665, were used on September 26, 1998 and September 24, 2009. QGIS 2.14.18 was the software used for image processing. The results showed an increase in the vegetation cover, and this was due to the pluviometric index that preceded the passage of the satellite, however, the NDVI presented coherence, since the maximum values found were 0.6971 and 0.6778, which are close to the result observed in a study of the Brigid River basin that was 0.7. The NDBI was reduced, not allowing the definition of the urban perimeter, being also a consequence of precipitation. The maximum values of the construction index were 0.3517 and 0.3007.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de desenvolvimento da sociedade fez com que o Homem procurasse o crescimento sem levar em consideração os efeitos colaterais causados no meio. Essa consciência deturpada resultou em um nível de antropização muitas vezes irreversível, e isso desencadeou na busca pelo monitoramento e análise das consequências destas ações.

De acordo com o Conselho de Desenvolvimento de Pernambuco (1966), estima-se que a maior reserva de gipsita do país se encontra na região Nordeste, devido a facilidade de exploração e elevado teor de pureza do minério. Esta atividade influencia diretamente nas feições de uma região, já que se trata de uma antropização continuada.

Segundo Santos e Sardou (1996) o polo gesseiro de Pernambuco é responsável por 90% da produção de gipsita do país, gerando na região mais de 12 mil empregos, constituindo-se assim, uma das mais importantes atividades econômicas do Sertão do Araripe.

O Sensoriamento Remoto (SR), como fonte regular de obtenção de dados da superfície terrestre, constitui-se numa importante recurso para o monitoramento sistemático da dinâmica da vegetação (CARVALHO et al., 2008). A utilização de dados espectrais, na estimativa de parâmetros estruturais da vegetação, constitui-se num dos mais importantes papéis do Sensoriamento Remoto dos ecossistemas naturais (ACCIOLY et al., 2002)

Estudar a vegetação em ambientes semiáridos é de grande importância para avaliar os efeitos da variabilidade climática e de outros fatores antropogênicos no meio ambiente (ELMORE et al., 2000; TUELLER, 1987; WOODWELL et al., 1984).

Os índices de vegetação são um dos dados mais utilizados no monitoramento sazonal e interanual de parâmetros fisiológicos e estruturais dos diferentes ecossistemas via SR. Eles consistem em transformações, lineares ou não, de bandas espectrais designadas para realçar a contribuição de propriedades de interesse da vegetação (SOUZA, A. A.; GALVÃO, L. S.; SANTOS, J. R. DOS, 2009).

Um dos índices de vegetação mais utilizados tem sido o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), cuja simplicidade e alta sensibilidade à densidade da cobertura vegetal tornaram possível o monitoramento da vegetação em escala global, resultando, até o momento, em mais de 22 anos de dados NDVI obtidos das séries NOAA-AVHRR (National Oceanic Atmospheric Administration - The Advanced Very High Resolution Radiometer), (HUETE et al., 2002).

De acordo com França, Tavares e Moreira (2012), o NDBI toma por base o grande incremento de resposta espectral das áreas construídas entre as bandas do infravermelho próximo e infravermelho médio. Este índice é aplicado quando é preciso fazer mapeamento rápido de mancha urbana, além de auxiliar nos estudos sobre ilhas de calor urbanas.

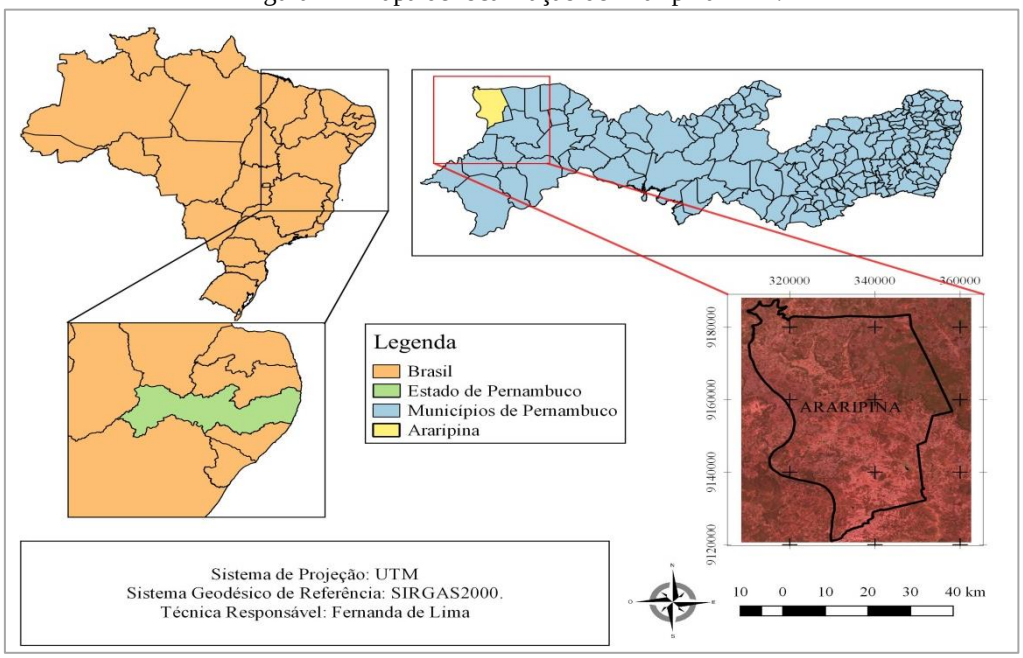
O objetivo deste trabalho refere-se a análise multitemporal do município de Araripina - PE por meio dos índices biofísicos NDVI e NDBI, para avaliação do cobertura vegetal e o desenvolvimento urbano, com a utilização do software de livre acesso QGIS 2.14.18 e o sensor Thematic Mapper.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

Araripina está localizada na região Nordeste do Brasil, no Estado de Pernambuco, na mesorregião do Sertão pernambucano, na microrregião de Araripina (Figura 1). Está completamente inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Brígida, e faz parte do polo gesseiro da região do Araripe pernambucano, onde é denominada de capital, que abrange os municípios de Araripina, Trindade, Ouricuri, Bodocó e Ipubi.

A sua sede municipal dista 623 km em linha reta da Capital. Pertence à Zona Fisiográfica do Sertão do Araripe. As coordenadas geográficas são 7º34’34’’ Sul de latitude e 40º29’54’’ Oeste de longitude e altitude ortométrica de 620 metros (IBGE,2017).

Figura 1 – Mapa de localização de Araripina – PE.

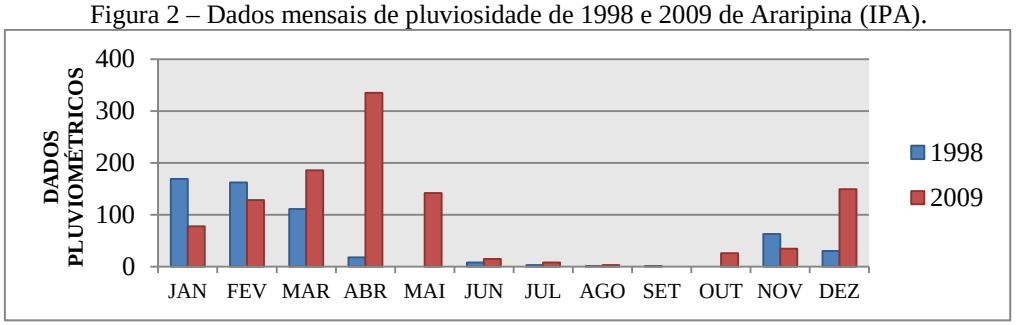


Fonte: Autores (2018)

Araripina tem o clima tipo BSh — semiárido quente (alternado pela altitude) e apresenta as seguintes temperaturas: Média das máximas 28°; média das mínimas 23°; média compensada 24°, altura total da precipitação no ano 570,1 mm.

De acordo com Andrade (2003, 2009), as secessões do relevo expressa feições que variam entre o intervalo de 500 a 800 metros de altitude, compostas principalmente pela Chapada do Araripe, relevo tabular com topo plano e encostas escarpadas, de onde surgem vários afluentes da margem esquerda do Rio São Francisco, e ainda a Depressão Sertaneja, que se caracteriza por apresentar uma topografia plana, correspondente a um amplo pediplano elaborado no passado. Sobre esta, surgem inselbergs e maciços residuais. Os dados climáticos empregados foram de pluviosidade dos anos de 1998 e 2009 no formato mensal, proveniente da Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC (Figura 2).

Figura 2 – Dados mensais de pluviosidade de 1998 e 2009 de Araripina (IPA).



Fonte: APAC (2018)

As imagens utilizadas de 1998 e 2009 são oriundas do sensor espectral Thematic Maper (TM), foram adquiridas no site do USGS (United States Geological Survey). Tendo como critério de escolha não ter a incidência de nuvens, sendo elas da órbita 217 e ponto 065 (Tabela. 1), contendo cada uma sete bandas espectrais com as características expressa na Tabela.2.

Tabela.1 – Datas e características das imagens TM Landsat 5 utilizadas na determinação da calibração radiométrica.

DAS	269	267
Data das Imagens	26/09/1998	24/09/2009
E (°)	58,43673797	60,82585488
Cos Z	0,852208888	0,873267939
Hora da passagem	12:26:26.39	12:37:28.84
dr	0,997227477	0,996097795

Fonte: Adaptado de TM Landsat 5 (1998) e (2009).

Tabela.2 - Bandas do TM Landsat 5, com os intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – a; radiância máxima – b) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (Toa).

Bandas	Comprimento de onda (μm)	Coeficientes de Calibração (Wm^{-2} sr^{-1} μm^{-1})			Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera Kλi (Wm^{-2} μm^{-1})
		a	b (2000)	b (2006)	
1 (Azul)	0,452 – 0,518	-1,52	152,1	193	1983
2 (verde)	0,528 – 0,609	-2,84	296,81	365	1796
3 (vermelho)	0,626 – 0,693	-1,17	204,3	264	1536
4 (IV-próximo)	0,776 – 0,904	-1,51	206,2	221	1031
5 (IV-médio)	1,567 – 1,784	-0,37	27,19	30,2	220
6 (IV-termal)	10,450 – 12,420	1,238	15,303	15,303	-
7 (IV-médio)	2,097 – 2,349	-0,15	14,38	16,5	83,44

Fonte: Adaptado de Chander *et al.* (2009)

Todo o processamento das imagens foi efetivado no software QGIS 2.14.18, no qual se iniciou empilhando as cenas, logo em seguida foram recortadas e reprojetadas para o Sistema Geodésico SIRGAS2000 24S e para o sistema de projeção UTM.

Para obtenção dos índices biofísicos fez-se necessário calibrar radiometricamente as imagens e posteriormente calcular a reflectância.

2.1 Calibração radiométrica

A radiância espectral de cada banda (Lλi) representa a energia solar refletida por cada pixel por unidade de área (Equação 1), de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida a nível do satélite Landsat (aproximadamente 705 km de altura) conforme Markham & Baker (1987):

$$L\lambda i = ai + \frac{bi - ai}{255} ND \quad (1)$$

onde:
Lλi = radiância espectral de cada banda (Wm^{-2} sr^{-1} μm^{-1}),
"a" e "b" = radiâncias espectrais mínimas e máximas (Wm^{-2} sr^{-1} μm^{-1}) obtidos em Chander, Markham e Helder. (2009) na Tabela 1;
ND = intensidade do pixel (número inteiro entre 0 e 255) correspondente a referida cada banda;
i = cada banda do TM Landsat 5.

2.2 Reflectância das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7

A reflectância monocromática foi obtida a partir da razão entre radiação refletida e radiação incidente banda a banda (ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; 2002), como expressa na Equação 2.

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \, . L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \, . cosZ \, . d_r} \quad (2)$$

onde:
$L_{\lambda i}$: é a radiância espectral banda-a-banda (W m^{-2} μm^{-1});
$K_{\lambda i}$: é a irradiância solar espectral banda-a-banda no topo da atmosfera (W m^{-2} μm^{-1});
$cosZ$: é o ângulo zenital solar e é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol (em unidade astronômica – UA);
d_r: por meio da Equação 3, dada por Iqbal (1983).

$$d_r = 1 + 0{,}033 . Cos\left(\frac{2\pi \, . DJ}{365}\right) \quad (3)$$

onde:
DJ: dia juliano

2.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O índice de vegetação NDVI, é utilizado para destacar e caracterizar a vegetação que ocorre em uma área; consequentemente, a umidade do solo, servindo para realçar a biomassa vegetal (BEZERRA, M. V. C.; SILVA, B. B. da; BEZERRA, B. B., 2011). Como está expressa na Equação 4.

$$NDVI = \frac{\rho_{IVp} - \rho_V}{\rho_{IVp} + \rho_V} \quad (4)$$

onde:
ρIVp = reflectância da banda do infravermelho próximo;
ρV = reflectância da banda do vermelho.

2.4 Índice de Construção por Diferença Normalizada (NDBI)

O Índice de Construção por Diferença Normatizada (NDBI) foi desenvolvido para identificar áreas urbanas e construídas (FRANÇA, A. F., TAVARES JUNIOR, J. R., MOREIRA FILHO, J. C. C, 2012), baseado no incremento da resposta espectral das áreas construídas entre as bandas do infravermelho médio e infravermelho próximo, onde são obtidos valores entre -1 e 1, sendo que os valores positivos correspondem a áreas construídas, conforme (ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S., 2003), sendo representado na Equação 5:

$$NDBI = \frac{\rho_{IVm} - \rho_{IVp}}{\rho_{IVm} + \rho_{IVp}} \quad (5)$$

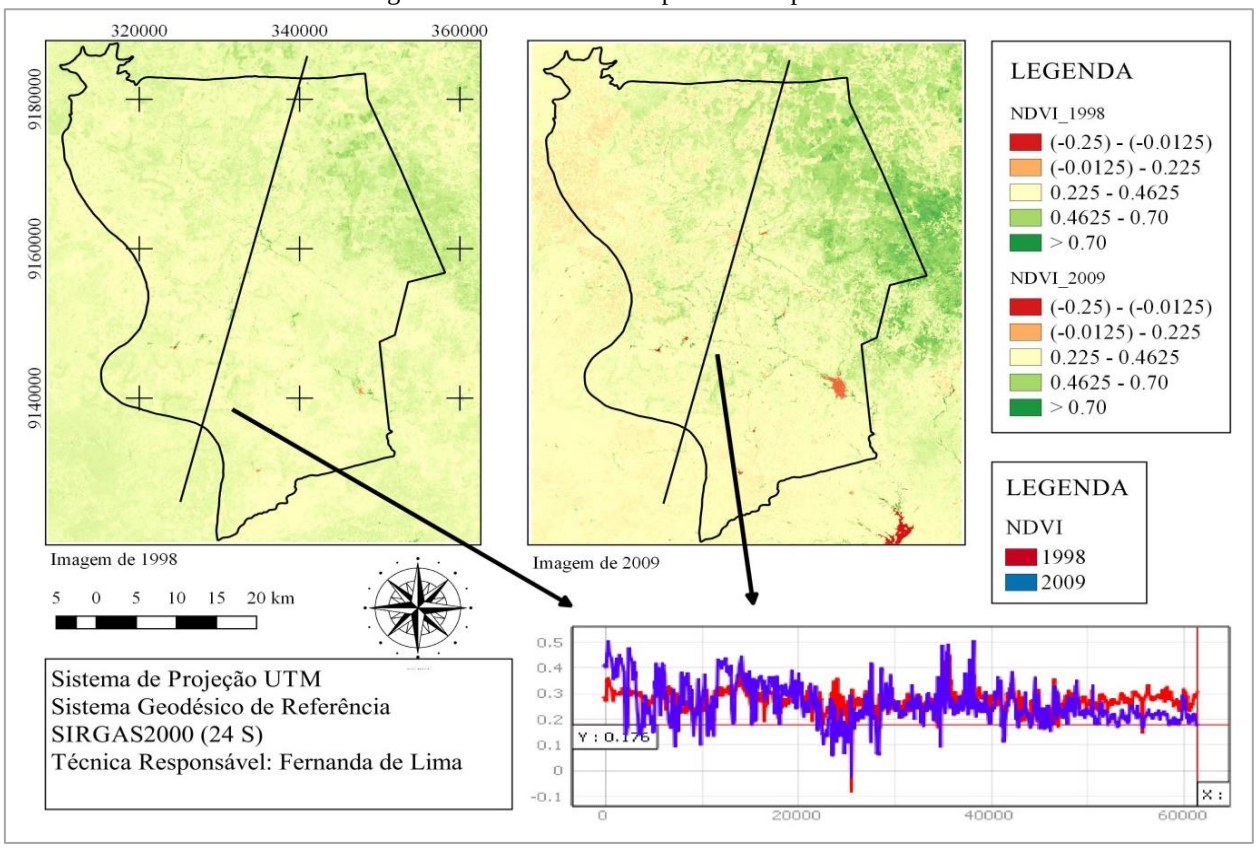
onde:
ρIVm = reflectância da banda do infravermelho médio;
ρIVp = reflectância da banda do infravermelho próximo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 detalha o NDVI do município de Araripina nos dias 26 de setembro de 1998 e 24 de setembro de 2009, respectivamente, no qual o valor máximo foram 0,6971 e 0,6781, e os mínimos foram -0,2864 e -0,4512, nessa ordem. Ainda na mesma figura, observou-se um aumento do NDVI, isso provavelmente está relacionado ao período chuvoso que antecedeu a essa passagem do satélite, no que se refere a 2009, já que a incidência de chuva foi o dobro quando comparado a 1998. Também é possível confirmar isso quando analisa-se a presença mais marcante de um corpo hídrico no perímetro urbano e a visualização gráfica do perfil do NDVI nos anos estudados.

O NDVI com o valor próximo a 0,7 representa uma área com alto teor de umidade, como área irrigada, sendo condizente com os resultados encontrados por Lopes *et. al*. (2010), na Bacia do Rio Brígida, que também comtempla a área de interesse.

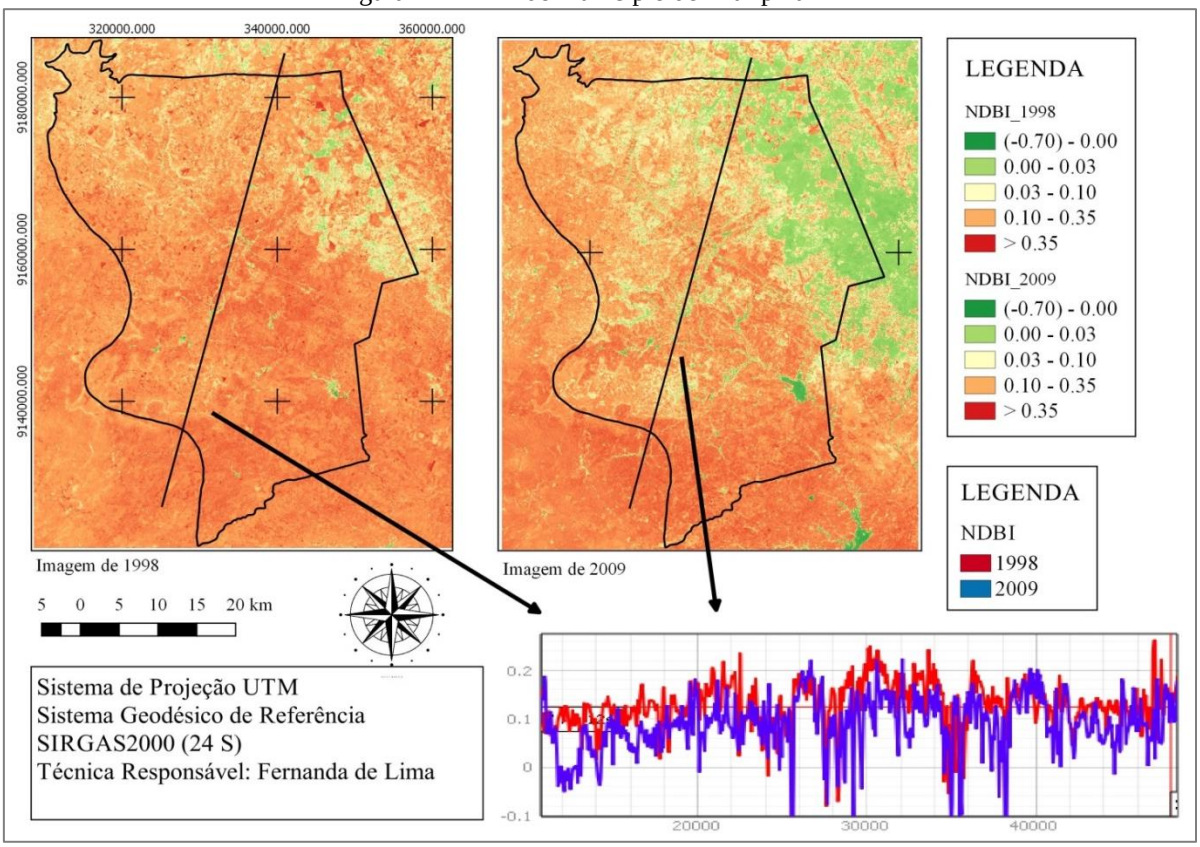
Figura 3 – NDVI do município de Araripina - PE



Fonte: Autoras (2018)

No que se refere ao NDBI, os valores máximos encontrados em 1998 e 2009 foram 0,3517 e 0,3007, e os valores mínimos foram -0,4197 e -0,7210, respectivamente. O NDBI (Figura 4) apresentou um decréscimo quando comparado as imagens, no entanto, devido ao índice de pluviosidade que antecede a imagem de 2009 ter sido o dobro do ano de 1998, tem-se como resposta esse comportamento espectral, não possibilitando uma melhor definição do aumento do perímetro urbano e do município como um todo, podendo ser verificado no perfil traçado na mesma qual.

Figura 4 – NDBI do município de Araripina - PE



Fonte: Autoras (2018)

4. CONCLUSÕES

O geoprocessamento possibilitou a obtenção dos dados de uso do solo e mostrando-se uma ferramenta eficiente, tanto em termos de economia de tempo quanto de recursos. Os dados gerados podem ser utilizados no monitoramento ambiental, já que se trata de uma área bastante sensível, sendo possível servir de material para traçar as carcterísticas da região quando forem feitos pesquisas futuras.

O NDVI e o NDBI tiveram o comportamento esperado devido às circunstancias que estes estavam inseridos, dando ênfase a importância dos dados pluviométricos para a análise das imagens e como ele implica no estudo destes índices. Os valores resultantes deste estudo foram concernentes com outra pesquisa, pois o teor de umidade de 0,7 representa uma área irrigada, referindo-se a uma das feições identificadas pelo índice, sendo validado por se tratar da área agrícola do município. Com isso, é factível a eficácia das observações de alvos pelo Sensoriamento Remoto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) pelo acesso livre dos shapes dos Estados do Brasil e a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) pelos dados pluviométricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ACCIOLY; L. J. PACHÊCO; A., THOMAZ C. COSTA, C. LOPES; O. F. OLIVEIRA, M. A. J. de. 2002. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/LANDSAT. Rev. bras. eng. agríc. Ambiental 6 CrossRef

ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. (2002). "SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land)" – Advanced Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 2002.

ANDRADE, M.C., 2003. Atlas escolar de Pernambuco. Grafset, João Pessoa.

ANDRADE, M.C., 2009. Geografia de Pernambuco: ambiente e sociedade. Grafset, João Pessoa.

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima. Monitoramento Pluviométrico. 2018. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#, Acessado em: 22 de Agosto de 2018.

BRASIL, IBGE. Malha dos Municípios de Pernambuco. 2017. Disponível em: https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html acesso em: 20 de Agosto de 2018.

BEZERRA, M. V. C.; SILVA, B. B. da; BEZERRA, B. B. Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, p.709-717, 2011.

CARVALHO, F. M. V. DE; FERREIRA, L. G.; LOBO, F. C.; DINIZ-FILHO J. A. F.; BINI, L. M. Padrões de Autocorrelação Espacial de Índices de Vegetação Modis no Bioma Cerrado. R. Árvore, v.32, n.2, p.279-290, 2008.

CONSELHO DE DESENVOLVIMENTO DE PERNAMBUCO. Gipsita. (Série Recursos Minerais). Recife, 1966. cap. 1, p. 1-7.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L; HELDER, D. L., 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote Sensing of Environment, 113, pp. 893–903.

ELMORE, ANDREW J., MUSTARD, JOHN F., MANNING, SARA J., LOBELL, DAVID B. 2000. Quantifying Vegetation Change in Semiarid Environments: Precision and Accuracy of Spectral Mixture Analysis and the Normalized Difference Vegetation Index. Remote Sensing Environment 73, 87–102

FRANÇA, A. F., TAVARES JUNIOR, J. R., MOREIRA FILHO, J. C. C. Índices NDVI, NDWI e NDBI como ferramentas do mapeamento temático do entorno da lagoa Olho D'Água em Jaboatão dos Guararapes. In: Anais... IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. p1-9. Recife. 2012.

HUETE, A. R., DIDAN, K., MIURA, T., RODRIGUEZ, E. P., GAO, X., & FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment, v.83, p.195−213. (2002).

IQBAL, M. An introduction to solar radiation. Canadá: Academic Press, 1983. 390p.

LOPES, H.L.; ACCIOLY, L. J. O.; CANDEIAS, A. L. B.; SOBRAL, M. C. M. *Análise de Índices de Vegetação na Bacia o Rio Brígida, Sertão do Estado de Pernambuco*. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 27-30 de Julho de 2010 p. 001 de 008.

MARKHAM, B. L.; BARKER, L. L. (1987) "Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances". International Journal of Remote Sensing, v.8, n.3, p.517-523, 1987.

SANTOS, M. V.; SARDOU, R. Diagnóstico das atividades econômicas do pólo gesseiro do Araripe. Recife: SEBRAE, 1996.

SOUZA, A. A.; GALVÃO, L. S.; SANTOS, J. R. DOS. Índices de vegetação derivados do sensor Hyperion/EO-1 para estimativa de parâmetros biofísicos de fitofisionomias de Cerrado. Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 de abril 2009, INPE, p. 3095-3102

TUELLER, P. T. 1987. Remote sensing science applications in arid environments. Remote Sens. Environment 23,143–154.

WOODWELL, G. M., HOBBIE, J. E., HOUGHTON, R. A., MELILLO, J. M., MOORE, B., PARK, A. B., PETERSON, B. J., SAVER, G. R. (1984), Measurement of changes in the earth by satellite imagery. In The Role of Terrestrial Vegetation in the Global Carbon Cycle: Measurement by Remote Sensing, SCOPE 23 (Woodwell, G. M., Ed.), Wiley, New York, pp. 221–240.

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. (2003). *"Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery"*. International Journal of Remote Sensing. v. 24, n. 3, p. 583-659.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

ANÁLISE TEMPORAL DO USO E COBERTURA DO SOLO NO BIOMA CAATINGA EM PERNAMBUCO UTILIZANDO O MAPBIOMAS

SABRINA DE OLIVEIRA GOMES [1]
RAFAEL RODRIGUES DA SILVA [2]
ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS [3]
RÔMULO SIMÕES CEZAR MENEZES [4]

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE [1, 3]
Departamento de Energia Nuclear, Recife, PE [2, 4]
o.sabrina.gomes@gmail.com, rodriguesrs19@gmail.com, analucia@ufpe.br, rmenezes@ufpe.br

RESUMO - O Bioma Caatinga possui grande riqueza em biodiversidade que contribui para muitas atividades econômicas, e tem presença de 844.453km² de ocupação em todo o território Brasileiro. O Estado de Pernambuco possui uma grande predominância do Bioma, com aproximadamente 83.506,2 km², sendo de vital importância analisar o comportamento temporal das classes do uso e cobertura do solo em diferentes anos, para que seja possível verificar as alterações do espaço. Nesta análise, os anos estudados foram: 2000, 2008 e 2016, através de imagens do Landsat-5 e Landsat-8, disponibilizados pelo MapBiomas. O MapBiomas é um projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil, que visa contribuir com informações espaciais sobre o território brasileiro, através de inciativas de Universidades, ONGs e empresas tecnológicas. Logo, com a aplicação de conhecimentos de geoprocessamento e classificação do Bioma Caatinga, foi possível quantificar a partir dos mapas gerados as mudanças ocorridas no Bioma no território Pernambucano, a área total do Bioma apresentou uma diferença de 0,0136% entre os anos de 2000 a 2008, entre 2000 a 2016 obteve-se 0,0648% e entre 2016 a 2008 0,0784%.

ABSTRACT – The Caatinga Biome has a wealth of biodiversity that is part of many economic activities, and has a presence of 844,453km² of advertising in the entire Brazilian territory. The State of Pernambuco has a great predominance of the Biome, with approximately 83,506.2 km ², being of vital importance the temporal analysis of the classes of use and cover of the ground in different years, so that it is more probable to see as the changes of space. In this analysis, the years of study were: 2000, 2008 and 2016, through the images of Landsat-5 and Landsat-8, made available by MapBiomas. MapBiomas is an annual Mapping of Soil Coverage and Land Use project in Brazil that aims to contribute information on the Brazilian market through initiatives from universities, NGOs and technology companies. Therefore, with an application of geoprocessing knowledge and classification of the Caatinga Biome, it was possible to quantify from the maps generated as the changes occurred in the Biome in the Pernambucano territory, a total area of the Biome had a variation of 0.0136% among the between 2000 and 2016, we obtained 0.0648% and between 2016 and 2008, 0.0784%.

1 INTRODUÇÃO

As mudanças ocorridas no uso e ocupação do solo acarretam diversos impactos territoriais, climáticos, urbanísticos, ao meio ambiente e toda paisagem do local. Neste sentido, o levantamento e estudo temporal do território possibilita a obtenção de resultados e conclusões sobre as mudanças ocorridas na paisagem. Segundo Gomes *et. al.* (2017), estudos de qualidade do solo, recursos hídricos da região, e até na emissão de gases do efeito estufa (GEE) podem ter o uso e ocupação do solo como um dos parâmetros de entrada em modelagem.

A caracterização de uma área é um fator importante para o estudo sobre o uso e ocupação do solo, diante disso, a utilização de ferramentas e conhecimentos que gerem um resultado preciso e confiável é de vital importância. Segundo Xavier-da-Silva (2001), o geoprocessamento é um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre bases de dados (que são registros de ocorrências) georreferenciados, para os transformar em informação (que é um acréscimo de conhecimento) relevante. O mesmo possibilita diversas aplicações a partir das informações cartográficas utilizando dados georreferenciados, resultando em produtos com informações territoriais.

Câmara e Medeiros (1996) afirmam que, na gestão do território, toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes de ambiente, incluindo o meio físico-biótico a ocupação humana, e seu inter-relacionamento. O conceito de desenvolvimento sustentável, consagrado na Rio-92, estabelece que as ações de ocupação do território devem ser precedidas de uma análise abrangente de seus impactos no meio ambiente, a curto, médio e longo prazo. Ainda de acordo com os autores supramencionados, os estudos de Mapeamento Temático visam a caracterizar e entender a organização do espaço para o estabelecimento das bases de ações e estudos futuros. O SIG (Sistema de Informações Geográficas) é uma ferramenta que vem do geoprocessamento e possibilita a produção, manipulação, modelagem, como também arquivar, consultar e visualizar as informações que serão trabalhadas. A geração dessas informações, entretanto, geralmente demanda recursos para a aquisição e/ou processamento das imagens, além de tempo para executar essas operações. O uso de informações geradas pelo MapBiomas pode minimizar essas demandas.

O MapBiomas tem como propósito contribuir através de dados e visualização a dinâmica do uso do solo no Brasil e em outros países tropicais. Segundo MapBiomas (2018), o projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil é uma iniciativa que envolve uma rede colaborativa com especialistas nos biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, SIG e ciência da computação que utiliza processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma Google Earth Engine para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil. Logo, o projeto é rico em informações espaciais, gerando produtos de mapas de cobertura e uso do solo, mosaicos de imagens, relatórios de análise das mudanças de cobertura e uso do solo, e plataforma Web de consulta pública.

Pernambuco é um estado localizado na região Nordeste do país, rico em vegetação do Bioma Caatinga e com boa parte do seu território ocupada pela mesma. Logo, foram aplicadas as ferramentas e técnicas citadas no estado de Pernambuco, onde realizou-se todo o estudo em áreas do estado que cobrem o Bioma Caatinga, tendo como objetivo quantificar as mudanças de uso e cobertura do solo ocorridas no período de 2000 a 2016. Essas atividades irão contribuir para o estado ao gerar informações confiáveis sobre a área alterada, permitindo a visualização da mudança e as possíveis causas das alterações.

2 METODOLOGIA

2.1 Descrição da Área

A área de estudo corresponde ao Estado de Pernambuco, localizado no centro leste da Região Nordeste do Brasil, o Bioma Caatinga abrange a maior parte do território, ocupando cerca de 85,1% do estado, a ocupação do Bioma pode ser vista pela Figura 1. Geograficamente, o estado encontra-se entre os fusos 24S e 25S e o mesmo limita-se ao Norte com os estados da Paraíba e Ceará, leste do estado do Piauí, e ao sul com os estados da Bahia e Alagoas.

Figura 1 – Mapa de Localização do Bioma Caatinga no Estado de Pernambuco-PE.

Fonte: Autora (2018)

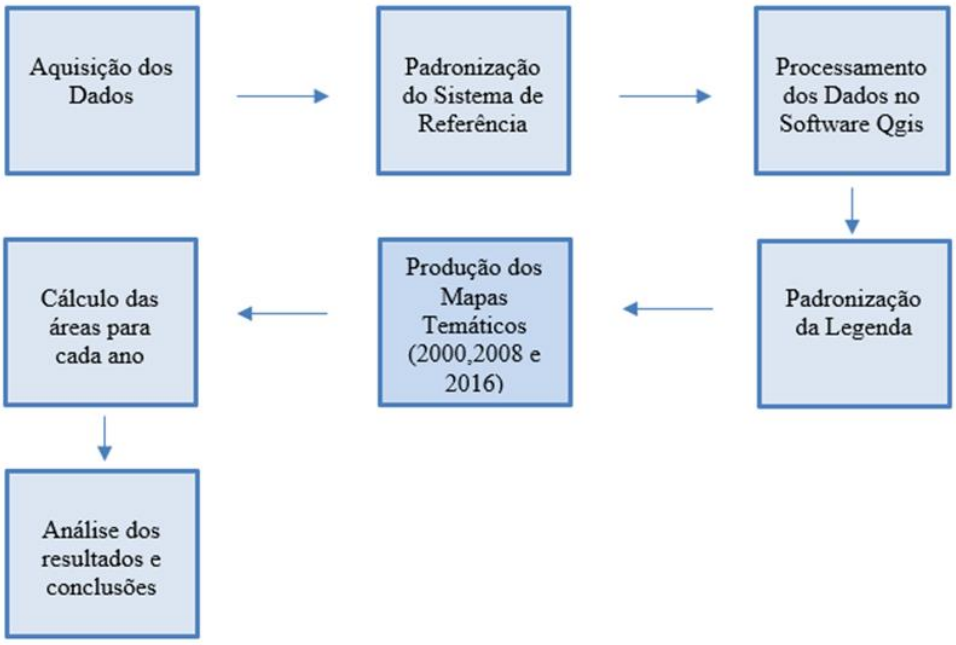
Segundo o IBGE (2018), a área da unidade territorial do estado é de 98.076,021 Km², segundo o último censo realizado em 2010 pelo IBGE, a população Pernambucana é de 8.796.448 pessoas. O clima tem forte influência sobre a vegetação, de forma que causa e também sofre interferências. Segundo a Condepe/Fidem (2011), o estado possui a presença de climas tropical quente e seco (semi-árido), tropical quente sub-úmido seco, tropical quente e úmido, e tropical de altitude (Brejo). A partir disto, em Pernambuco, apresentam-se oito formações vegetais que compõem a cobertura vegetal primitiva do Estado: formações litorâneas, floresta subperenifólia, cerrado, floresta subcaducifólia, floresta caducifólia, caatinga hipoxerófila, caatinga hiperxerófila e vegetação de transição floresta/caatinga.

2.2 Descrição da Metodologia

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados os dados do MapBiomas da coleção 2.3 que é uma versão melhorada da coleção 2. Segundo o MapBiomas (2018), a coleção 2, foi lançada em abril de 2017, que cobre o período de 2000 a 2017, enquanto que a coleção 2.3 cobre o mesmo período, porém foi lançada em dezembro de 2017 com uma versão melhorada dos dados da coleção 2. A partir de imagens classificadas proveniente dos satélites Landsat-5 e Landsat-8, para os anos de 2000, 2008 e 2016, foram estudadas as mudanças ocorridas no Bioma Caatinga para cada ano.

Os procedimentos utilizados para quantificar as variações ocorridas no Estado de Pernambuco, podem ser observadas a partir da Figura 2.

Figura 2 – Procedimentos utilizados para o desenvolvimento do trabalho.



A primeira etapa consiste na obtenção dos dados necessários para o desenvolvimento do trabalho. Como comentado, foram utilizadas as imagens classificadas para o Bioma Caatinga do MapBiomas no formato **tiff*. Logo, foram utilizados também os arquivos vetoriais em formato *shapefiles* referentes a área do Estado e o limite do Bioma no Estado.

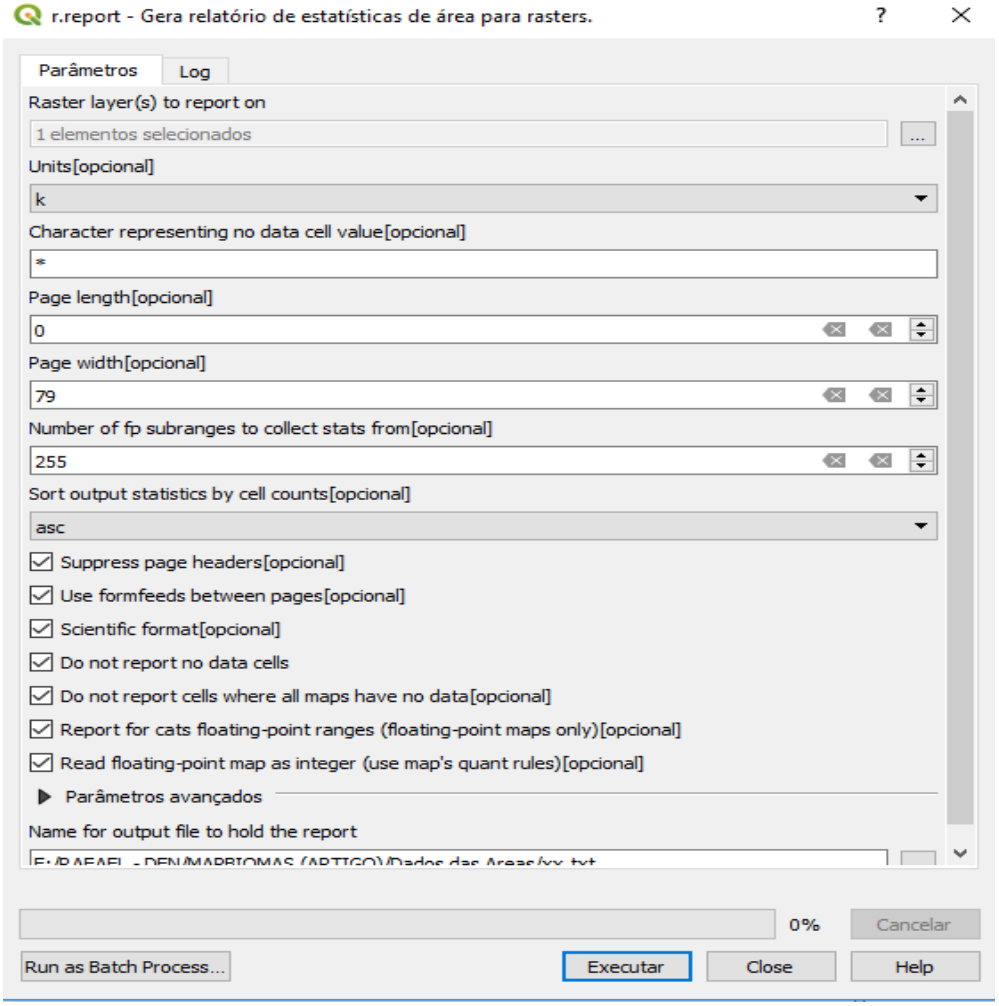
A partir disso, foi feito o processamento dos dados obtidos utilizando o Software Qgis versão 3.0.2, para padronizar todos os geodados que foram trabalhados, sendo assim reprojetando e realizando a padronização do sistema de referência. Dessa forma, todos os mapas foram obtidos no sistema de referência SIRGAS 2000 no fuso 24S.

Em seguida foi realizada a padronização da legenda. Para isso foi feita a classificação dos pixels das imagens seguindo o padrão utilizado pelo MapBiomas para as legendas, de forma que cada ID do pixel corresponda a uma cor para representação.

Com isso foram gerados os mapas temáticos para cada ano (2000, 2008 e 2016), com o intuito de entender as mudanças ocorridas. Com a necessidade de obter esses resultados numericamente em relação a área da imagem com suas classes, foi utilizado o algoritmo *r.report* (Figura 3) no software Qgis versão 3.0.2, para cada raster respectivo de cada ano. Sendo assim o algoritmo foi utilizado para calcular a área para cada classe das imagens, seguindo a configuração do pixel.

Após essa etapa, foram definidos os parâmetros de execução do algoritmo, primeiramente definindo a imagem a ser calculada, e em seguida selecionando a unidade em que os resultados iriam ser gerados. No presente caso, a unidade escolhida foi km² (quilômetros quadrados), a partir da qual foi gerado o relatório com os resultados.

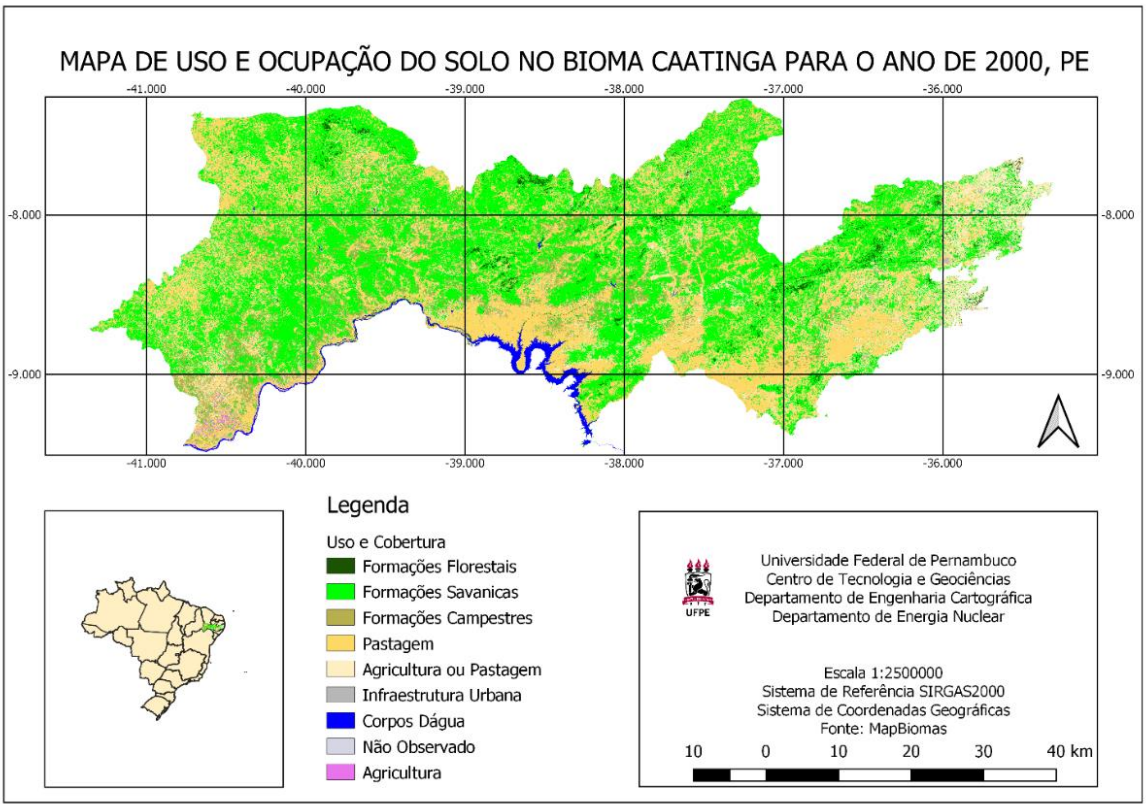
Figura 3 – Utilização do *r.report* para os raster de 2000, 2008 e 2016.



4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

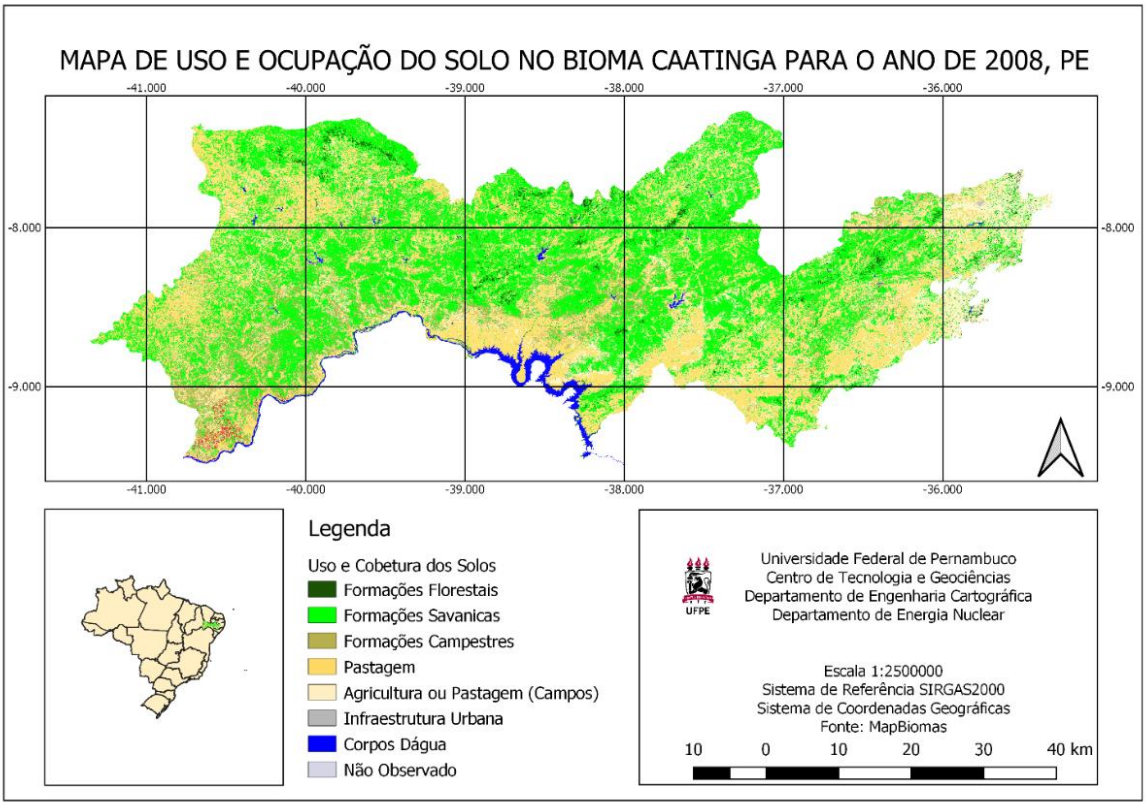
A partir do mapeamento, foi possível analisar a distribuição espacial da cobertura e uso do solo do Bioma Caatinga no Estado de Pernambuco, como também observar as mudanças ocorridas nos três períodos estudados e, com isso, quantificar o quanto de área foi alterada ao longo dos anos. Os resultados obtidos foram três mapas temáticos do Estado de Pernambuco, nos anos de 2000, 2008 e 2016 (Figuras 4, 5 e 6).

Figura 4 – Mapa de Uso e Cobertura do Solo para o ano de 2000.



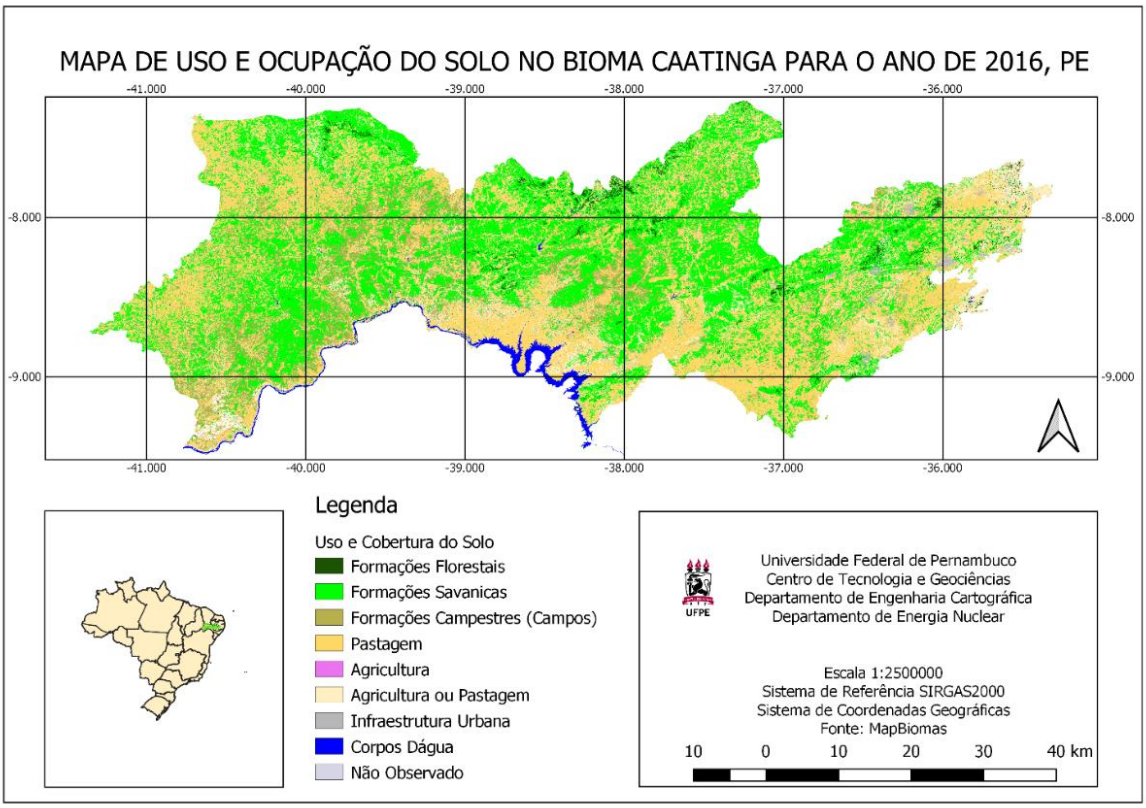
Fonte: Autora (2018)

Figura 5 – Mapa de Uso e Cobertura do Solo para o ano de 2008.



Fonte: Autora (2018)

Figura 6 – Mapa de Uso e Cobertura do Solo para o ano de 2016.



Fonte: Autora (2018)

Com os mapeamentos realizados, foi possível observar as mudanças ocorridas da área, e assim quantifica-las, pode-se observar os resultados em quilômetros quadrados em relação a área conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Medidas a serem utilizadas no documento.

Valor do Pixel	**Uso e Ocupação do Solo**	**Área 2000 (km²)**	**Área 2008 (km²)**	**Área 2016 (km²)**
27	Não Observado	158,05	1,37	119,4
24	Infraestrutura Urbana	92,99	99,87	482,61
28 e 18	Agricultura	165,27	221,81	272,51
16 e 15	Pastagem	24093,7	22711,9	26791,8
3	Formações Florestais	1273,41	1208,13	1200,75
26	Corpos Dágua	1076,09	1212,5	1053,0
12	Formações Campestres (Campos)	6024,89	7421,6	8806,26
21	Agricultura ou Pastagem	11475,3	14144,8	12517,8
4	Formações Savanicas	39148,2	36487,3	32257,2
Total		83507,9	83509,3	83501,4

Observou-se que, as classes sofreram mudanças ao decorrer dos anos estudados, visto que algumas áreas sofreram diminuição e outras um aumento. A partir da Tabela 2, percebe-se a diferença de área total ao longo dos anos em porcentagem, e que a área total para cada ano varia, isso pode estar ligada a qualidade da imagem, visto que foi

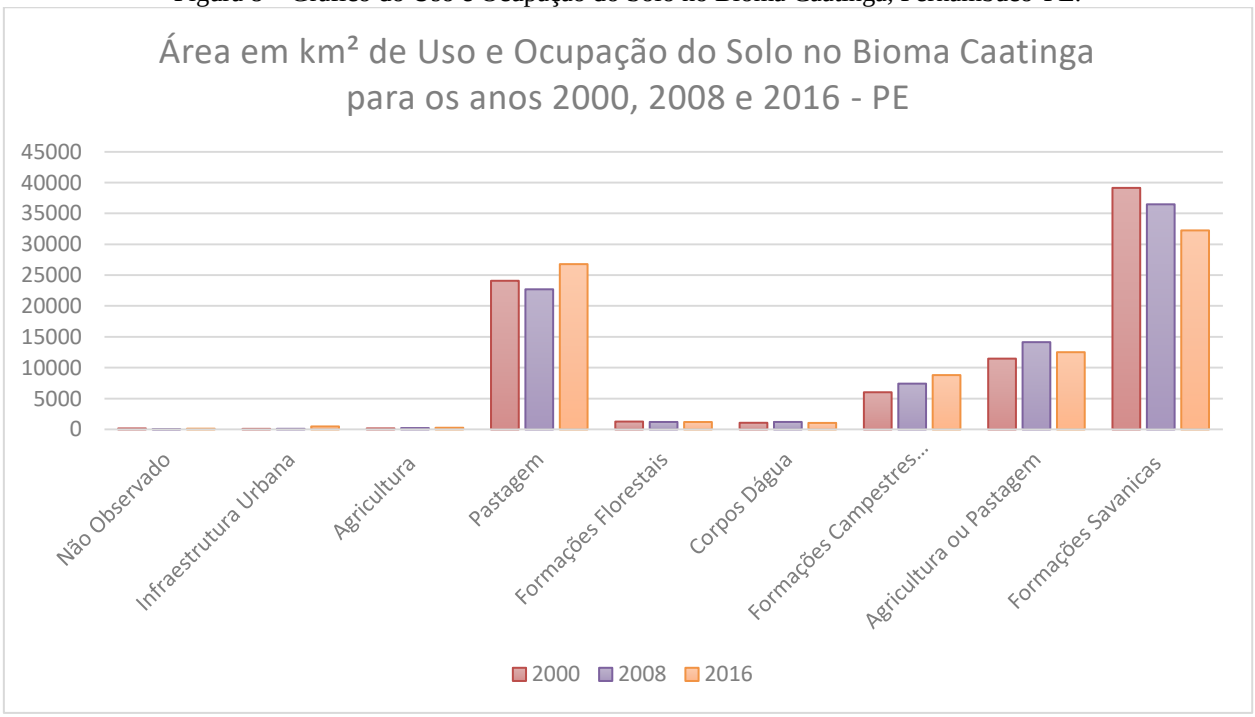
trabalhado com imagens obtidas do Landsat 5 e Landsat 8, ou seja, uma mudança de sensores, e ambas tem uma diferença quanto a sua resolução, e podemos considerar que algumas áreas podem não ter obtido um bom recobrimento.

Tabela 2 – Diferença de Área Total para os anos de 2000, 2008 e 2016.

Diferença entre Áreas (%)	
2008-2000	0,0136
2016-2000	0,0648
2016-2008	0,0784

A Figura 8 apresenta um gráfico das mudanças ocorridas nos dezessete anos em relação a cada classe estudada, as classes que sofreram mais mudanças foram as de Pastagem, Formações Campestres, Agricultura ou Pastagem e Formações Savânica. Numericamente quando calculada a diferença entre os anos de 2000 e 2016 em relação a essas classes observa-se que a classe Pastagem teve um crescimento de área de 2698,15 km², Formações Campestres um aumento de área de 2781,37 km², Agricultura ou Pastagem um acréscimo em área de 1042,53 km² e Formações Savânicas uma diminuição de área de -6890,99 km². Essas alterações indicam que houve uma diminuição marcante da cobertura florestal na área de estudo, a qual foi convertida principalmente em pastagens.

Figura 8 – Gráfico do Uso e Ocupação do Solo no Bioma Caatinga, Pernambuco-PE.



Fonte: Autora (2018)

A classe Infraestrutura Urbana cresceu significantemente ao decorrer dos dezessete anos, visto que no ano de 2000 existia 92,99 km² de área com Infraestrutura Urbana, enquanto em 2016 essa classe possuía 482,61 km², ou seja um crescimento de 389,62 km², isso significa que houve um crescimento na Infraestrutura Urbana, e isso pode estar ligada ao fato de que houve aumento populacional no Estado e investimento econômico do mesmo para essa classe. Outra possibilidade ligada a esse aumento seria considerar algum problema na árvore de decisão do algoritmo utilizado para essa classe, visto que houve um crescimento brusco.

A classe Corpos D'água não teve tanta discrepância quando comparada ao longo do tempo, temos que em 2000 a mesma possuía 1076,09 km³ de área, enquanto que em 2008 ele teve um crescimento resultando em 1212,5 km², e em 2016 uma diminuição ficando com 1053,0 km², uma diminuição de -23,09 km² quando comparada o ano de 2000 e 2016. Podemos associar essa diminuição dado ao clima da região estudada ser Tropical e consequentemente possuir altas temperaturas e pouca precipitação pluviométrica, como também estar ligada a Urbanização e ter pouca preservação e logística de uso quanto aos Corpos D'água.

A diminuição da cobertura florestal (formações savânicas) e o aumento das área de pastagem e área urbana, tem um forte impacto nas emissões de gases de efeito estufa(GEE), uma vez que a área convertida passar a emitir GEE e não mais remover estes gases da atmosfera.

5 CONCLUSÃO

A diferença entre os anos analisados pode auxiliar nas conclusões e algumas afirmações das mudanças que ocorrem no território. Observou-se que a agricultura cresceu quando comparada o ano de 2016 com 2008, tendo um aumento de 1,18% de área, enquanto que Corpos D'água passaram de 1076,09 km² em 2000 para 1212,5 km² em 2008 e em 2016 1053,0 km², portanto uma perda de -1,59% quando comparado o ano de 2016 e 2008. Porém, dentre as principais alterações observadas destaca-se a diminuição de cerca de -0,73% da cobertura florestal existente no ano de 2000 na área de estudo, a qual foi convertida principalmente em pastagens.

REFERÊNCIAS

BERTOLO, L.S; PARIZZI, T.N.T; ESQUERDO. J.C.D.M; COUTINHO, A.C; ANTUNES, J.F.G. **Dinâmica de Uso e Ocupação da Terra na Bacia Machado - Rondônia**, Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, SP, 2017.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S**. Geoprocessamento para projetos ambientais.** VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Salvador Bahia, 1996.

CODEPE/FIDEM. **Pernambuco em mapas.** Disponível em: < http://www.condepefidem.pe.gov.br/html/PERNAMBUCO%20EM%20MAPAS.pdf>. Acesso: 14 junho 2018.

COELHO, V. H. R; MONTENEGRO, S. M. G. L; ALMEIDA, C. das N; LIMA, E. R. V; NETO, A. F; MOURA, G. S. S. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** V. 18, N. 1, p. 64-72, 2014.

COSTA, L.C.O; AFONSO, A.G; ESCADA, M.I.S. **Mudanças no Uso e Cobertura da Terra na Amazônia: A Dinâmica na Bacia do Curuá – Uma (PA), no Período de 2004 a 2014**, Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, SP, 2017.

GOMES, S. O; LIMA, V. N; CANDEIAS, A. L. B; SILVA, R. R. **Uso e Cobertura dos Solos de Petrolândia Utilizando MapBiomas.** Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Exposicarta, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, p. 805-808, 2017.

IBGE. **Brasil/Pernambuco.** Acesso em: 14 junho 2018.

IBGE . ***Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Mapas de Biomas e de Vegetação*** **.** Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm > Acesso: 15 de jun. 2018.

LIMA, V. N.; GOMES, S. O; CANDEIAS, A. L. B; SILVA, R. R. **MapBiomas e Uso e Cobertura dos Solos do Município de Brejinho, Pernambuco.** Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Exposicarta, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, p. 947-951, 2017.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomas – Coleção 2.3 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil.** Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso: 15 de jun. 2018.

ROSA, M. R. **Comparação e análise de diferentes metodologias de mapeamento da cobertura florestal da Mata Atlântica.** Boletim Paulista de Geografia, V. 95, p. 25-34, 2016.

VASCONCELLOS, B. N; TERRA, L. G; CARDOSO, C. D. V. Análise multitemporal de uso e cobertura do solo, no município de Unistalda, RS. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM, Santa Maria e Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET,** V. 17, N. 17, p. 3438-3444, 2013.

XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental.** 1.ed. Rio de Janeiro: D5 Produção Gráfica, 2001. v. 1. 228 p.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

ANÁLISE TEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NO COMPLEXO ESTUARINO LAGUNAR MUNDAÚ-MANGUABA: 1987 E 2017

AYRTON MARTIM OLIVEIRA DIAS MELO
GRENDA JUARA ALVES COSTA
SILVIO JACKS DOS ANJOS GARNÉS

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
sjgarnes@gmail.com, ayrton_martim@hotmail.com, grendajuara@hotmail.com

RESUMO – Este estudo busca identificar através de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento a mudança no uso e ocupação do solo com três décadas de intervalo, nos anos de 1987 e 2017, do Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM), localizado na costa de Alagoas, compreendendo parte da capital. Para elaboração do mapa, foram utilizadas técnicas de interpretação de imagens utilizando os *softwares* ArcGIS 2.5 e QGIS 2.18.11. Os resultados foram separados em cinco classes, água, área, urbanizada, vegetação, solo exposto e cultivo agrícola. Notou-se um aumento de 20% na área urbanizada em 2017 em comparação com 1987, que é a segunda classe de maior impacto depredatório no meio ambiente. No mesmo período, houve supressão de 30% da área de vegetação.

ABSTRACT – This study aimed to identify through Remote Sensing and Geoprocessing the land use and occupation changes occurred of Estuarine-Lagoon Complex Mundau-Manguaba from 1987 to 2017. This complex is located in the coast of Alagoas, Brazil. To create the map, we used image interpretation techniques. It was used the softwares ArcGIS 2.5 and QGIS 2.18.11. The results were separated into five different classes: water, urbanized area, vegetation, exposed soil and agricultural. In 2017, the urbanized area increased around 20% while the vegetation area was suppressed by about 30% when compared to 1987.

1 INTRODUÇÃO

O Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM), com cerca de 450 km², tem passado por diversos processos de modificação realizados pelo homem, onde se destacam os ocorridos no final da década de 1980: a construção do polo petroquímico e do dique-estrada, aterramentos e drenagens de canais, além de cortes de região de mangues para habitação (ALAGOAS, 2018).

Essas modificações podem ser identificadas a partir de imagens de satélite, ou seja, imagens de sensores remotos. Entende-se como sensoriamento remoto, o conjunto de atividades que possibilita obter informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com eles (NOVO, 1989). E a partir da interpretação destas imagens de satélite, pode-se estudar o uso e cobertura do solo ou da terra.

No processo de interpretação de imagens, utiliza-se as variações de cor, forma, tamanho, textura, padrão, localização e contexto (FLORENZANO, 2002). A determinação do uso e cobertura do solo é uma ferramenta importante para a tomada de decisão e podem ser resumidos em mapas. Estes indicam a distribuição espacial da ação antrópica, identificada pelos seus padrões homogêneos característicos na superfície terrestre.

Cada classe de ocupação representa um nível de impacto diferenciado de degradação do meio ambiente e pode ser classificados, do mais impactante ao menos impactante, da seguinte forma: mineração, área urbana, agricultura modernizada, pecuária intensiva, agropecuária, agricultura de transição, pecuária semi-intensiva, extravismo vegetal com extração de madeira, reflorestamento, agricultura tradicional, pecuária extensiva, extravismo mineral, extravismo animal, extravismo vegetal, como coleta de frutos e sementes, e, por fim, florestamento (IBGE, 1999).

A ação humana no complexo está contribuindo para a degradação do CELMM. Segundo diagnóstico apresentado no Plano de Ações e Gestão Integrada do CELMM, desenvolvido pela Agência Nacional de Águas (ANA), há ações

que tem acelerado o processo natural de assoreamento das lagunas: processo de urbanização, aterro e ocupação de áreas inapropriadas, práticas agrícolas inadequadas ao longo das bacias contribuintes, falta de saneamento básico das cidades onde o CELMM está contido, entre outros.

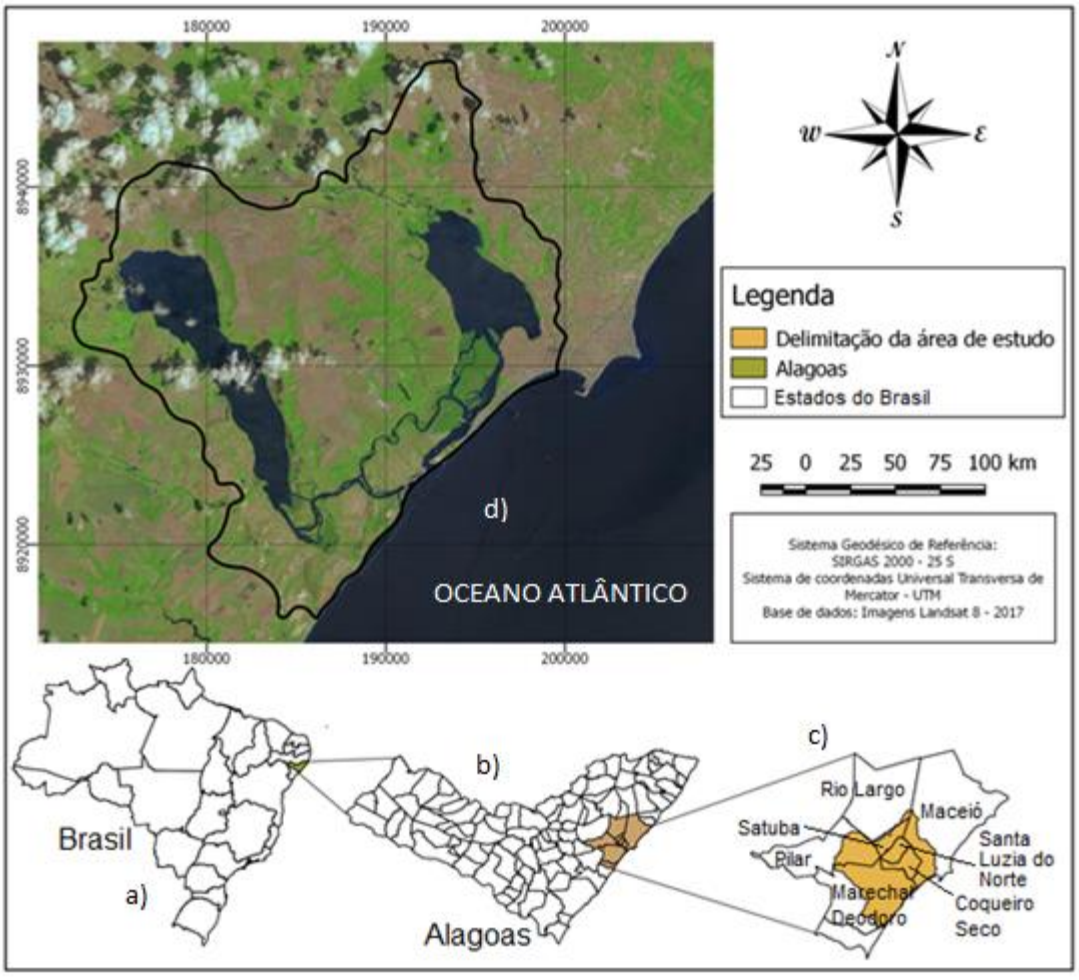
Diante disto, este trabalho pretende analisar o uso e cobertura do solo em 1987 e 2017, a partir de imagens de de satélites e demonstrar o resultado da interferência nas condições naturais deste complexo. As consequências são as mais diversas, desde a descaracterização da paisagem natural até a dificuldade de navegabilidade entre os canais interlagunares.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Localização da área de estudo

A área de estudo é o complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM). A Figura 1 a) mostra a localização do estado de Alagoas no Brasil, a 1 b) identifica a localização dos municípios onde a área de estudo se situa e a 1 c) apresenta a localização da área dentro dos municípios que são: Maceió, Santa Luzia do Norte, Coqueiro Seco, Marechal Deodoro, Pilar, Satuba e Rio Largo (Figura 1). A Figura 1 d) identifica a área de estudo localizada na região costeira com cerca de 450 km² de extensão.

Figura 1 – Mapa de Localização da Área de Estudo

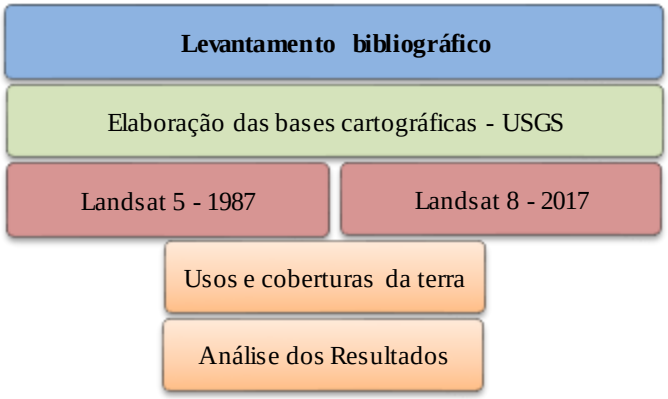


Elaborado: Autores (2018).

2.2 Procedimentos metodológicos e operacionais

Os procedimentos metodológicos para a pesquisa, caracterização da área, e elaboração dos usos e ocupação da terra na área de estudo se deu inicialmente com o levantamento bibliográfico e logo após a elaboração das bases cartográficas (Figura 2).

Figura 2 – Fluxograma metodológico da pesquisa.



Fonte: autores (2018).

A delimitação da área de estudo foi feita através da vetorização de uma carta topográfica da área retratada. Para analisar as mudanças da cobertura da terra no recorte espacial da pesquisa, foram utilizadas imagens orbitais do sensor TM do Landsat 5 e do sensor OLI do Landsat 8. Destaca-se que as cenas do Landsat 5 (em 7 de setembro de 1987) e Landsat 8 (em 14 de dezembro de 2017) foram obtidas no site do *United States Geological Survey* (USGS), a escolha por meses diferentes foi ocasionada devida a grande ocorrência de nuvens na região costeira de Maceió, contemplando imagens com intervalo de 30 anos.

Para a elaboração da base cartográfica, foram utilizados os softwares ARCGIS e QGIS. No ARCGIS 2.5, foi feita a composição das cenas, assim sendo possível a classificação supervisionada pixel a pixel. Foi feita uma correção dos dados obtidos nesta classificação no *software* QGIS 2.18.11, onde os dados em raster foram transformados em vetor com o intuito de quantificar as mudanças no uso e ocupação da terra da área nos últimos 30 anos.

Foram usadas 5 classes iguais para as duas cenas que foram água, área urbanizada, vegetação, solo exposto e áreas que são de cultivo agrícola. A quantificação dos dados foi feita através do cálculo automático de áreas e logo após feita a verificação de área para cada tipo de uso da terra identificado nas imagens, sendo assim possível comparar e estimar os dados para cada ano em estudo e mensurar as mudanças ocorridas entre os mesmos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com a classificação dos usos identificados no mapeamento nos anos de 1987 (Figura 3 e Tabela 1), nota-se uma predominância de elementos naturais, vegetação (28%) e água (18%). Durante a década de 1980, Alagoas era o segundo maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil, de acordo com os anuários estatísticos do Brasil deste período e de acordo com a classificação a área de cultivo agrícola para o ano de 1987 já era de 14%, o mesmo percentual para a área urbanizada. Ele se espalha no tabuleiro localizado entre as duas lagunas e apresenta uma área urbanizada próximo a ele de aproximadamente 1 km². A vegetação e Solo exposto ocupam a maior parte da área da região para o ano de 1987, sendo 28% e 26%, o que equivale a cerca de 125,32 e 118,63 km² respectivamente.

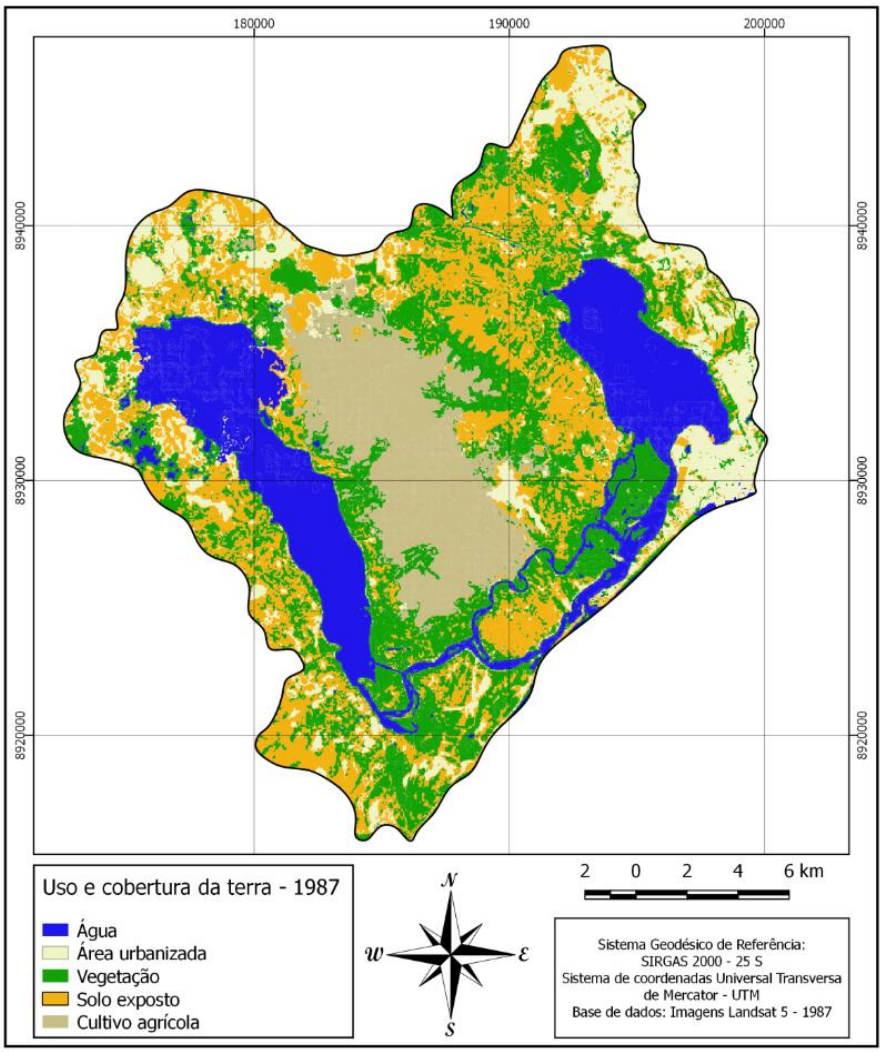
Tabela 1 – Uso da Terra em 1987 no CELMM, Alagoas – Brasil.

CLASSES	ÁREA (km²)	%
Água	82,79	18%
Vegetação	125,32	28%
Solo exposto	118,63	26%
Cultivo agrícola	61,10	14%
Área urbanizada	61,67	14%
TOTAL	449,506	100%

A Figura 3 mostra o Uso da Terra para o ano de 1987 no CELMM no município de Maceió, localizado no lado leste do mapa, às margens da Laguna Mundaú, a região apresenta um grande adensamento de área urbanizada com duas

áreas extensas de vegetação, tornando assim visível a tendência de crescimento urbano que já existia na região há 30 anos.

Figura 3 – Uso da Terra em 1987 no CELMM, Alagoas – Brasil.



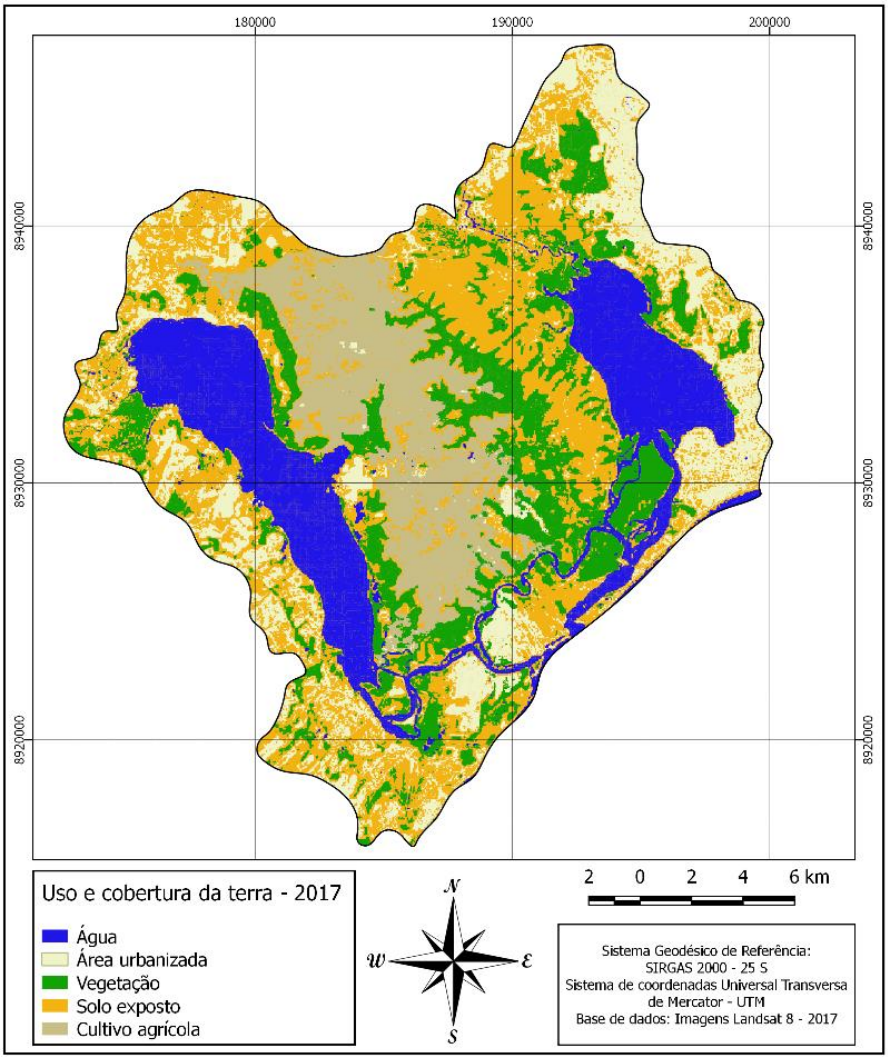
Fonte: autores (2018).

Quando analisados os resultados de 2017 (Figura 4 e Tabela 2), percebe-se um aumento de 20% na área urbanizada, principalmente no município de Marechal Deodoro. Neste período houve uma forte demanda por turismo na região e esse crescimento desorganizado ocorreu principalmente às margens da Laguna Manguaba e da região interlagunar. Outra classe que houve uma mudança significativa foi a vegetação, que teve um decréscimo de 30% de sua área na comparação com 1987.

Tabela 2 – Uso da Terra em 2017 no CELMM, Alagoas – Brasil.

CLASSES	ÁREA (km²)	%
Água	84,32	19%
Vegetação	86,33	19%
Solo exposto	141,59	31%
Cultivo agrícola	63,04	14%
Área urbanizada	74,23	17%
TOTAL	449,506	100%

Figura 4 – Uso da Terra em 2017 no CELMM, Alagoas – Brasil.



Fonte: autores (2018).

Quando analisado os dados absolutos, a diminuição de cobertura vegetal foi de aproximadamente 40 km². Nota-se uma pequena expansão no cultivo agrícola, cerca de 2 km. Analisando a Figura 4, percebe-se que as áreas de vegetação presentes em Maceió diminuíram, dando espaço para a expansão de área urbanizada que aumentou em cerca de 12, 56 km².

4 CONCLUSÃO

A partir das tecnologias da geoinformação foi possível obter informações espaciais de toda a área de estudo de forma precisa. As informações geradas puderam ser vistas nas figura com uma boa precisão, condizendo assim com a situação real do local. Logo é possível ver que os usos das geotecnologias através da aplicação da metodologia de classificação supervisionada em Sistemas de informações Geográficas (SIG), demonstraram eficácia nessa pesquisa, além de apresentarem uma rápida produção, facilidade de manipulação de grande quantidade de informações e de atualização de dados de áreas, possibilidade de aplicação da metodologia em diversos estudos.

A ocupação da terra na área de estudo mostrou um avanço de área urbanizada em detrimento de uma grave diminuição de cobertura vegetal, o que contribui para o processo de assoreamento das lagunas Mundaú e Manguaba. Outra preocupação é o crescimento urbano às margens dos canais que ligam as duas lagunas, o que aumenta a poluição pelo seu desordenamento e o lançamento de esgoto sem tratamento no complexo.

Como visto, o crescimento desordenado está suprimindo a área de vegetação inicial enquanto a área urbanizada tem crescido. Isso ocasiona uma série de problemas, pois, como foi visto, a área urbanizada apresenta um alto nível de

degradação na área. Logo os órgãos compmetentes deve tomar medidas urgentes como realizar o saneamento básico dos locais que contribuem para o complexo, buscar meios de conter o aumento de construções irregulares na margem das lagunas.

REFERÊNCIAS

ALAGOAS. Secretaria de Planejamento de Alagoas/ Coordenação de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Projeto de levantamento ecológico cultural da Região das Lagoas Mundaú e Manguaba. 2ed. ampl. V. I e II. Maceió: Secretaria do Estado do Governo de Alagoas; SUDENE; CNRC, 1980.

FLORENZANO, T.G. Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísitca - IBGE. Manual técnico de uso da terra/ [coordenadora Helge Henriettte Sokolonski], - Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Primeira Divisão de Geociências do Nordeste, 1999. 58p. – Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 7.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. São Paulo. ed. Edgard Blücher, 1989, 308p.

SOUZA, Alane Patrícia de Melo. Avaliação do Efeito de Assoreamento na Hidrodinâmica e no Tempo de Residência de um Complexo Estuarino Lagunar Tropicas. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, 2017.

ANÁLISES DO NDVI E GRVI NO ESTUDO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IPANEMA- PERNAMBUCO

RAYANE CAVALCANTI DA FONSECA
JOÃO RODRIGUES TAVARES JR.
JÉSSICA ADRIAN FARIAS

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
rayanec.fonseca@outlook.com, rodriguesjoão380@mail.com, jessica.l.farias@gmail.com

RESUMO – Uma importante forma de monitoramento da mata ciliar, dá-se a partir de técnicas de Sensoriamento Remoto utilizando Índices de Vegetação (IV). Neste trabalho foi usado os índices NDVI e GRVI nas imagens LANDSAT 8, sensor OLI, no período de estiagem. Os resultados gerados destacaram valores negativos de -0,621 a -0,464 e -0,05 a 0,005 para o NDVI e o GRVI, respectivamente, indicando uma dificuldade na detecção da vegetação rarefeita misturadas a solo exposto. Aplicando o método de classificação supervisionada por máxima verossimilhança (MAXVER) foi definido cinco classes para estudo dadas por: vegetação densa, menos densa e solo de menor, médio e maior exposição. No qual obteve-se para o NDVI e o GRVI, respectivamente, as seguintes medidas de classes em km²: 32,49 e 33,96 para vegetação densa e 256,79 e 225,97 para a de menor densidade, solo menos exposto: 251,61 e 174,93, médio: 290,84 e 366,87 e 47,570 e 77,56 para o mais exposto. Os valores baixos de NDVI, destacou o solo mais exposto, em evidência nos municípios de: Águas Belas, Ouro Branco e Maravilha, enquanto o GRVI realçou a cobertura vegetal menos densa nestas regiões. Na nascente do Rio Ipanema, município de Pesqueira, estes IV's sinalizaram a presença de vegetação nas suas diferentes densidades, demonstrando sua melhor conservação.

ABSTRACT - An important way of monitoring the riparian forest, is based on Remote Sensing techniques using Vegetation Indexes (IV). In this work, the NDVI and GRVI indices were used in the LANDSAT 8 images, OLI sensor, during the dry season. The results showed negative values of -0,621 to -0,464 and -0,05 to 0,005 for NDVI and GRVI, respectively, indicating a difficulty in the detection of rarefied vegetation mixed with exposed soil. Applying the maximum likelihood supervised classification method (MAXVER) was defined five classes for study given by: dense, less dense vegetation and lower, medium and higher exposure soil. In which the following measures of classes in km² were obtained for NDVI and GRVI, respectively: 32.49 and 33.96 for dense vegetation and 256.79 and 225.97 for the one of lower density, less exposed soil: 251.61 and 174.93, mean: 290.84 and 366.87 and 47.570 and 77.56 for the most exposed. The low values of NDVI, highlighted the most exposed soil, evident in the municipalities of Águas Belas, Ouro Branco and Maravilha, while GRVI emphasized the less dense vegetation cover in these regions. At the source of the Ipanema River, in the municipality of Pesqueira, these IV's signaled the presence of vegetation in its different densities, demonstrating its better conservation.

1 INTRODUÇÃO

A água ocupa um lugar específico entre os recursos naturais, sendo de fundamental importância para sobrevivência humana, justificando a preferência de área com cursos d'agua para o cultivo agrícola, criação de animais e crescimento de aglomerados urbanos (DONADIO et al., 2005; MASCARENHAS et al., 2009).

As formações vegetais nas margens dos cursos d'agua, mais conhecida como mata ciliar, são áreas sensíveis que exercem fundamental importância para os recursos hídricos, protege rios, lagos e nascentes. Ao longo do tempo, as matas ciliares têm sido submetidas a impactos antrópicos devastadores (PINTO et al., 2005; LOPES et al., 2017). Segundo Oliveira-Filho et al. (1994), a devastação das matas ciliares tem contribuído para o assoreamento, o aumento da turbidez das águas, o desequilíbrio do regime das cheias, a erosão das margens de grande número de cursos d'água. Todas essas degradações afetam diretamente a qualidade da água e consequentemente interfere na disponibilidade do recurso água.

Para uma gestão adequada dos recursos hídricos e do meio ambiente em que está inserido, seja ele uma bacia hidrográfica ou a mata ciliar envolvente, é preciso o monitoramento e análise da cobertura vegetal, para a possível detecção e entendimento do processo de degradação.

Os IV como o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) são frequentemente utilizados para a determinação de parâmetros biofísicos da vegetação com maior densidade, possibilitando analisar a dinâmica da cobertura vegetal seja em um período espaço-temporal ou na avaliação das alterações do estado de um objeto, como exemplo, as modificações do uso da terra (AQUINO, 2016). Por sua vez o GRVI (*Green-Red Vegetation Index*), é um índice menos aplicado, e caracterizado por apresentar uma maior sensibilidade na detecção da cobertura vegetal com distribuição mais rarefeita.

A combinação do NDVI e GRVI aplicados na detecção da cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica, ou parte dela, contribuem para melhorar a precisão na detecção e o monitoramento da mata ciliar com diferentes densidades, que por sua vez, são importantes para a proteção das margens dos rios.

O objetivo principal deste estudo é avaliar a situação da mata ciliar nas margens do Rio Ipanema, por meio de índices NDVI e GRVI, atribuindo graus de qualidade das matas ciliares relacionados ao NDVI e GRVI, graus que estão relacionados a riscos de erosão e retenção de água pela vegetação.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Ipanema apresenta uma área de 6209,67 km² e está compreendida sua maior parte no Estado de Pernambuco, com uma porção sul no Estado de Alagoas, onde se estende até o Rio São Francisco. Nesta bacia, cerca de 34 municípios, 18 pertencentes a Pernambuco e 12 a Alagoas, estão totalmente, parcialmente ou com sedes municipais inseridas dentro dela (APAC, 2016).

Na bacia do Rio Ipanema pode ser encontrada a presença de atividades agrícolas (SOARES et al, 2016). Na área destaca-se a presença da vegetação de caatinga com fisionomias e densidades diferentes, além de pastagens e agricultura, que podem ser encontrados em algumas localidades nas terras baixas do vale Mimoso (MONTENEGRO et al, 2010). A Figura 1, apresenta a localização desta bacia e os municípios inseridos dentro dela.

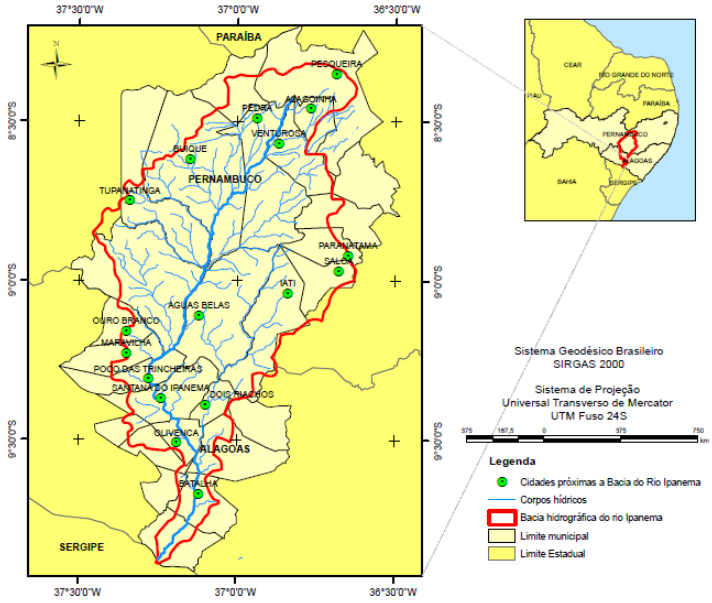


Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Ipanema e os municípios limítrofes

Fonte: elaborado pelos autores, 2018.

2.2 Etapas de processamento das imagens orbitais

Para este estudo foram selecionadas duas cenas LANDSAT 8, sensor OLI, órbita 215 e pontos 66 e 67, para a data de 14 de novembro de 2015, disponibilizadas em um catálogo de imagens pela DGI, Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. As imagens OLI estão no sistema geodésico de referência WGS 84

(*World Geodetic System* 1984, elipsóide de referência GSR80, *Geodetic Reference System* 1980). As bandas espectrais utilizadas foram a faixa verde (B3, 0,533 – 0,590 mμ), vermelho (B4, 0,533 – 0,590 mμ) e infravermelho próximo (B5, 0,845 – 0,885 mμ).

A seleção das imagens foi baseada a partir da consulta aos dados pluviométricos fornecidos pelo site da Agência Pernambucana de Águas e Climas-APAC. O processamento das imagens foi no *software* de geoprocessamento QGIS versão 2.18.3, nele foram desenvolvidos os procedimentos para correção e transformações radiométricas das imagens e posterior obtenção dos IV. Com o uso deste *software* foi delimitado a área da bacia hidrográfica do Rio Ipanema, assim como os corpos hídricos limitantes, sendo gerados buffers com delimitação de 2 km e 1 km, respectivamente e posterior geração do mapa temático.

Com o resultado das imagens geradas pelos índices de vegetação NDVI e GRVI, foi realizada uma classificação supervisionada no *software* SPRING versão 5.5.0, sendo usado o classificador de máxima verossimilhança (MAXVER), gerando mapas temáticos NDVI e GRVI, e sendo medidas as classes em km², permitindo analisar e comparar o resultado desses IV.

O NDVI faz uso das bandas espectrais do vermelho (B4) e infravermelho próximo (B5), enquanto o GRVI usa as bandas verde (B3) e vermelho (B4). Nos cálculos do NDVI e GRVI para as imagens OLI, foram consideradas as informações disponíveis nos metadados (.MTL) e os procedimentos fornecidos pelo USGS (*United States Geological Surveyv*), para conversão de valores de número digital (ND) para reflectância no Topo da Atmosfera (TOA), conforme se observa na Equação 1 abaixo.

$$\rho\lambda' = M\rho Qcal + A\rho \quad (1)$$

Onde ρʎ' é a TOA reflectância planetária sem correção do ângulo solar; Mρ: a banda especifica multiplicativa de reflectância; Aρ é a Banda especifica aditiva; e Qcal a quantização e calibração dos valores de pixel (DN).

A Tabela 1, apresenta os valores considerados para os respectivos parâmetros e disponíveis no metadados da imagem.

Tabela 1- Parâmetros para o cálculo do TOA.

Parâmetros	**2015**		
	Verde	**Vermelho**	**Infravermelho Próximo**
Mρ	$2{,}0000^{-5}$	$2{,}0000^{-5}$	$2{,}0000^{-5}$
Qcal	Banda 3	Banda 4	Banda 5
Aρ	-0,100000	-0,100000	-0,100000

Fonte: USGS.

O parâmetro ângulo de elevação solar influencia no resultado da reflectância planetária (ρʎ'), dessa forma torna-se necessário a realização de uma correção com o objetivo de se obter a reflectância do TOA ajustada, para isso aplica-se a Equação 2.

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\cos(\theta sz)} = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta se)} \quad (2)$$

Onde:

ρʎ'é a TOA reflectância planetária; θSE é a ângulo de elevação solar, e θSZ é o ângulo zenital solar

Para as imagens em estudo, o ângulo de elevação solar (*SUN_ELEVATION*) foi de 64,59582541. Com esta correção, foram geradas as imagens reflectância e calculados os índices de vegetação, NDVI e GRVI, possível a partir das Equações 3 e 4.

$$NDVI = \frac{(B5 - B4)}{(B5 + B4)} \quad (3)$$

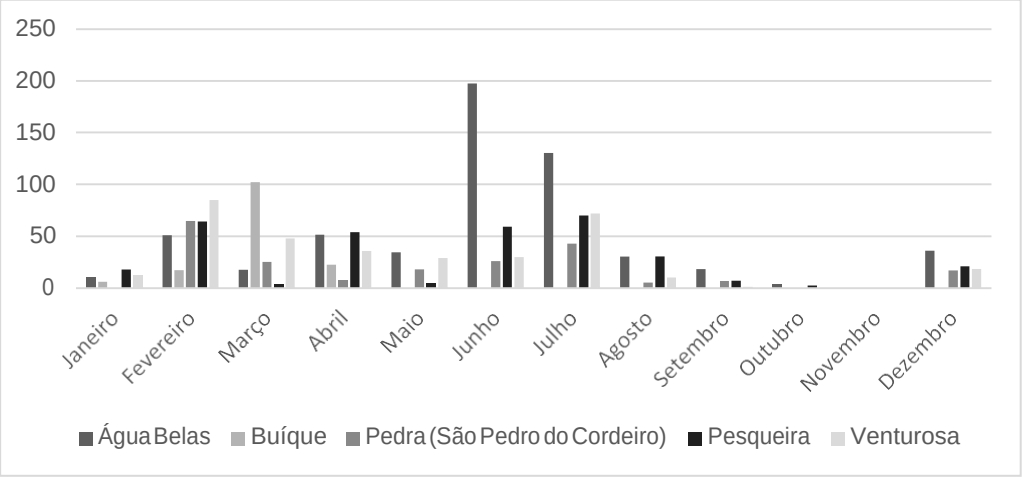
$$GRVI = \frac{(B3 - B4)}{(B3 + B4)} \quad (4)$$

2.3 Monitoramento pluviométrico

A bacia hidrográfica do Rio Ipanema encontra-se localizada na região do agreste Pernambucano e na região semiárida (SOARES et al., 2016), onde a época de chuva está concentrada durante os meses de março a julho com temperatura média de 20,5°C, e entre os meses de setembro a dezembro tem-se o período de seca com um alcance médio de temperatura de 21,9°C.

Na análise das condições pluviométricas da bacia do Rio Ipanema, o relatório de manual de operação da sala de situação publicado no ano de 2014 pela APAC informa a situação dos principais reservatórios da bacia do Rio Ipanema, que são os açudes de: Arcoverde, Ingazeira, Ipaneminha, Mororó e Mulungu, situados nos municípios de Pedra, Venturosa, Pesqueira, Pedra e Buíque, respectivamente. A Figura 2 mostra a precipitação pluviométrica para o ano de 2015 considerando os postos situados nos municípios citados acima.

Figura 2: Monitoramento pluviométrico da Bacia do rio Ipanema o ano de 2015



Fonte: APAC, 2018

Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php

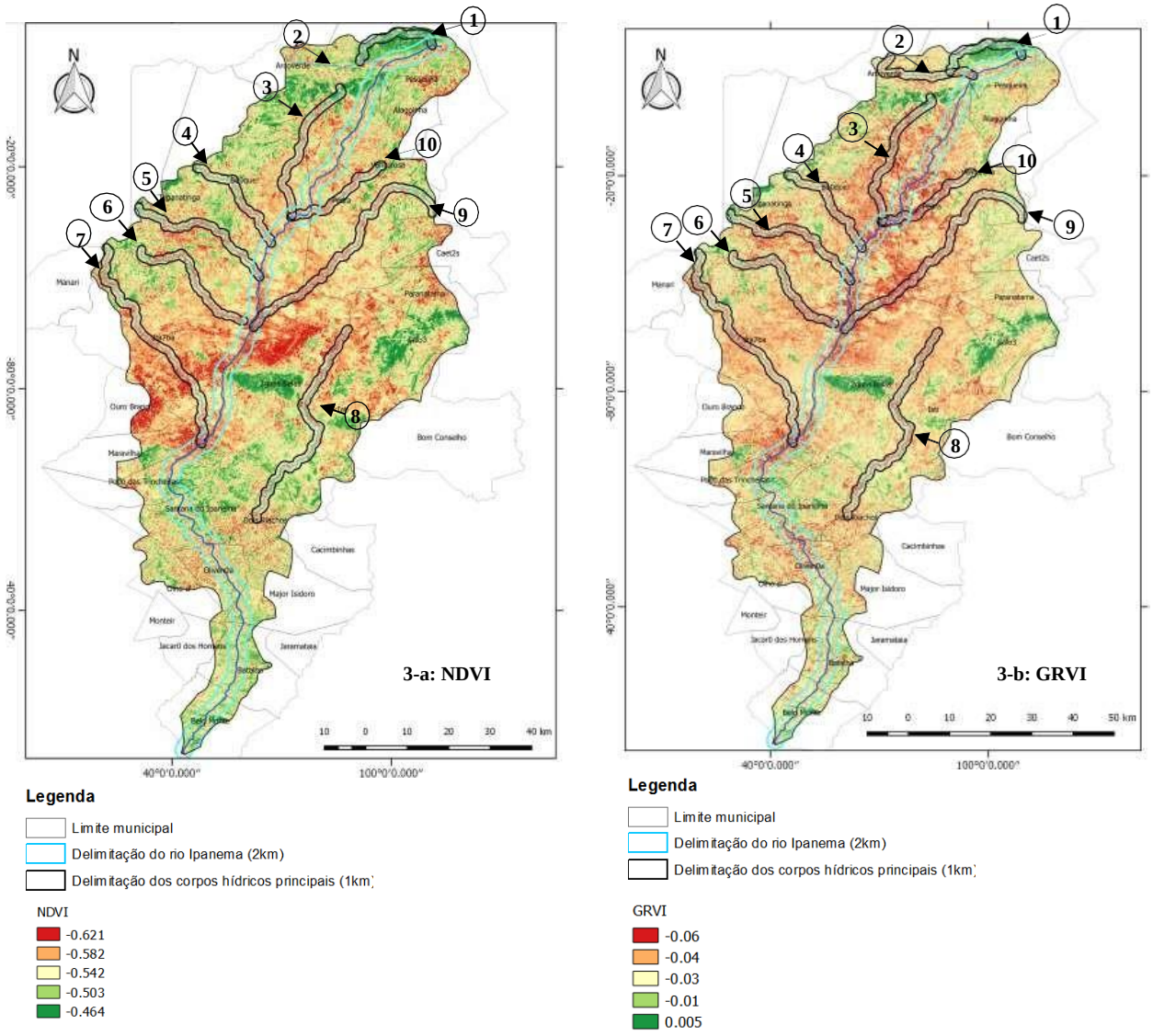
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O NDVI apresentou seus valores de máximo e mínimo variando entre: -0,464 e -0,621, respectivamente, sendo classificados em cincos intervalos, onde para os resultados entre -0,503 e -0,464, destacou-se a vegetação característica na bacia hidrográfica do Rio Ipanema, enquanto que para os intervalo -0,621 A -0,542 tem-se os diferentes níveis de solo exposto.

Para o GRVI os valores de máximo e mínimo ficaram compreendidos entre 0,005 e -0,06, respectivamente. Os valores entre -0,01 e 0,005 evidenciam a vegetação predominante da área.

A Figuras 3a mostra o NDVI, e a Figura 3b o GRVI da bacia hidrográfica do Rio Ipanema e dos seus afluentes principais, riachos do Mandacaru, da Barra, Mulungu, Mororó, Luiza, Ipaneminha, além dos rios Tapeira, Garanhuzinho e Cordeiro.

Figura 3-a NDVI e 3-b GRVI.



Onde:

1-Riacho Ipaneminha; 2- Riacho Arcoverde; 3-Riacho Mororó; 4-Riacho Mulungu; 5-Riacho da Barra; 6-Riacho Mandacaru; 7-Rio Tapera; 8-Riacho Garanuzinho; 9-Riacho Cordeiro; 10- Riacho Luiza.

Para avaliar as respostas das matas ciliares mapeadas pelo NDVI e GRVI foi delimitado um buffer com raio de 2 km de distância considerado a partir do leito do rio, e no buffer foi realizada a classificação supervisionada MAXVER no SPRING, considerando cinco classes denominadas por: vegetação densa, vegetação menos densa, solo menos exposto, de média e maior exposição, conforme demonstrado na Figuras 4-a e 4-b.

Com o resultado desta classificação, foi obtido os valores em km² de cada classe gerada, o que permitiu comparar os resultados fornecidos por cada índice. O limiar de aceitação do MAXVER foi de 99,97% e 98,92%, para o NDVI e GRVI, respectivamente. A Tabela 1 e a Figura 4 apresentam a comparação entre esses resultados para cada classe em km².

Figuras 4-a NDVI e 4-b GRVI.

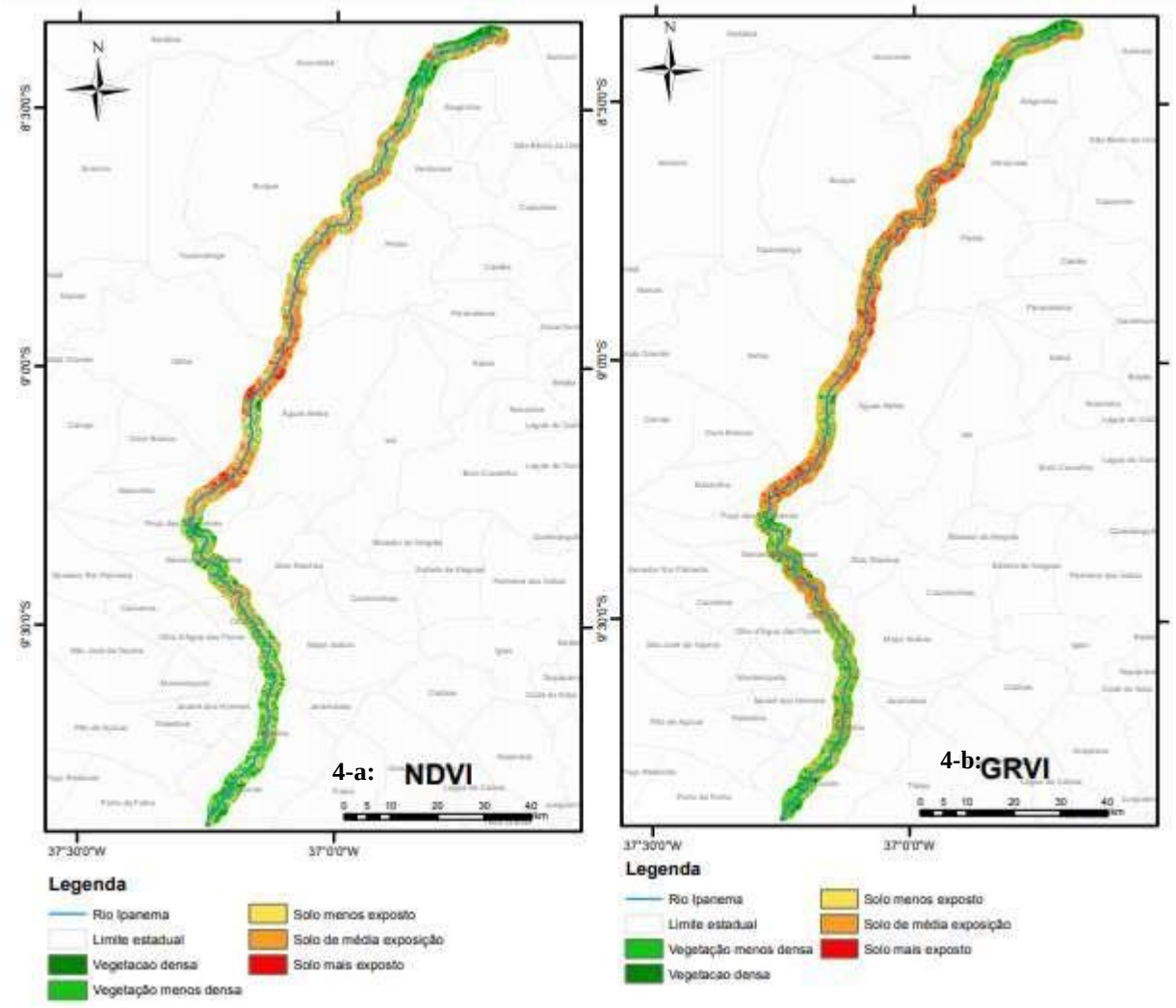
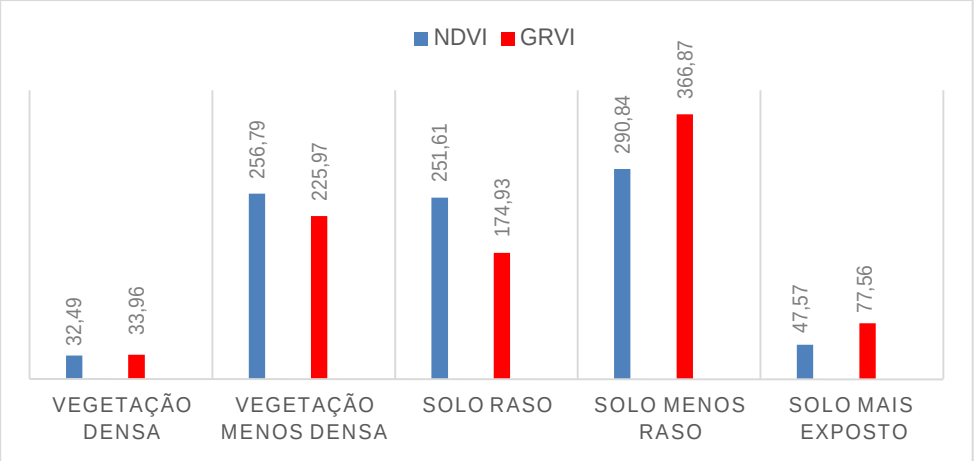


Tabela 1: Medidas de Classe entre os índices NDVI e GRVI para as áreas em km².

CLASSES	NDVI	GRVI
Vegetação densa	32,49	33,96
Vegetação menos densa	256,79	225,97
Solo menos denso	251,61	174,93
Solo de médio exposição	290,84	366,87
Solo mais exposto	47,570	77,56

Figura 4 - Comparação entre as áreas classificadas por cada índice.



Em relação aos resultados gerados pela classificação, as medidas de classe em km² da vegetação indicam que ambos os IV conseguiram destacar valores aproximados para o NDVI e GRVI, respectivamente, em torno de: 32,49 km² e 33,96 km² para vegetação densa e para a menos densa 256,79 km² e 225,97 km². Enquanto que os valores gerados dos IV, respectivamente, para o grupo do solo exposto foram: 251 km² e 174,93 km² para o menos exposto, 290,84 km² e 366,87 km² para o de média exposição e 47,570 km² e 77,56 km² para o mais exposto.

4 CONCLUSÃO

Com a aplicação dos IV foi possível avaliar os aspectos da mata ciliar do rio Ipanema, e os resultados gerados pelos índices NDVI e GRVI destacaram valores negativos para as classes de vegetação, o que sinaliza a dificuldade em detectar a cobertura vegetal mais rarefeita. Os valores negativos dos IV podem ter a interferência de agentes externos, a saber, o solo exposto predominante nas respostas destes índices, uma vez que a data considerada em estudo está no período de estiagem.

Na área compreendida entre os municípios de Venturosa, Pedra, Buíque, Tupanatinga, Itaíba, Águas Belas, Ouro Branco e Maravilha, o NDVI destaca a presença de maior quantidade de solo exposto em relação a vegetação, estando mais evidente em Águas Belas, Ouro Branco e Maravilha. Por sua vez, o GRVI consegue realçar a vegetação nestes três municípios (Águas Belas, Ouro Branco e Maravilha), mas indica áreas expressivas de solo exposto na região da Pedra, Buíque e Tupanatinga.

Em relação a área da nascente do Rio Ipanema, no qual segundo os informativos da Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC) está localizada no município de Pesqueira, tanto o NDVI quanto GRVI destacaram a presença de vegetação densa e menos densa o que pode indicar sinais de conservação das margens e pouco impacto nessa área do rio.

REFERÊNCIAS

ALAGOAS. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema. Maceió: Secretaria Executiva de Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Naturais, 1998**. Disponível em <http://cbhsaofrancisco.org.br/planoderecursoshidricos/wp-content/uploads/2015/04/V1_caract_p1_v2.pdf> Acesso: 06 de junho de 2018.

AQUINO, C.M.S de, DIAS, A. A,AMORIM, S. F. **Análise temporal do NDVI da Bacia Hidrográfica do Rio Longá- Piauí- Brasil.** Revista Formação (ONLINE) Vol. 3; n. 23, mai/ago/2016, p.248-263. ISSN: 2178-7298. ISSN-L: 1517-543X

LIU, H.Q.; HUETE, A. A **feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise**. Geoscience and Remote Sensing, v.33, p. 457–465, 1995.

MONTENEGRO, S., MONTENEGRO, A. A. A., R.Ragab. **Improving agricultural water management in the semi-arid region of Brazil: experimental and modelling study.** Irrigation Science, v.28, p.301 - 316, 2010

KNIPLING EB. 1970. **Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation.** Remote Sensing of Environment, 1: 155-159.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; ALMEIDA, R. J. de; MELLO, J. M. de; GAVILANES, M. L. Estrutura fitossociológica e variáveis ambientais em um trecho de mata ciliar do córrego Vilas Boas, Reserva Biológica do Poço Bonito, Lavras, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 67-85, 1994.

SOARES, L.C., ALVES, M.V.da., FERNANDES, G.S.T., LIMA, E.A.de., NETO, A.R. **Projeções de Balanço Hídrico para a Bacia Hidrográfica de Ipanema no Estado de Pernambuco.** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC'2016, Foz do Iguaçu- PR.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NA CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS SATELITAIS DE UM GLACIAL ANDINO.

LOURDES M.M. VILLAVICENCIO1
FELIPE FERREIRA MONTEIRO2
DAVID MENDES3
LARA DE MELO BARBOSA ANDRADE4

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Centro de Ciências Exatas da Terra - CCET
Departamento de Ciências Atmosféricas, Natal, RN
lumimevi@gmail.com, felipefmonteiro@gmail.com, david.mendes22@gmail.com, laraufrnn@gmail.com

RESUMO - No presente trabalho foi realizada a classificação de cobertura do solo com o uso de Redes Neurais Artificiais e o método supervisionado da máxima verossimilhança, com o objetivo de comparar a eficiência dos métodos quanto a extração de informações de imagens de satélite. Como área de estudo foi selecionada uma região ao sul dos Andes Peruanos, especificamente o glacial denominado Chumpe. Foi realizada a classificação de uso do solo utilizando as duas metodologias de classificação, aplicando os mesmos conjunto de amostras, tendo como resultado de controle os valores obtidos com o método de máxima verossimilhança. Os resultados obtidos mostraram que o uso de Redes Neurais Artificiais obteve um bom desempenho quando comparada ao método de máxima verossimilhança na identificação de regiões com cobertura de gelo/neve e reduzido número de erros, além de demonstrar o potencial da aplicação da técnica.

ABSTRACT - The present work was carried out with the support of the ground cover with the use of Neural Networks and the supervised method of verification, in order to compare the option of extracting information from orbital images. Area of study was called a region of the southern Andes. A land use classification was performed using two classification methodologies, applying the same sets of samples, resulting in the control of the values with the maximum likelihood method. The results were those that used Artificial Neural Networks to obtain a good performance when compared to the method of identification of regions with identification of coverage and number of errors, besides demonstrating the potential of the application of the technique.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, sabe-se que os glaciais contribuem para a manutenção do abastecimento de água potável, produção de energia, entre outras aplicações essenciais nas regiões andinas. (SORUCO et al., 2009 ; GASCOIN et al., 2011; RABATEL et al., 2013; VEETTIL et al., 2017). As imagens de sensoriamento remoto tornam viável a realização de levantamentos em diferentes regiões do globo, por ser capaz de fornecer informações de todos os continentes, em especial áreas montanhosas onde se localizam um grande número de glaciais, os quais são, na maiorias das vezes, de difícil acesso (PELLIKA e REES, 2010). Por tanto o uso os recursos técnicos do sensoriamento remoto são primordiais no reconhecimento dessas regiões em função de suas dimensões e das dificuldades logísticas para o desenvolvimento de trabalhos de campo (AHLERT e SIMÕES, 2004; RACOVITEANU et al., 2008).

O uso de imagens de satélite para fins de mapeamento é de grande utilidade pois permite um levantamento abrangente com revisitas em curto intervalo de tempo, além de muitas vezes ser obtida por um baixo custo. O mapeamento do uso do solo por meio da classificação das imagens permite a mensuração, em termos de área, dos diferentes usos existentes, que são categorizados e mapeados segundo diferentes classes, as quais podem ser definidas pelo usuário ou de maneira automatizada, dependendo do método de classificação utilizado. Com o propósito de classificar digitalmente uma imagem de satélite foram comparados dois diferentes métodos de classificação, o método de máxima verossimilhança versus a utilização de redes neurais, dessa forma avaliando a eficiência e a facilidade dos procedimentos da classificação.

1.1 Método da Máxima Verossimilhança (MaxVer)

O MaxVer é um classificador paramétrico, que assume uma distribuição espacial de probabilidade para cada classe, em que cada banda possui distribuição gaussiana baseada nas amostras coletadas, determinando os parâmetros como média e matriz de covariância com base nos dados de treinamento (KUNCHEVA, 2004). Dessa forma, é calculada a probabilidade do pixel pertencer a uma determinada classe, finalmente atribuindo-lhe o valor onde esta probabilidade é a maior (máxima) (RICHARDS e JIA, 2006).

A regra de decisão do classificador consiste em associar o vetor de padrões x à classe w_n, tal que

$$p(x|w_n) \geq p(x|w_m), \quad para\ todo\ m = 1, \dots, C.$$

Em que C é o numero de classes e $p(x|w_m)$ é a função de verossimilhança que pode ser representada por uma função de densidade de probabilidade com distribuição normal ou Gaussiana Multivariada que é parametrizada pela média μ e matriz de covariância ∑ da classe, ou seja, $p(x|w_m) \sim N(\mu, \sum)$. A distribuição Gaussiana Multivariada é dada por:

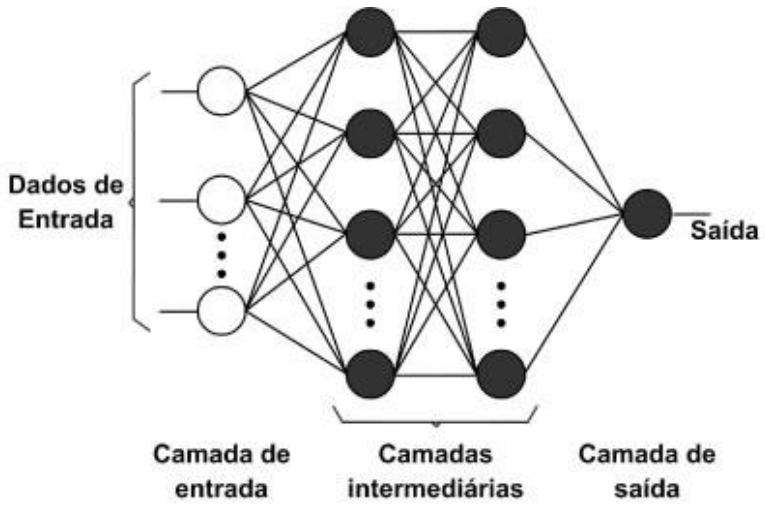
$$p(x|w_n) = \frac{1}{(2\pi)^{d/2}|\sum|^{1/2}} exp\left[-\frac{1}{2}(x-\mu)^T \sum^{-1} (x-\mu)\right],$$

em que, d é a dimensionalidade do espaço, $|\sum|$é o determinante da matriz de covariância da classe,$\sum^{-1}$ é a inversa da matriz de covariância da classe e *exp* representa o exponencial.

1.2 Redes Neurais Artificiais (RNA)

As redes neurais artificiais são uma abstração da rede neural real, observada no cérebro orgânico, diz-se que as RNA são inteligentes devido à sua capacidade de adquirir conhecimento ao interagir com seu ambiente através de um processo de aprendizagem (HAYKIN, 2001). Segundo Santos et. al (2005) a ideia básica do paradigma da RNA é construir um modelo onde, esteja conformado por um grande número de neurônios (unidades simples de processamento), com um grande número de conexões entre eles. De acordo com Haykin (2001), uma RNA do tipo Multicamadas (MLP) possui uma arquitetura constituída por, pelo menos, três camadas de neurônios artificiais (Figura 1), sendo uma camada de entrada, composta pelos dados de entrada, uma camada de saída, com o resultado da classificação, e uma ou mais camadas escondidas com neurônios ocultos. Vale ressaltar que a rede MLP é capaz de separar padrões não linearmente separáveis, podendo ser utilizada em aplicações como regressão linear e predição temporal. (COSTA, LUDWING; 2007 ; HAYKIN, 2001; SILVA; 2010).

Figura 1 - Representação gráfica de uma RNA-MLP com duas camadas intermediárias.



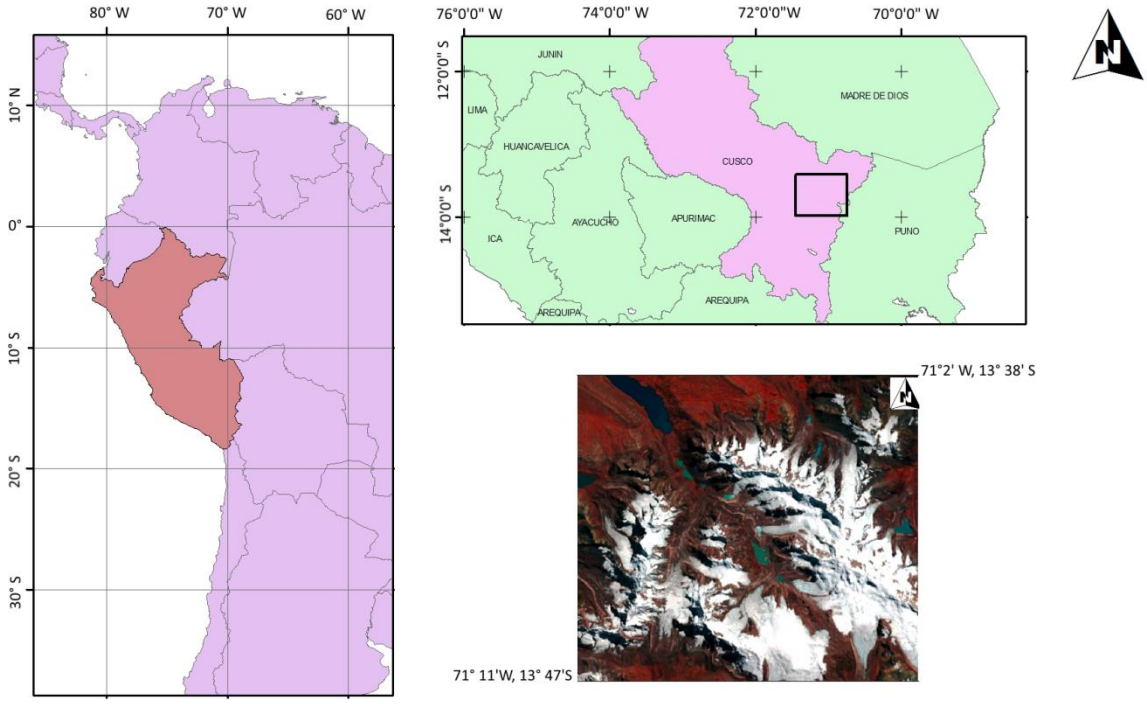
Fonte: Adaptado de Galo (2000)

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Área de Estudo

A cordilheira do Vilcanota, fica localizada na região sudeste do Perú, a cerca de 85 km a sudeste da cidade de Cusco, especificamente nas províncias de Canchis e Quispicanchi e em Puno na província de Melgar. O recorte da área estudada fica delimitado entre as coordenada, 71°11'24"W,13°47'1,4"S e 71°2'54"W,13°38'44"S, a uma altitude média 6300 metros, apresentado na Figura 2, pela composição RGB (753) falsa-cor.

Figura 2 - Macrolocalização da região estudada



2.2 Metodologia

Para este trabalho foi utilizada uma imagem capturada em junho de 2016, mês considerado seco na região sem a ocorrência de precipitação. A cena utilizada foi obtida pelo satélite Landsat 8, usando o sensor OLI, na órbita/ponto: 54/7, com resolução espacial de 30 m. Para o mapeamento e coleta das amostras foi utilizada a composição colorida RGB, respectivamente com as bandas 753, como recomendado por Petsch et al., (2015), por ser uma composição que têm grande potencial para diferenciação do gelo de outros alvos da cobertura do solo. A partir da cena selecionada foi construída a composição colorida e realçada pela equalização dos histogramas, de maneira a destacar as diferenças entre a cobertura de gelo/neve superficial, água, solo exposto, para a classificação foram definidas três classes, sendo estas: Gelo/Neve; água e outros usos.

Para proceder a classificação e implementação da rede neural foi utilizada a linguagem de programação Python 3, aplicando as bibliotecas do scikit-learn. Para classificação foram selecionados entre 25 a 30 polígonos de tamanhos variados e espaçados ao acaso, como amostras de cada classe, composta da seguinte forma: água, gelo e de outros usos. Cada amostra coletada foi discretizada em um vetor com três componentes, os quais correspondem aos respectivos níveis de cinza de cada banda, que serão aplicados para classificação pela rede neural. Para ambos os classificadores aplicados foram utilizados os mesmos padrões/amostras no treinamento.

Na aplicação da RNA foi utilizada a rede neural MLP, com a arquitetura composta por 3 entradas, 2 camadas ocultas e 3 classificadores na saída, como função de ativação foi usado a função logística, adotou-se o algoritmo de treinamento backpropagation sequencial com termo de momentum de 0,5 para agilizar na convergência da rede, com taxa de aprendizagem igual a 0,2. O treinamento foi encerrado após a rede atingir um percentual de classificação correta mínimo de 90%.

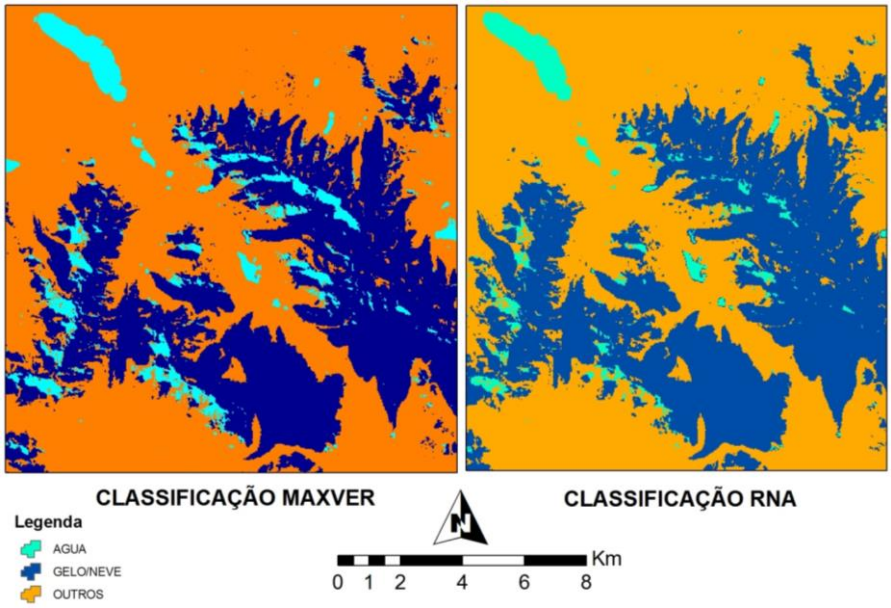
Para avaliar o desempenho da RNA, utilizou-se o índice kappa que é baseado na construção de matrizes de erro ou de contingência. O uso desse coeficiente é satisfatório na avaliação da precisão de uma classificação temática, pelo

fato de levar em consideração toda a matriz de confusão no seu cálculo, inclusive os elementos de fora da diagonal principal, os quais representam as discordâncias na classificação (BERNARDES, 2006). Com relação a aplicação da técnica de classificação por Máxima Verossimilhança (Maxver), não foi definido limiar de aceitação, de maneira que a imagem final tenha todos os seus pixels classificados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 4, apresenta os resultados obtidos com a classificação Maxver em comparação com a classificação pela RNA. Avaliando os resultados obtidos com as imagens da classificação pela RNA, pode-se considerar que o método foi o que melhor detectou as regiões com neve e gelo mesmo quando sombreadas, presentes no topo e encostas das montanhas.

Figura 4- Classificação de recorte com dois classificadores, a esquerda,Maxver e a direita, RNA.



A área total mapeada foi de 967,59 Hectares, dos quais o classificador MaxVer conseguiu mapear com exatidão 954,54 Ha, tendo assim uma precisão geral de 98,65% e um coeficiente Kappa da ordem de 0, 9793. Quando comparado ao resultado da rede neural, a precisão geral sobe para 98,87 % (956,7 Ha), o que significou que não houve um grande ganho quanto precisão geral. Avaliando os resultados de cada classe individualmente, a RNA pode realizar um melhor mapeamento do principal objeto de estudo que foi a cobertura de Gelo/Neve, apresentando uma melhor separação quanto a classe água, principalmente nas regiões com muitas sombras ocasionadas pelo próprio relevo. Na tabela 1 são apresentadas as matrizes de confusão correspondentes para cada classificador e a área ocupada por cada classe, onde se destaca que a RNA apresentou melhores resultados em comparação ao classificador Maxver.

Tabela 1 - Matrizes de Confusão dos classificadores utilizados

Classificador MaxVer						
	Gelo/Neve		Água		Outros	
Gelo/Neve	98,46%	380,16 Ha	0,77%	1,71 Ha	0,02%	0,09 Ha
Água	1,42%	5,49 Ha	97,48%	215,46 Ha	0,40%	1,44 Ha
Outros	0,12%	0,45 Ha	1,75%	3,87 Ha	99.58%	358,92 Ha
Rede MLP						
	Gelo/Neve		Água		Outros	
Gelo/Neve	99,42	383,85 Ha	2,69	5,94 Ha	0,10	0,36 Ha
Água	0,54	2,07 Ha	96,25	212,76 Ha	0,00	0 Ha
Outros	0,05	0,18 Ha	1,06	2,34 Ha	99,90	360,09 Ha

Coeficiente Kappa para RNA-MLP = 0,9827 Coeficiente Kappa para MaxVer = 0,9793

4 CONCLUSÕES

A aplicação de soluções em sensoriamento remoto são de grande auxilio para os estudos em regiões montanhosas por permitir o mapeamento completo da região em diferentes momentos do tempo, uma vez que são áreas de difícil acesso. A aplicação da composição RGB 753 mostrou-se de grande auxilio e potencial aplicação em áreas montanhosas uma vez permitiu uma boa diferenciação da neve/gelo de outros alvos. O uso da RNA-MLP como técnica de classificação, se mostrou eficiente com índices próximos ao método MAXVER, favorecendo a confiabilidade na técnica. Para estudos futuros pretende-se aplicar a RNA para classificar imagens em regiões com a presença de neve para diferentes anos com o objetivo de averiguar as mudanças ocorridas ao longo do tempo.

Agradecimentos Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

Referências Bibliográficas

AHLERT, S.; SIMÕES, J.C; O sensoriamento remoto como recurso no estudo da Antártica. In: 4a JORNADA DE EDUCAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO NO AMBITO DO MERCOSUL, 2004, São Leopoldo, RS**. Anais..** São Leopoldo p. 5. 2004.

BERNARDES, T. **Caracterização do ambiente agrícola do complexo Serra Negra por meio de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 119p, 2006.

GALO, M. L. B. T., **Aplicação de redes Neurais Artificiais e Sensoriamento Remoto na Caracterização Ambiental do Parque Estadual Morro do Diabo**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2000.

GASCOIN, S., KINNARD1, C., PONCE1, R., LHERMITTE1, S., MACDONELL1, S., RABATEL, A. Glacier contribution to streamflow in two headwaters of the Huasco River, Dry Andes of Chile, **The Cryosphere**, v.5, p.1099–1113, 2011.

HAYKIN, Simon**. Redes Neurais: princípios e práticas**, 2ª edição Porto Alegre: Bookman, 898p, 2001.

INPE. **Catálogo de Imagens**. Disponível em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em 25 de maio de 2018.

KUNCHEVA, L. **Combining Pattern Classifiers : Methods and Algorithms.** Wiley-Interscience, 2004.

LUDWING Jr., O. ; COSTA, E.M.M., **Redes neurais: Fundamentos e Aplicações com Programas em C.** Rio de Janeiro: Ed.Ciência Moderna, 2007.

PELLIKA, P.; REES, W. G. Remote Sensing of Glaciers: **Techniques For Topographic, Spatial And Thematic Mapping of Glaciers**. Londres, Crc Press, p. 330, 2010.

PETSCH, C.; ROSA, K. K.; VELHO, L. F.; SIMÕES, J. C., LANDSAT 8 e a Península Antártica: potencialidades para diferenciação entre nuvens e neve, **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015.

RABATEL A., FRANCOU, B., SORUCO, A., GOMEZ, J. , B. CACERES, CEBALLOS, J. L., BASANTES, R., VUILLE, M., SICART, J.-E., HUGGEL. C., SCHEEL, M., LEJEUNE1, Y., ARNAUD, Y., COLLET, M., CONDOM, T., CONSOLI, G., FAVIER1, V., JOMELLI, V., GALARRAGA, R., GINOT, P., MAISINCHO, L., MENDOZA, J., MENEGOZ, M., RAMIREZ, E., RIBSTEIN, P., SUAREZ, W., VILLACIS, M., WAGNON, P. Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change, **The Cryosphere,** v. 7, p. 81-102, 2013.

RACOVITEANU, A.E.; ARNAUD, Y.; WILLIAMS, M.W., ORDOÑEZ, J. Decadal changes in glacier parameters in the Cordillera Blanca, Peru, derived from remote sensing. **Journal of Glaciology**, v. 54, n. 186, p. 499–510, 2008.

RICHARDS, J.A.; JIA, X. **Remote Sensing Digital Image Analysis**: An Introduction. Springer, 2006.

SILVA, I.N. **Redes neurais artificiais para engenharia e ciências aplicadas**. São Paulo: Artliber, 2010.

SORUCO, A., VINCENT, C., FRANCOU, B., RIBSTEIN, P., BERGER, T., SICART, J. E., WAGNON, P., ARNAUD, Y., FAVIER, V., LEJEUNE, Y. Mass balance of Glaciar Zongo, Bolivia, between 1956 and 2006, using glaciological, hydrological and geodetic methods, **Ann. Glaciol.,** v.50, p.1–8, 2009.

VEETTIL, B. K., SERGIO, S. W., SOUZA, F., BREMER, U. F., SIMÕES, J. C., Glacier monitoring and glacier-climate interactions in the tropical Andes: A review **Journal of South American Earth Sciences**, V. 77, pp. 218-246, 2017.

CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA POR NDVI PARA DETECÇÃO DE DIFERENTES ALVOS DE SUPERFÍCIE NO ENTORNO DO RESERVATÓRIO DE ITAPARICA - PE

ULISSES ALENCAR BEZERRA
LEIDJANE MARIA MACIEL DE OLIVEIRA
ANTÔNIO CELSO DE SOUSA LEITE
LUISA THAYNARA MURICY DE SOUZA SILVA

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências – CTG e Centro de Acadêmico do Agreste – CAA, Caruaru, PE
Departamento de Engenharia Cartográfica e Departamento de Engenharia Civil, Recife, PE
ulisses.alencar17@gmail.com, leidjaneoliveira@hotmail.com, antonio.celso@ifpi.edu.br, luisataynara12@hotmail.com

RESUMO – Dados provenientes de sensores orbitais no estudo dos recursos naturais têm explorado principalmente caracterizações espectrais de objetos específicos e suas relações com parâmetros biofísicos, em detrimento do emprego de técnicas de classificação. Este artigo buscou analisar a classificação supervisionada por meio do plugin dzetsaka: classification tool, através do NDVI na detecção de diferentes alvos, entre o reservatório de Itaparica e seu entorno. Para a realização do trabalho foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2, sensor MSI para computo do NDVI. Na etapa de classificação foram selecionadas regiões de interesse distintas identificadas como: Corpo Hídrico; Área Construída; Agricultura Irrigada; Solo Exposto; Vegetação Caatinga e Vegetação Arbórea. Para fins de avaliação da fidedignidade da classificação, calculou-se, o Índice Kappa e o Desempenho Geral, obtendo valores de 91,90% e 98,57%, respectivamente. Na classificação supervisionada houve confusão entre as classes de solo exposto e área urbana, e nas classes de agricultura irrigada e vegetação arbórea. Essa confusão é explicada pela similaridade espectral que esses alvos possuem. Técnicas de classificação supervisionada são ferramentas essenciais para o mapeamento da cobertura do solo, visto que se dispondo de imagens de baixo custo e de sistemas livres para processamento, é possível obter parâmetros com altos níveis de precisão.

ABSTRACT - The data from orbital sensors in the natural resources method have explored spectral characteristics of parameters and their relationships with biophysical parameters, to the detriment of the use of classification techniques. This article sought to analyze the classification through the dzetsaka plugin: classification tool, through the NDVI in the detection of different targets, between the Itaparica reservoir and its surroundings. To carry out the work towards the Sentinel-2 satellite, the MSI sensor for the NDVI compute. In the classification stage were selected the regions of interest such as: Water Body; Building area; Irrigated Agriculture; Exposed Solo; Caatinga Vegetation and Arboreal Vegetation. For the purposes of evaluating the reliability of the classification, calculation, Kappa Index and General Performance, values of 91.90% and 98.57%, respectively, are obtained. In the supervised classification between individual and urban exposure classes, in the classes of irrigated agriculture and arboreal vegetation. This explanation is explained by the spectral similarity of these same characters. Supervised classification techniques are essential tools for the mapping of the ground cover, it is seen as a system of images of low cost and of free release for the processing of data, with high level of precision.

1 INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto (SR) constitui a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves ou outras plataformas com o objetivo de estudar fenômenos, eventos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que a compõem em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2010).

Nas últimas décadas as aplicações de dados provenientes de sensores orbitais no estudo dos recursos naturais terrestres têm explorado principalmente caracterizações espectrais de objetos específicos e suas relações com parâmetros

geo e/ou biofísicos, em detrimento do emprego de técnicas de classificação (PONZONI, SHIMABUKURO & KUPLICH 2012).

Uma forma de extrair informações dos dados provenientes dos sistemas sensores é por meio das técnicas de classificação supervisionada de imagens. Estas consistem em uma extração de amostras e atribuição de pixels em classes definidas pelo operador (CRÓSTA, 1992), ou de forma automática por algoritmos em softwares de processamento de imagem.

A classificação supervisionada de imagens proporciona benefícios e desvantagens. O benefício principal é que o usuário tem maior controle sobre o processo, como por exemplo, pré-estabelecer classes e identificar possíveis imprecisões graves pela análise das áreas de treinamento. A desvantagem principal é que o usuário estabelece uma determinada composição de classificação aos dados, através da definição antecipada das classes de informação. Estas classes podem ou não corresponder às classes reais existentes na cena imageada, ou não ser separáveis no espaço dimensionado (CAMPBELL, 1996).

De acordo com Bernardi (2007), a classificação supervisionada se baseia na identificação de diferentes classes com comportamentos espectrais diferenciados. Para isso, algoritmos de classificação são adotados para extrair as feições de interesse em um espaço multidimensional.

Nesse estudo foi utilizado o *dzetsaka: classification tool*, um plugin de classificação supervisionada, disponível para o software de livre acesso QGIS, que utiliza o modelo de misturas de gaussianas (Gaussian Mixture Models – GMM). O GMM é um método que descreve com precisão um agrupamento de amostras para um determinado espaço de características, este método considera o quanto mais próximo o pixel estiver (em seus valores de refletância), mais peso ele terá (SILVA, 2014; KARASIAK & PERBET, 2017).

Apesar da maioria das classificações supervisionadas obterem resultados de boa qualidade, é possível que haja confusão entre classes que se assemelham espectralmente. Nesse sentido, é possível, através de alguns índices físicos que auxiliem na diferenciação dos diferentes elementos componentes da paisagem, a exemplo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), no qual é um elemento importante para o estudo de mudanças climáticas, utilizando a vegetação como índice de cálculo, e é indiscutivelmente o índice espectral de detecção remota mais amplamente utilizado para monitorar a superfície terrestre (ROUSE et al., 1973; ROBINSON et al., 2017; BEZERRA et al., 2017).

O reservatório de Itaparica, situado ao longo do rio São Francisco e localizado especificamente entre os estados da Bahia e Pernambuco, foi inicialmente construído para a geração de energia, porém, atualmente apresenta outras finalidades como abastecimento público e industrial, irrigação, piscicultura, pecuária, navegação, turismo e lazer (MELO et al., 2012).

Diante do exposto este artigo objetivou analisar a classificação supervisionada por meio do plugin *dzetsaka: classification tool*, através do NDVI na detecção de diferentes alvos de superfície entre o reservatório de Itaparica e seu entorno, situados no município de Petrolândia, região semiárida de Pernambuco.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

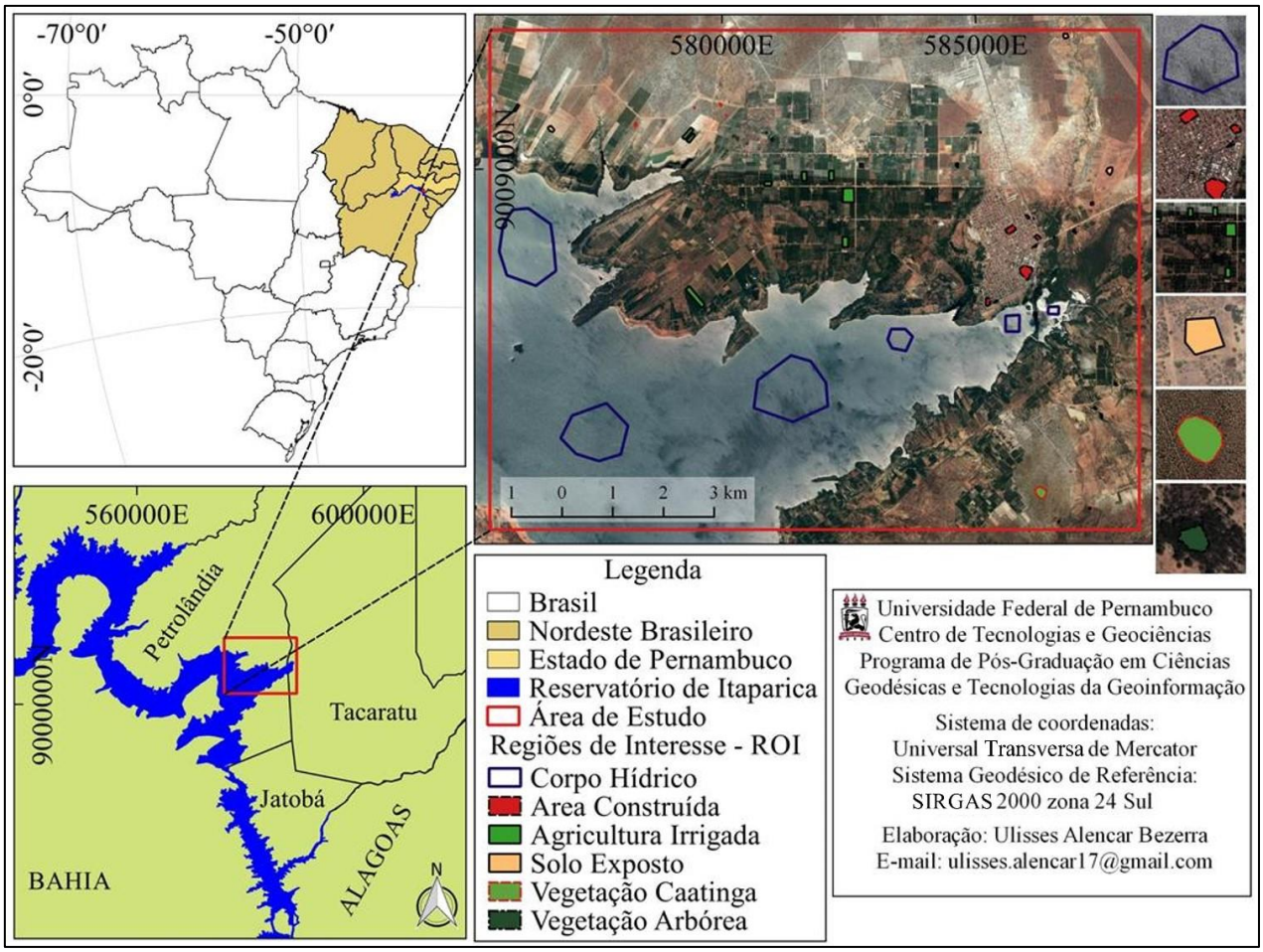
2.1 Área de estudo

O reservatório de Itaparica está localizado na região do Submédio do São Francisco entre os municípios de Glória, Rodelas e Chorrochó, no estado da Bahia, e Petrolândia, Tacaratu, Floresta, Itacuruba e Belém do São Francisco, no estado de Pernambuco, com área de 828 km² e volume total e útil de 10782 Hm³ e 3549 Hm³ respectivamente (CHESF, 2010). Para esse trabalho, a região foi reduzida para o entorno do município de Petrolândia em Pernambuco (Figura 1).

O município se localiza na mesorregião do Submédio Vale do São Francisco. Tem população estimada em 2017 de 36.108 habitantes, área de 1056,595 Km², resultando numa densidade demográfica de 30,75 hab/km². A área estudada possui clima Semiárido do tipo BSh, segundo a classificação de Koppen. A vegetação é composta por Caatinga hiperxerófila, e os solos predominantes são os Planossolos, Podzólicos e Litólicos (MATOS et al., 2015).

Na Figura 1, estão representados as Regiões de Interesse (ROI) de cada classe observada, que foram utilizadas para a Classificação Supervisionada.

Figura 1 – Localização da Área de estudo e Regiões de Interesse (ROI)



2.2 Processamento digital das imagens

Foi utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, imagem do satélite Sentinel-2 referente ao dia 07/12/2017, adquirida gratuitamente no portal Earth Explorer da USGS (United States Geological Survey). Selecionou-se imagem com cobertura mínima de nuvens. Para o processamento da imagem, determinação do índice de vegetação, classificação supervisionada, e cartas georreferenciadas, foi utilizado o software de livre acesso QGIS versão 2.14.18.

Na Tabela 1, estão representadas algumas características do satélite Sentinel-2 sensor MSI, e as bandas utilizadas neste estudo.

Tabela 1 – Características espaciais e espectrais do Sentinel-2 MSI

Características	Sentinel-2
Número de Bandas	13 (MSI)
Resolução radiométrica	12 bits
Resolução temporal	5 dias
Banda	Comprimento de onda (μm)
Vermelho (R)	Banda 4 (0,65–0,68) 10m
Infravermelho próximo (NIR)	Banda 8 (0,78–0,90) 10m

Fonte: ESA, (2017)

2.2.1 Sentinel-2 – MSI

De acordo com a Agência Espacial Europeia (ESA, 2017), as imagens do Sentinel-2 sensor MultiSpectral Instrument (MSI) Nível 1C, aquelas que estão disponíveis para os usuários, já são fornecidas na reflectância Topo de Atmosfera (Top-Of-Atmosphere - TOA).

2.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O índice de vegetação NDVI, foi processado utilizando os canais infravermelho próximo (ρ_{iv}) e vermelho (ρ_v), bandas 8 e 4 do sensor MSI Sentinel-2. O NDVI é obtido através da razão entre a diferença das reflectâncias do infravermelho próximo (ρ_{iv}) e do vermelho (ρ_v), e a soma das mesmas, conforme Equação 1.

$$NDVI = \frac{(\rho_{iv} - \rho_v)}{(\rho_{iv} + \rho_v)} \quad (1)$$

O NDVI foi desenvolvido por Rouse et al. (1973), e se constitui de um elemento importante para o estudo de mudanças ambientais, utilizando a vegetação como índice de cálculo, atribuindo à área estudada um determinado valor que dependerá do estado em que se encontra essa vegetação. Conforme Ponzoni, Shimabukuro & Kuplich (2012), valores negativos de NDVI correspondem a água; valores muito próximos de 0 correspondem a superfície não vegetada; e quanto mais próximo de 1, mais densa é a vegetação.

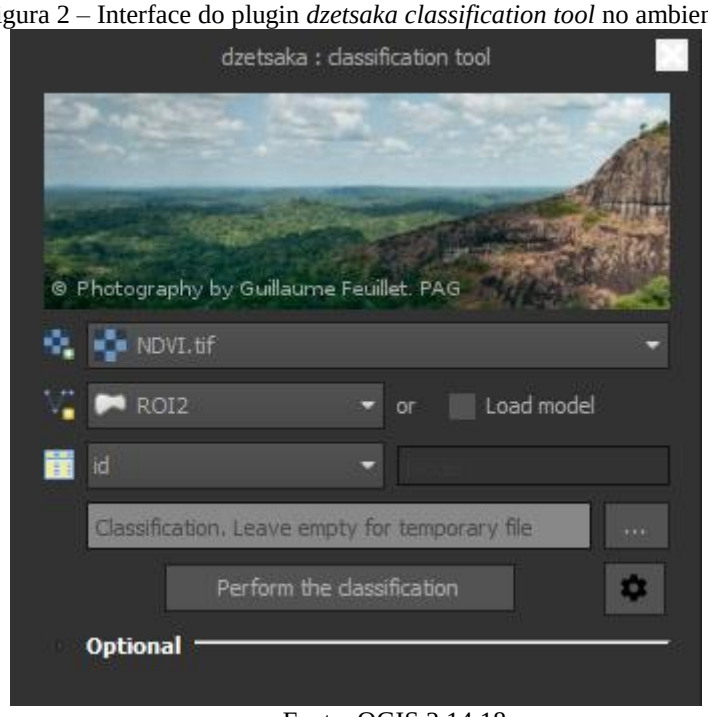
2.4 Classificação Supervisionada

Após o cômputo do NDVI, foi iniciada a etapa de Classificação Supervisionada, realizada através do plugin *dzetsaka classification tool*, que é baseado no classificador de Modelo de Mistura Gaussiano (Gaussian Mixture Models – GMM). O GMM é um dos mais utilizados e populares modelos de agrupamento, pois possui uma matemática simples, fácil de implementar e o seu pequeno número de parâmetros é fácil de ser calculado (WENLONG, JOHNSTON & MENGJIE, 2013; SILVA, 2014). Este plugin está disponível para instalação no software QGIS através do menu complementos.

Sua aplicação através do software QGIS, consistiu em definir Regiões de Interesse (ROI) por meio da seleção de amostras. Foram definidos 6 tipos de ROI, sendo elas: Corpo Hídrico; Área Construída; Agricultura Irrigada; Solo Exposto; Vegetação Caatinga e Vegetação Arbórea.

Em seguida seleciona-se o raster que se deseja classificar, no presente trabalho foi o NDVI, obtido por meio do Satélite Sentinel-2, com esses dois arquivos é possível executar o algoritmo. O resultado será um outro arquivo raster classificado. Na Figura 2, é apresentado a interface do plugin dentro do ambiente QGIS.

Figura 2 – Interface do plugin *dzetsaka classification tool* no ambiente QGIS.



Fonte: QGIS 2.14.18

A qualidade das classificações pode ser observada por meio de testes estatísticos que apontam eficiência do classificador. Para isso, a matriz de erros, ou matriz de confusão, é frequentemente utilizada. Nela, partindo-se das amostras de validação, os resultados da classificação são organizados em uma matriz quadrada de dimensão igual ao número de classes (CONGALTON & GREEN, 1991). Nessa matriz, as quantidades de pixels classificados de acordo com sua referência ficam dispostos na diagonal principal. Os restantes dos pixels são distribuídos de acordo com a

atribuição dos pixels de uma determinada classe, para as demais, pelo classificador. Como resultado dessa matriz, tem-se os índices que dimensionam a precisão da classificação (PEREIRA & TAVARES JÚNIOR, 2017).

Segundo Cohen (1960), a estatística Kappa é um coeficiente de concordância para escalas nominais que mede a proporção de concordância depois que a concordância atribuída à casualidade é desconsiderada. O coeficiente Kappa considera todos os elementos da matriz de erros ao invés de apenas aqueles que se situam na diagonal principal da mesma, ou seja, estima a soma da coluna e linha marginais.

Para avaliar o desempenho do classificador, foi utilizado o índice Kappa, e a matriz de confusão (CONGALTON, 1991). Os valores de Kappa variam de 0 a 1 (Tabela 2), onde valores próximos a 1 sugerem um processo de classificação altamente eficiente (LANDIS & KOCH, 1977).

Tabela 2 – Nível de exatidão de uma classificação, conforme o valor de índice Kappa

Índice Kappa (K)	Qualidade
< 0	Péssimo
0 - 0,20	Ruim
0,20 - 0,40	Razoável
0,40 - 0,60	Moderado a Bom
0,60 - 0,80	Muito Bom
0,80 - 1,00	Excelente

Fonte: Landis & Koch, (1977)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

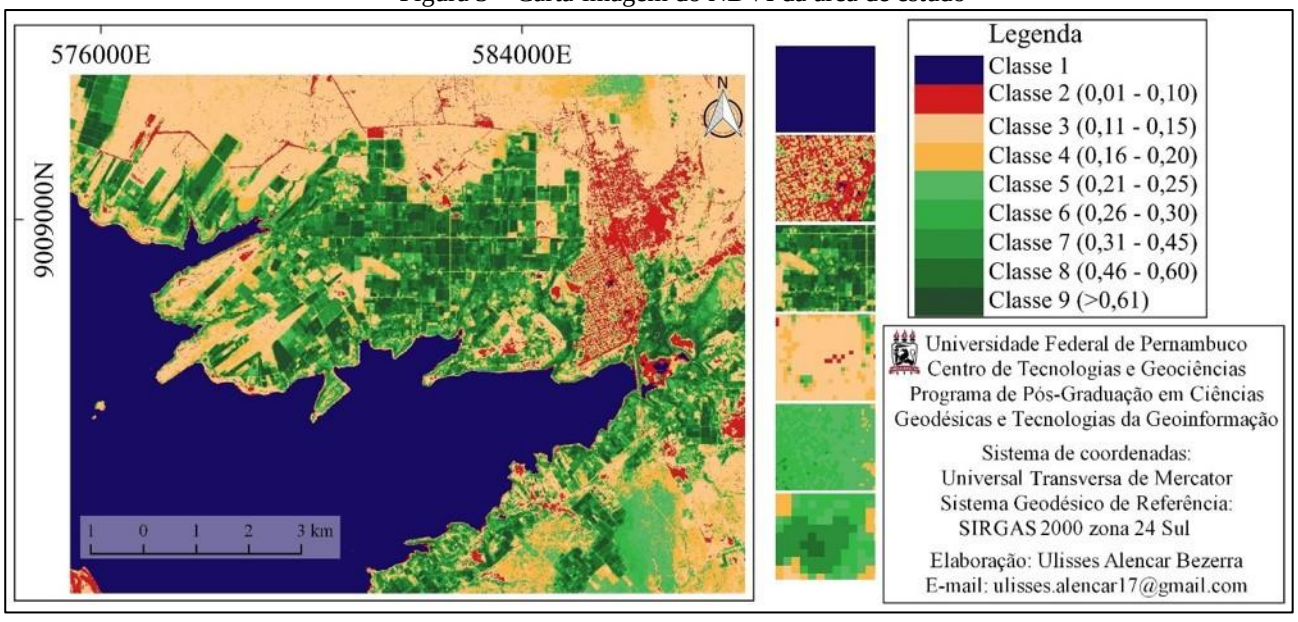
Na Figura 3 foi possível observar o NDVI calculado pelo satélite Sentinel-2 para a área de estudo. Chouhan & Rao (2011), afirmam que valores negativos de NDVI correspondem a corpos d'água, valores muito baixos (0,1 e abaixo) correspondem a áreas estéreis de rocha ou areia. Valores moderados representam arbustos e pastagens (0,2 a 0,3), enquanto valores altos indicam florestas ou vegetação mais densa (0,6 a 0,8). Baseado nas informações descritas acima a padronização da carta georreferenciada do NDVI, foram estabelecidas conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de reflectância considerando os intervalos para as classes no índice NDVI

Classes	Valor	**Classes**	Valor	**Classes**	Valor
Classe 1	< 0,00	**Classe 4**	0,16 – 0,20	**Classe 7**	0,31 – 0,45
Classe 2	0,01 – 0,10	**Classe 5**	0,21 – 0,25	**Classe 8**	0,46 – 0,60
Classe 3	0,11 – 0,15	**Classe 6**	0,26 – 0,30	**Classe 9**	>0,61

Fonte: Adaptado de Chouhan & Rao, (2011)

Figura 3 – Carta-imagem do NDVI da área de estudo



A Tabela 4 apresenta os parâmetros estatísticos para o NDVI no satélite Sentinel-2, contemplando valores menores que 0 (zero) indo até maiores que 0,77. Esses valores evidenciam feições na superfície terrestre com vegetação fotossinteticamente ativa relacionando a biomassa e o teor de clorofila presente (CARVALHO JUNIOR et al., 2009).

Tabela 4 – Valores estatísticos do NDVI do satélite Sentinel-2

Índice	Mínimo	Média	Máximo	Desv. Padrão
NDVI	-0,385	0,124	0,778	0,229

Fonte: Autor, (2018)

Após o cálculo do NDVI, foi realizada a classificação supervisionada pelo plugin *dzetsaka classification tool* (Figura 4) que apresentou um desempenho geral de 98,57% e um índice Kapaa de 91,90% (Tabela 5) que de acordo com Landis & Koch (1977) é considerado excelente. Esses resultados condizem com Pereira & Tavares Júnior, (2017) que encontraram um desempenho geral de 95,16% e um índice Kappa de 92,99% no entorno do reservatório de Itaparica utilizando o classificador por Máxima Verossimilhança (MAXVER).

Figura 4 – Carta-imagem da classificação pelo plugin *dzetsaka classification tool*

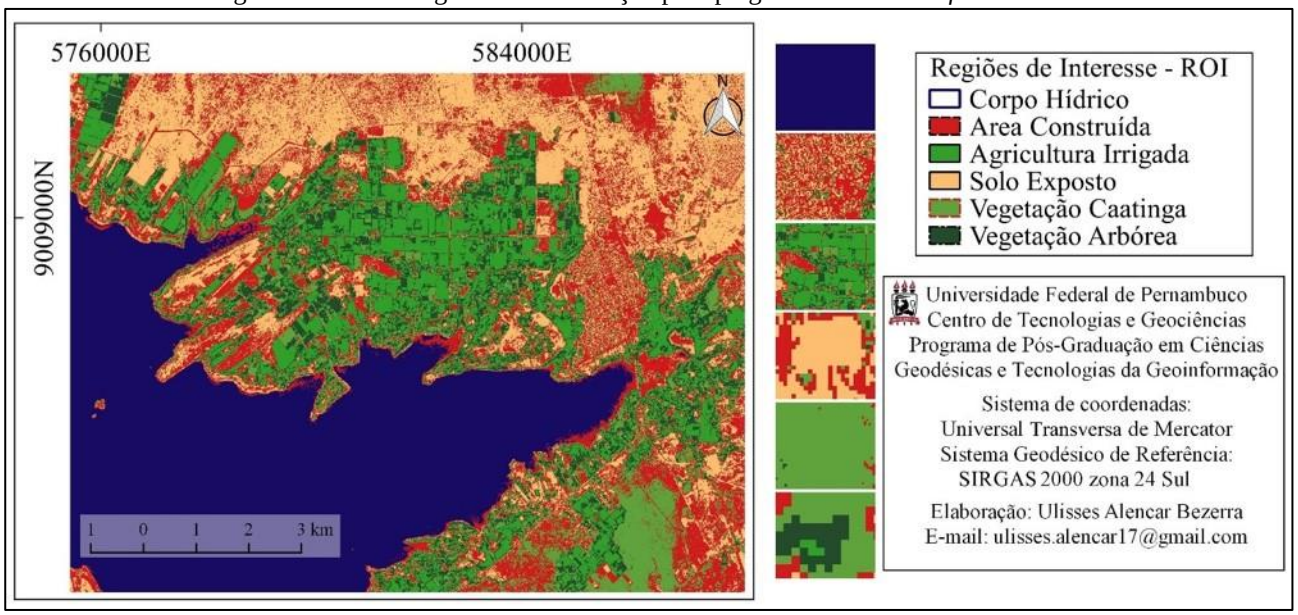


Tabela 5 – Estatísticas gerais da classificação

Desempenho Geral	98,57%
Estatística Kappa	91,90%

Fonte: Autor, (2018)

Na Tabela 6, é apresentada a Matriz de Confusão da Classificação pelo plugin *dzetsaka classification tool*. Ao se analisar a Tabela 6, observa-se que a maior confusão foi na classificação da Vegetação Arbórea, que erroneamente foi categorizada como Agricultura Irrigada, entretanto é compreensível uma vez que a região de Agricultura Irrigada tem um alto valor de NDVI, bem como a Vegetação Arbórea.

Tabela 6 – Matriz de Confusão da Classificação pelo plugin *dzetsaka classification tool*

Classes	Corpo Hídrico	Área Construída	Agricultura Irrigada	Solo Exposto	Vegetação Caatinga	Vegetação Arbórea	Soma (Linha)
Corpo Hídrico	**38894**	1	0	0	0	0	38895
Área Construída	299	**706**	0	35	13	0	1053
Agricultura Irrigada	0	0	**2048**	0	0	10	2058
Solo Exposto	0	145	0	**423**	6	0	574
Vegetação Caatinga	0	49	0	0	**389**	13	451
Vegetação Arbórea	6	10	29	0	0	**30**	75
Soma (Coluna)	39199	911	2077	458	408	53	**43106**

Fonte: Autor, (2018)

Outra maneira de observar a qualidade da classificação é por meio das exatidões do usuário e do produtor (Tabela 7). De acordo com Pereira & Tavares Júnior, (2017) a exatidão do usuário significa a proporção da quantidade de pixels classificados corretamente na categoria que lhe foi atribuída no processo de aquisição de amostras, pelo número total de pixels coletados nessa classe. Ou seja, é a porcentagem de pixels que foram classificados corretamente dentro da própria classe. Já a exatidão do produtor significa a proporção nessa classe de pontos atribuídos decorrentes de erros nas outras classes.

Tabela 7 – Exatidão do produtor e usuário

Classes	Exatidão do Produtor	Exatidão do Usuário
Corpo Hídrico	99,222%	99,997%
Área Construída	77,497%	67,047%
Agricultura Irrigada	98,604%	99,514%
Solo Exposto	92,358%	73,693%
Vegetação Caatinga	95,343%	86,253%
Vegetação Arbórea	56,604%	40,000%

Fonte: Autor, (2018)

Ao se analisar a Tabela 7 verificou-se que as classes que apresentaram maior exatidão do produtor (acima de 95%),
foram Corpo Hídrico, Agricultura Irrigada e Vegetação Caatinga, sendo assim, a maioria dos pixels que foram coletadose atribuídos a elas, realmente foram classificados como pertencentes às classes. Na exatidão do usuário, o Corpo Hídricoe Agricultura Irrigada aparece acima de 99%, dessa forma, segundo o algoritmo, nessa proporção, das vezes que umobservador visualizar um pixel referente a um corpo hídrico ou agricultura irrigada, realmente esse pixel é da classe CorpoHídrico ou Agricultura Irrigada. Essa alta exatidão do produtor ressalta o grande contraste da água com os demais alvos,pois, praticamente não houve erros de inclusão de pixels pertencentes a outros tipos de feições terrestres, fato quecorrobora com os estudos de Pereira & Tavares Júnior, (2017). A vegetação arbórea apresentou valores de 56,604% paraexatidão do produtor, e 40,000% de exatidão do usuário. Nessa classe, em virtude das suas características espectrais,
houve confusão com a agricultura irrigada.

4 CONCLUSÕES

A classificação supervisionada dos alvos estudados, por meio do plugin *dzetsaka classification tool*, utilizando NDVI, mostrou-se uma ferramenta promissora para o monitoramento de áreas distintas. Foi verificado que a classificação do plugin *dzetsaka classification tool* obteve um valor de Índice Kappa de 91,90% e Desempenho Geral de 98,57%, sendo considerado excelente.

Observou-se que as classificações supervisionadas, mesmo apresentando bom desempenho para a maioria das classes de uso do solo, incidem em áreas de confusão a partir da semelhança dos pixels de valores próximos de reflectância como vegetação arbórea e agricultura irrigada, ou área urbana e solo exposto. A classe do tipo Corpo Hídrico foi muito bem classificada pelo plugin *dzetsaka classification tool*.

Os resultados obtidos no trabalho demonstram que mesmo dispondo-se de imagens de acessível aquisição com ampla disponibilidade, sistemas abertos e livres para processamento e integração das informações, é possível a obtenção de parâmetros para compor estudos prospectivos de fatores socioambientais de grande interesse, uma vez que as informações obtidas dão subsídios aos tomadores de decisões de órgãos de planejamento territorial e ambiental.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo incentivo a pesquisa e concessão de bolsas Pós-Graduação, ao United States Geological Survey (USGS) por ceder o banco de dados utilizado no trabalho e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco.

REFERÊNCIAS

BERNARDI, H. V. F.; DZEDZEJ, M.; CARVALHO, L. M. T.; ACERBI JÚNIOR, F. W. Classificação digital do uso do solo comparando os métodos “pixel a pixel” e orientada ao objeto em imagem QuickBird. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 5595- 5602.

BEZERRA, U. A.; OLIVEIRA, L. M. M.; LEITE, A. C. S.; ALMEIDA, D. N. O.; CANDEIAS, A. L. B.; TAVARESJUNIOR, J. R. Multitemporal analysis of vegetation indices for the superior region of the Moxotó river hydrographic
basin. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, Recife, v. 7, n. 5, p. 272-283, dez. 2017.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to Remote Sensing**. New York: The Guilford Press, 622p. 1996.

CARVALHO JUNIOR, O. A.; COUTO JUNIOR, A. F.; SILVA, N. C.; MARTINS, E. S.; CARVALHO, A. P. F.;GOMES, R. A. T. Avaliação dos classificadores espectrais de mínima distância euclidiana e spectral correlation mapperem séries temporais NDVI-MODIS no campo de instrução militar de Formosa (GO). **Revista Brasileira de Cartografia**,Rio de Janeiro, v. 61, n. 4, p. 399-412, dez. 2009.

CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco. **Inventário dos Ecossistemas Aquáticos do Baixo SãoFrancisco**. Reservatório de Itaparica, 2º. Relatório Anual, Dezembro/2008 a Novembro/2009. 2010.

CHOUHAN, R.; RAO, N. **Vegetation detection in multispectral remote sensing images: Protective role-analysis ofvegetation in 2004 indian ocean tsunami**. Geo-Information for disaster management, Turkey. 2011. Disponível em:<http://www.isprs.org/proceedings/2011/Gi4DM/PDF/OP37.pdf>. Acesso: junho de 2018.

COHEN, J. A. Coeficient of Agreement for Nominal Scales. **Educational and Psychological Measurment**, v. 20, n. 1,p. 37-46, 1960.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing ofEnvironment**, v. 37, n. 01, p. 35-46, 1991.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Pratices**. NewYork: Lewis Publishers. 1991, 137p.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**, Campinas, SP, UNICAMP, ed. rev.,1992, 170p.

ESA – European Space Agency. **Sentinels Scientific Data Hub**, 2017. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2_MSI_Product_Specification.pdf> Acesso: 18 de abril de 2018.

KARASIAK, N.; PERBET, P. **Remote Sensing of Distinctive Vegetation in Guiana Amazonian Park**. In book: QGIS and Applications in Agriculture and Forest. cap. 7, p. 215-245. jan. 2017. Disponível em <http://karasiak.net/data/2017_karasiak_QGIS_EN.pdf>, acesso em 18 de julho de 2018.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. Biometrics**. International Biometric Society**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

MATOS, R. C. M.; CANDEIAS, A. L. B.; AZEVEDO, J. R. G.; HATTERMANN, F. F.; KOCH, H.; KLEINSCHMIT,B. Análise Multitemporal do Albedo, NDVI e Temperatura no entorno do Reservatório de Itaparica - PE: Anos De 1985e 2010. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia** (Online), Rio de Janeiro, v. 67, p. 545-554, 2015.

MELO, G. L.; MORAES, M.; SOBRAL, M. C.; GUNKEL, G.; CARVALHO, R. M. C. M. O. Influência de VariáveisAmbientais na Comunidade Fitoplanctônica nos Reservatórios Receptores do Projeto de Integração do Rio São Francisco.
Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 5, p. 1300-1316, 2012.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

PEREIRA, J. A. S.; TAVARES JUNIOR, J. R. Classificação supervisionada e saldo de radiação para discriminação dealvos de superfície no entorno do reservatório de Itaparica - PE. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia** (Online), Riode Janeiro, v. 6, p. 1211-1222, 2017.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da vegetação**. São José dosCampos: Editora Oficina de Textos, 2012. 135 p.

ROBINSON, N.P.; ALLRED, B.W.; JONES, M.O.; MORENO, A.; KIMBALL, J.S.; NAUGLE, D.E.; ERICKSON, T.A.& RICHARDSON, A.D.A. Dynamic Landsat Derived Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Product for theConterminous United States. **Remote Sensing**, v. 9, n. 8, p.863, ago. 2017.

ROUSE, J.W., JR.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plainswith ERTS**. In: Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, National Aeronautics and SpaceAdministration, Washington DC, NASA SP-351, v. 1, p. 309-317. 1973.

SILVA, S. S. **Segmentação de imagens utilizando combinação de modelos de misturas Gaussianas**. 79 f. Dissertação
(Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2014.

WENLONG, F.; JOHNSTON, M.; MENGJIE, Z. Gaussian mixture models and information entropy for imagesegmentation using particle swarm optimisation. In: IMAGE AND VISION COMPUTING NEW ZEALAND (IVCNZ),
28th International Conference on Image and Vision Computing New Zealand, p. 328 - 333. 2013.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

COMPARAÇÃO DE ÍNDICES FÍSICOS PARA O MONITORAMENTO DO VOLUME DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS

EVELY FERREIRA DO NASCIMENTO
LAÍZY DE SANTANA AZEVEDO
ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
evelyfnascimento@hotmail.com, laizy_azevedo@hotmail.com, analucia@ufpe.com

RESUMO – Reservatórios de água possuem uma dinâmica constante e por isso é necessário que sejam monitorados continuamente. Nesse contexto, o sensoriamento remoto combinado a técnicas de processamento digital de imagens oferece ferramentas como subsidio para obtenção de informações que auxiliam na gestão dos recursos hídricos. Este trabalho apresenta uma comparação entre os índices físicos NDWI (Índice de Água por Diferença Normalizada) e NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) para cálculo do volume de água em reservatórios. A área de estudo compreende ao Reservatório Engenheiro Francisco Saboia, localizado no Município de Ibimirim, Pernambuco-Brasil. A validação dos resultados foi feita através de dados disponibilizados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e Agência Nacional de águas (ANA). A metodologia mostrou-se eficiente no monitoramento do volume de águas em reservatório, tendo o NDWI uma contribuição positiva na precisão dos resultados destacando-se em relação ao NDVI, pois, o NDWI apresentou uma discrepância de 1,5 % em relação aos valores oficiais, enquanto que o NDVI apresentou diferença de 8,7%.

ABSTRACT - Water reservoirs have a constant dynamic and therefore they need to be continuously monitored. In this context, remote sensing combined with digital image processing techniques offers tools as a subsidy to obtain information that assists in the management of water resources. This paper presents a comparison between the physical indexes NDWI (Normalized Difference Water Index) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) to calculate the volume of water in reservoirs. The study area comprises the Engenheiro Francisco Saboia Reservoir, located in the Municipality of Ibimirim, Pernambuco-Brazil. The validation of the results was done through data provided by the Pernambuco State Agency for Water and Climate (APAC) and the National Water Agency (ANA). The methodology was efficient in monitoring the volume of water in the reservoir, with NDWI contributing positively to the accuracy of the results, standing out in relation to the NDVI, since the NDWI presented a discrepancy of 1.5% in relation to the official values , whereas the NDVI presented a difference of 8.7%.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos, Pernambuco é constituído por 29 Unidades de Planejamento (UP) Hídrico, sendo elas: 13 Bacias Hidrográficas, 06 Grupos de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos, 09 Grupos de Bacias de Pequenos Rios Interiores e uma bacia de pequenos rios que compõem a rede de drenagem do arquipélago de Fernando de Noronha. Praticamente todas as bacias hidrográficas pernambucanas localizam-se dentro dos limites do Estado, com exceção das bacias dos rios Una, Mundaú, Ipanema e Moxotó que contem parte de sua área de drenagem no Estado de Alagoas. Além destas, também existem pequenas bacias compartilhadas com os Estados do Ceará.

O Brasil é dividido em 12 regiões hidrográficas segundo o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Dentre elas, destaca-se a Região do São Francisco em que cerca de 58% do seu território localiza-se no Semiárido, com registro de períodos críticos de estiagem. A ANA em conjunto com agências e instituições estaduais acompanham e monitoram Reservatórios de água de todo Brasil. Conforme dados fornecidos em boletins da ANA, o ano de 2017 foi o sexto ano consecutivo em que os açudes da Região Nordeste do Brasil se encontravam em situação crítica, em termos de disponibilidade hídrica.

Segundo Lima et al. (2017), o sensoriamento remoto é uma eficiente ferramenta para estudos ambientais e os corpos hídricos possuem elementos que oferecem grande potencial para aplicação das técnicas de sensoriamento remoto.

A água é um recurso essencial à vida e como os reservatórios tem a função de armazená-la, é preciso que eles mantenham um volume útil e que sejam constantemente monitorados a fim de atender as demandas necessárias (SOUZA et al ,2017).

Eilander et al. (2014) afirmam que pequenos reservatórios são importantes para a subsistência em regiões semiáridas rurais e que para gerenciar, planejar e avaliar seu impacto hidrológico em uma escala de bacia hidrográfica, é importante monitorar sua dinâmica de armazenamento de água.

Índices físicos são bastante utilizados para estudo da cobertura do solo, entre os quais estão NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e o NDWI (Normalized Difference Water Index). O NDVI aproveita a condição onde a presença de características que têm maior refletância no infravermelho e menor refletância de luz vermelha (por exemplo, vegetação terrestre) serão melhorados, enquanto que aqueles com baixa reflectância de luz vermelha e reflectância de NIR muito baixa (por exemplo, água) serão suprimidos ou mesmo eliminados (MCFEETERS,1996). O NDWI, no entanto, utiliza outra faixa do espectro eletromagnético com o objetivo de melhorar apenas a característica da água.

Para isso, neste trabalho foi feita uma comparação entre o volume de água no Reservatório Engenheiro Francisco Saboia obtido através dos índices físicos NDWI e NDVI para uma data de 2013 e outra de 2015. Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, sensor OLI, e dados de volume diários fornecidos pela ANA e APAC para validação dos resultados obtidos.

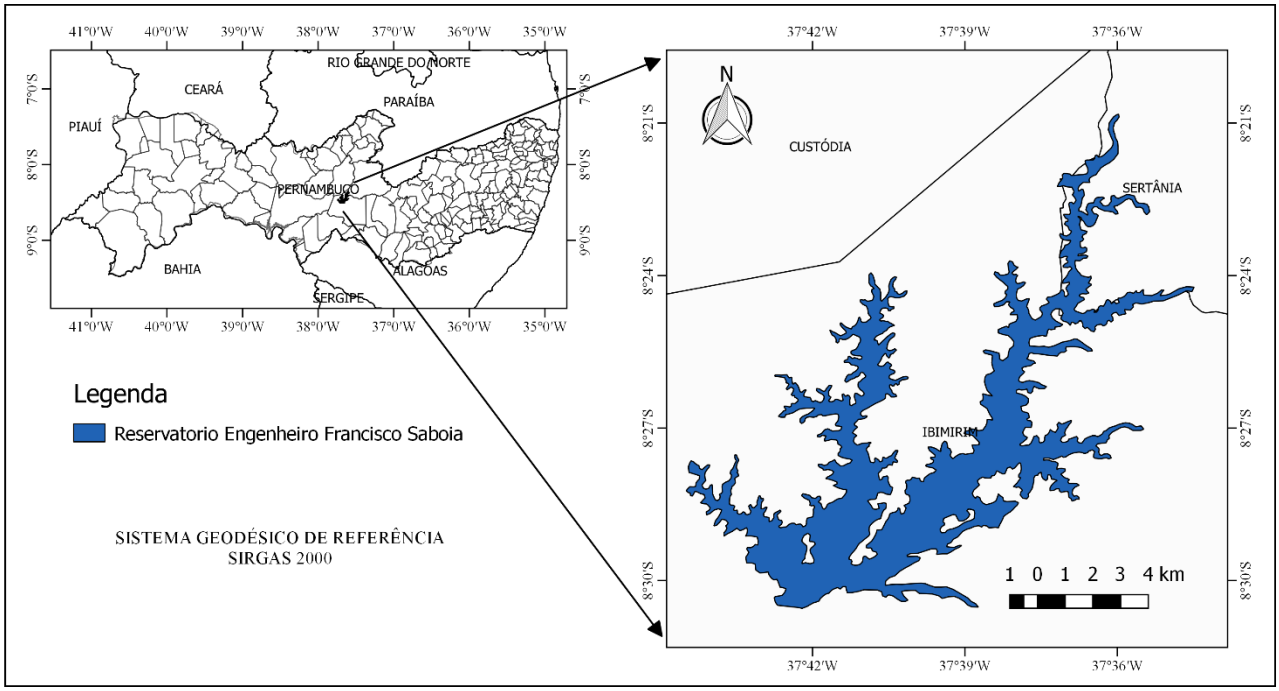
2 METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Área de estudo

A área de estudo desta pesquisa compreende ao Reservatório Engenheiro Francisco Saboia localizado no Município de Ibimirim, Pernambuco - Brasil. Ele é considerado o maior reservatório de água de Pernambuco, com capacidade superior a 500 milhões de metros cúbicos. Sua principal função é prover o abastecimento de água para consumo e irrigação.

Popularmente conhecido como açude Poço de Cruz, foi construído em 1957, faz parte da bacia Hidrográfica do Moxotó e da Região Hidrográfica do São Francisco (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: os autores (2018)

2.2 Processamento dos dados

As imagens do satélite Landsat 8 da região de Ibimirim-PE, Brasil foram obtidas através do site do USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos). Escolheu-se imagens de duas datas distintas levando em consideração a presença mínima de nuvens nas proximidades do Reservatório Engenheiro Francisco Saboia. As datas da imagem foram 10 de dezembro de 2013 e 14 de janeiro de 2015 com órbita 215 e ponto 66.

Inicialmente, as imagens foram importadas para o software QGIS, versão 2.8.9. Esse software e livre, tem código fonte aberto e dentre suas funcionalidades também estão inclusas ferramentas para processamento de imagens. Em uma primeira etapa, trabalhou-se no QGIS através da calculadora raster fazendo-se operações aritméticas com as imagens. Através das Equações 1 e 2 calculou-se a reflectância para as bandas utilizadas na obtenção dos Índices, e o NDVI e NDWI através das equações 3 e 4.

Os modelos de cálculo da reflectância monocromática do sensor OLI e a conversão em reflectância planetária foram obtidos no site da United States Geological Survey (USGS), disponível em <http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php> . A Reflectância é obtida a partir do coeficiente de reescalonamento de reflectância informado no arquivo metadados da imagem (MTL file), utilizando a Equação 1.

$$\rho\lambda'_i = M_{pi} * Q_{cal} + A_p \quad (1)$$

Em que: $\rho\lambda'_i$ é a reflectância planetária sem a correção do ângulo solar; M_{pi} é o fator multiplicativo de cada banda, encontrado no arquivo metadados (REFLECTANCE_MULT_BAND_i); A_p é o coeficiente de adição encontrado no arquivo metadados (REFLECTANCE_ADD_BAND_i); i refere-se ao número da banda; Q_{cal} são os números digitais correspondentes a cada banda da imagem.

Para corrigir a reflectância de acordo com o ângulo zenital, utiliza-se a Equação 2.

$$\rho\lambda_i = \frac{\rho\lambda'_i}{\mathrm{Sen}(\theta_{SE})} \quad (2)$$

Em que: $\rho\lambda_i$ é a reflectância planetária com a correção do ângulo zenital; θ_{SE} é o de elevação solar; d é distância Terra-Sol; presente no arquivo metadados.

O NDVI foi obtido através do modelo proposto por Rouse et. Al (1973), em que este é obtido a partir da razão entre a diferença das reflectâncias do infravermelho próximo (ρ_{iv}) e do vermelho (ρ_v), e a soma das mesmas (Equação 3) e o NDWI através da Equação 4, onde ρ_{vd} é a reflectância do verde.

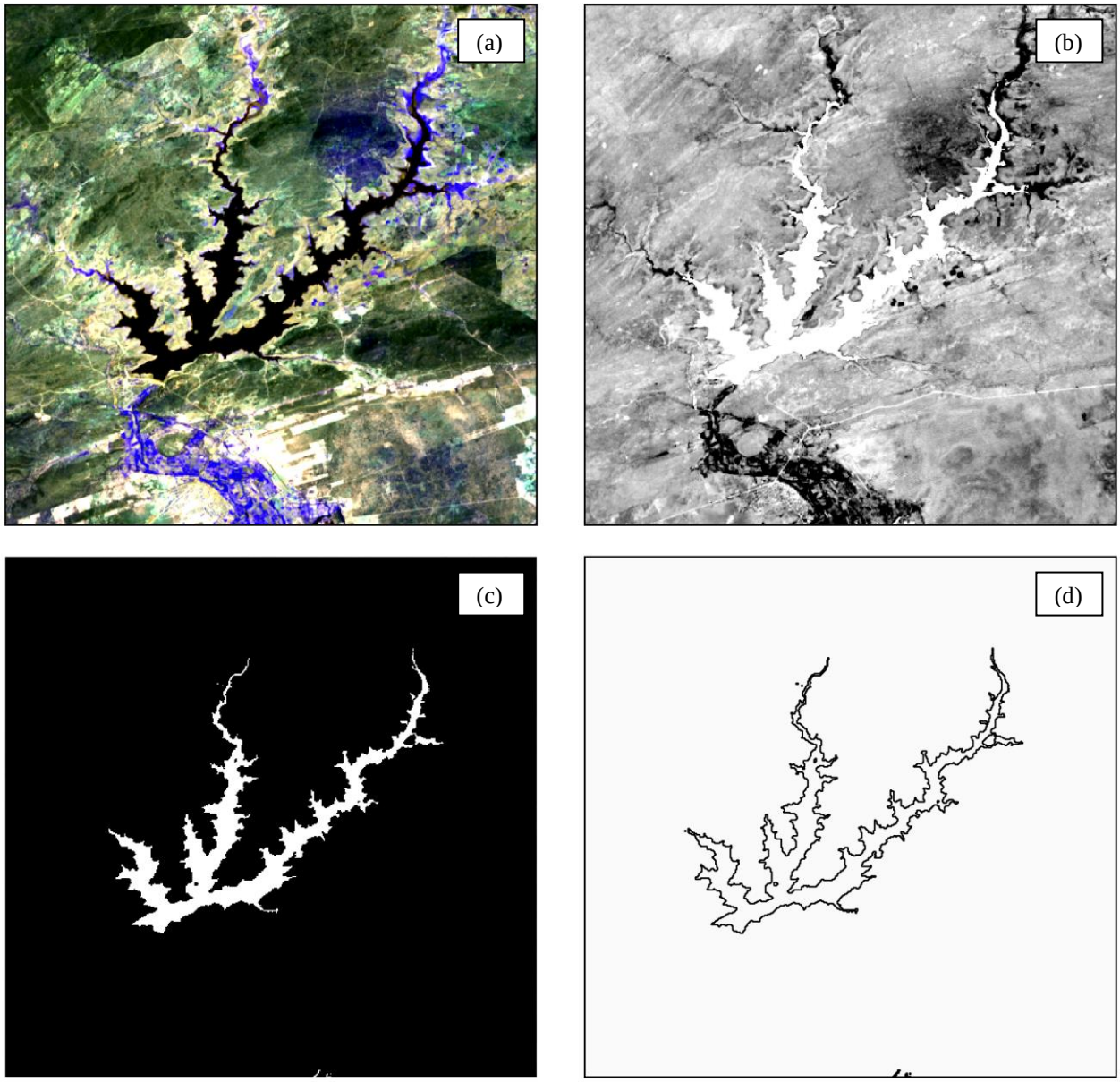
$$\mathrm{NDVI} = \frac{(\rho_{iv} - \rho_v)}{(\rho_{iv} + \rho_v)} \quad (3)$$

$$\mathrm{NDWI} = \frac{(\rho_{vd} - \rho_v)}{(\rho_{vd} + \rho_v)} \quad (4)$$

Após isso, os valores dos pixels de água no reservatório foram identificados e estabeleceu-se um limiar com o objetivo de identificar apenas a feição água. Conforme Mcfeeters (1996), para NDVI corpos hídricos corresponde áreas com valores negativos e para NDWI são as regiões com valores positivos que estão associadas a água. Porém, os valores limites para distinguir a água são instáveis e variam de acordo com a cena e localização, sendo assim, após uma comparação visual e seleção de algumas amostras, foram estabelecidos os limiares. Para NDVI foram valores menores que -0.16 e -0,18 e para NDWI valores maiores que -0,25 e -0,26, para os anos de 2013 e 2015 respectivamente. Este limiar foi estabelecido para fazer a comparação entre eles, em que os cálculos também foram feitos através da calculadora raster do QGIS e desta forma obtivemos uma imagem binária onde a feição água tinha cor branca e outros alvos cor preta.

Em seguida, foi feito o recorte da cena selecionando-se apenas o trecho de interesse abrangendo o reservatório e o seu entorno. Na Figura 2 podem ser vistas algumas das etapas realizadas na execução deste trabalho. O raster recortado foi vetorizado automaticamente por meio da ferramenta ‘raster para vetor’. Uma vez que o vetor já tinha sido adquirido, obtém-se a área através da calculadora de campo, na tabela de atributos.

Figura 2 – Algumas etapas envolvidas na metodologia para cálculo do NDWI. (a) composição colorida R (5), G(4), B(3), (b) índice NDWI, (c) imagem binária com destaque do alvo de interesse, (d) vetor da superfície da água



Fonte: os autores (2018)

Todos esses processos foram realizados nas imagens das duas datas distintas para cálculo do NDWI e NDVI. As áreas obtidas foram interpoladas linearmente com dados da curva cota x área x volume a fim de obtermos o volume do Reservatório Engenheiro Francisco Saboia no dia correspondente a data das imagens.

2.3 Curva Cota x Área x Volume

Estigon et al. (2015) definem esta curva como sendo a relação entre cota (termo utilizado pela Hidrologia para definir altitude, neste caso cota possui o significado de profundidade relacionada e um marco de referencial altimétrico conhecido em relação ao nível do mar), a área do espelho d'água e o volume a ela associados.

Todos os reservatórios deveriam possuir uma curva Cota x Área x Volume, porém no Brasil, grande parte dos reservatórios não possuem uma sistemática contínua para estimativa de sua batimetria. Em muitos casos, a informação

disponível refere-se a curvas cota-área-volume estimadas na época do projeto do açude, o que pode levantar dúvida sobre a consistência da informação.

Informações a respeito dessa curva referente a reservatórios no Brasil podem ser obtidas no site da ANA e das agências e instituições estaduais como a APAC, no caso do estado de Pernambuco. Os dados da curva do reservatório estudado podem ser vistos na tabela 1.

Tabela 1 – Dados da curva Cota x Área x Volume do Reservatório Engenheiro Francisco Saboia.

Cota	Área	Volume
398	0	0
400	12.250	12.250
402	117.750	142.250
404	294.000	554.000
406	519.500	1.367.500
408	842.500	2.729.500
410	1.462.750	5.034.750
412	2.319.500	8.817.000
414	3.600.750	14.737.250
416	5.307.500	23.645.500
418	7.552.250	36.505.250
420	10.465.750	54.523.250
422	14.172.750	79.151.750
424	18.621.000	111.955.500
426	24.025.750	154.602.250
428	29.542.000	208.170.000
430	36.037.000	273.749.000
432	43.230.000	353.016.000
434	51.747.500	447.993.500
436	60.427.750	560.168.750
438	69.483.000	690.079.500

Fonte: APAC (2018)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2, são apresentados os resultados das áreas detectadas através do processamento das imagens para o NDWI e NDVI. Neste caso foi feita uma comparação entre as áreas detectadas nas imagens de satélite a as áreas estimadas para as datas de aquisição das imagens com base na curva Cota x Área x Volume.

Tabela 2 – Comparação entre as áreas estimadas e detectadas por NDWI e NDVI

Imagens	Área detectada NDWI (m^2)	Área detectada NDVI (m^2)	Área estimada (m^2)	Diferença entre Área estimada-NDWI (m^2) %	Diferença entre Área estimada-NDVI (m^2) %
Data de 10 de dezembro de 2013	11992000,00	11247300,00	11800270,00	+1,02	-4,69
Data de 14 de janeiro de 2015	7155600,00	6272100,00	7058405,00	+1,38	-11,13

Fonte: os autores (2018)

Calculou-se a área estimada por interpolação linear entre dados diários, a respeito do reservatório Engenheiro Francisco Saboia, da curva cota x área x volume disponibilizados pela APAC. Por meio da tabela 2, percebe-se uma melhora no resultado de área do reservatório obtido a partir da imagem gerada pelo índice físico NDWI quando comparado

com os dados da APAC. A partir das áreas detectadas nas imagens de datas distintas, obteve-se o volume em m³ por meio de interpolação linear. Esse volume foi comparado com o volume publicado nos relatórios diários da APAC paras as mesmas datas de aquisição das imagens (tabela 3).

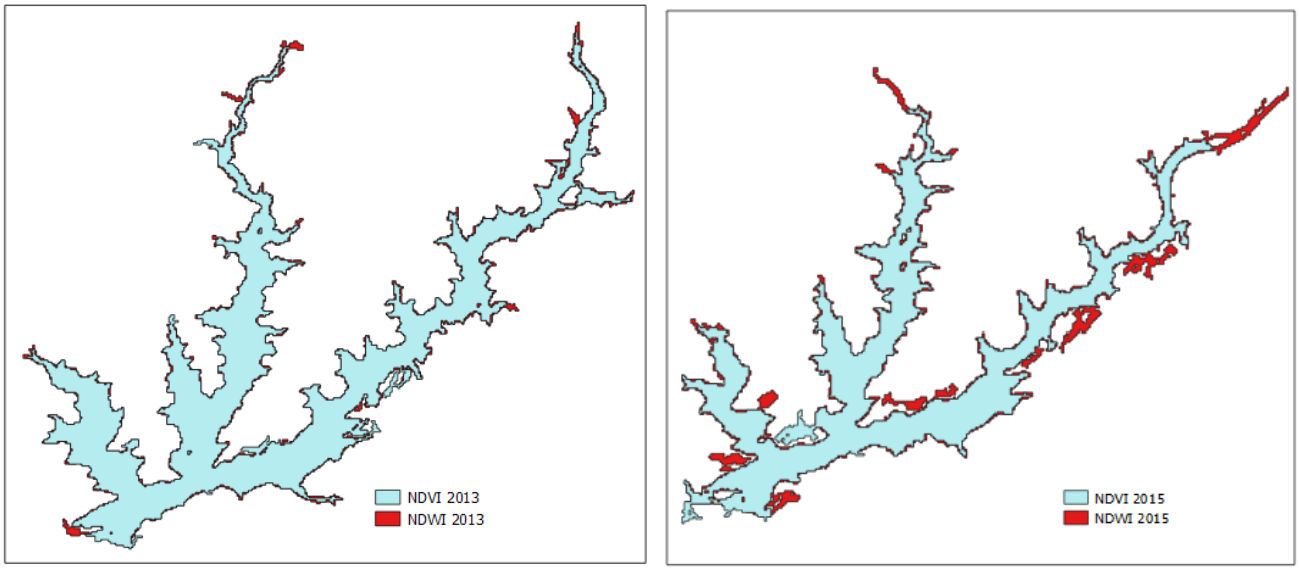
Tabela 3 – Comparação entre os volumes estimados e detectados por NDWI e NDVI

Imagens	Volume detectado NDWI (m³)	Volume detectado NDVI (m³)	Volume publicado APAC (m³)	Diferença dos volumes APAC-NDWI (m3) %	Diferença dos volumes APAC-NDVI (m3) %
Data de 10 de dezembro de 2013	64663322,33	59715697,85	63389510,00	+2,00	-5,80
Data de 14 de janeiro de 2015	34232916,85	29171511,74	33676105,00	+1,65	-13,37

Fonte: os autores (2018)

A discrepância no volume do reservatório de acordo com os dados publicados é menor quando obtido a partir de informações das imagens de NDWI. Foi feita a sobreposição entre os espelhos d'água obtidos por NDWI e NDVI conforme mostrado na figura 3.

Figura 3 – Sobreposição do espelho d'água obtido por NDWI e NDVI para 2013 e 2015.



Fonte: os autores (2018)

4 CONCLUSÕES

Este trabalho estudou a aplicabilidade de dois índices físicos, NDVI e NDWI, para cálculo do volume de água em reservatórios. O potencial de cada um desses índices foi verificado em relação a obtenção da área alagada empregando imagens orbitais do Landsat 8-OLI.

Os resultados obtidos comprovam a eficiência das ferramentas de sensoriamento remoto no auxílio ao controle e monitoramento de reservatórios. Foi possível perceber que o volume obtido através do índice físico NDWI foi mais próximo do volume publicado pela APAC, referentes as mesmas datas das imagens. Enquanto o NDWI apresentou resultados cerca de 1,5 % maiores em relação aos valores oficiais, o NDVI apresentou valores 8,7% menores. Esses dados reafirmam a principal função do NDWI, que é ressaltar corpos de água e minimizar o restante dos alvos, sendo portanto, esperado que este apresentasse melhores resultados que o NDVI, cujo destaque maior é para a vegetação. Com base na

metodologia utilizada, é importante destacar que que as informações disponibilizadas pala ANA e pela APAC, serviram como ferramenta fundamental para a validação dos resultados obtidos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela bolsa de Iniciação Científica do primeiro autor (EDITAL FACEPE 03/2017 – PIBIC/FACEPE – 2017, ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) pela disponibilização gratuita das imagens utilizadas na pesquisa e Agência Nacional de águas (ANA) e Agência Pernambucana de águas e Clima (APAC) pelos dados referentes ao acompanhamento do Reservatório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA (Agência Nacional de Águas). **Divisões Hidrográficas do Brasil**. Disponível em<http://www3.ana.gov.br/panorama-das-aguas/divisoes-hidrograficas>. Acesso em 05 de julho de 2018.

APAC (Agência Pernambucana de Águas e Climas). **Ficha técnica com cota e volume de reservatórios**. Disponível em< http://200.238.109.99:8080/apacv5/fichareservatorio_web/fichareservatorio_web.php>. Acesso em 05 de julho de2018.

BRENNER, V. C. y GUASSELLI, L. A. **Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação demeandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS – Brasil**. Disponível em<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0727.pdf>. Acesso em

EILANDER, D; ANNOR, F. O; IANNINI, L. y GIESEN, N. V. **Remotely Sensed Monitoring of Small ReserviorDynamics: A Bayesian Approach.** Disponível em <http://www.mdpi.com/2072-4292/6/2/1191/htm>. Acesso em 07 dejulho de 2018. Acesso em 07 de julho de 2018.

ESTIGON, M. V.; MATOS, A. J. S. y MAUAD, F. F. **Análise da Orientação da ANA para Atualização das CurvasCota-área-volume de Reservatórios.** Disponível em<https://www.researchgate.net/publication/274062862_Artigo_completo >. Acesso em 08 de julho de 2018.

GAO, H; BIRKETT, C y LETTENMAIER, D. P. **Global Monitoring of Large Reservior Storage from SatelliteRemote Sensing**. Disponível em <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2012WR01206>. Acessoem 07 de julho de 2018.

LIMA, T. S; CANDEIAS, A. L. B y CUNHA, M. C. C. **Bioindicadores e Sensoriamento Remoto como Subsídios àGestão dos Recursos Hídricos no Semiárido Brasileiro**. Disponível em< https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234201/pdf >. Acesso em 08 de julho de 2018.

MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features.
International Journal of Remote Sensing, v.17, n.7, p.1425-1432, jan. 1996.

Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco, Brasil. Disponível em <<http://www.srhe.pe.gov.br/attachments/article/458/volume1.pdf>. Acesso em 09 de julho de 2018.

ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A., DEERING, D.W., 1973. **Monitoring the vernal advancement andretrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Prog. Rep. RSC 1978-1. Remote Sensing Cent. Texas A&MUniversity, College Station. Disponível em: < https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19730017588.pdf> .Acesso em Julho de 2018.

SOUZA, A.G.S.S.; ALMEIDA, F.F; VIANA, J.F.S; RIBEIRO NETO, A. **Aplicação do produto MOD13Q1 do sensorMODIS para o cálculo de área e volume do reservatório de Sobradinho-Bahia-Brasil**. Disponível em<http://marte2.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/marte2/2017/10.27.13.57.53 >. Acesso em 07 de julho de 2018.

ZHAI, K.; WU, X.; QIN, Y.; DU, P.; **Comparison of surface water extraction performances of different classic waterindices using OLI and TM imageries in different situations.** Disponível em: < https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10095020.2015.1017911>. Acesso em 18 de julho de 2018.

COMPARAÇÃO DOS ÍNDICES FÍSICOS, NDVI E SAVI, EM IMAGENS DE DIFERENTES SENSORES.

JESSICA ADRIAN LIMA FARIAS 1
RAYANE CAVALCANTI FONSECA 2
JOÃO RODRIGUES TAVARES JÚNIOR 3

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
jessica.l.farias@gmail.com , rayane.fonseca@outlook.com, rodriguesjoao380@gmail.com

RESUMO - Este trabalho objetivou determinar a diferença dos alvos, solo exposto e vegetação, através dos índices de vegetação NDVI e SAVI, obtidos a partir de diferentes sensores. Utilizando uma área de estudo, localizada na região do semiárida, sertão de Pernambuco. Foram selecionadas duas imagens, uma do sensor MUX e outra do sensor OLI, ambas referente a órbita/ponta 216/66. Utilizou-se 25 pontos homólogos de amostras de número digital e reflectância para cada categoria. Procedeu-se a correção atmosférica das cenas e, após seu pré-processamento, foram geradas imagens dos índices NDVI, SAVI. A partir disso, identificou-se o padrão de resposta referente a cada sensor. Observa-se uma discrepância nos dados amostrais, comparando os dois índices para o sensor MUX, e uma proximidade nas respostas dos pontos amostrais de reflectância para categoria de vegetação entre os dois índices, quando analisado no sensor OLI. O Desvio-padrão do NDVI para a vegetação do sensor OLI apresentou maior valor, aproximadamente 0,126 o que significa uma maior dispersão em relação à média amostral. A partir dos resultados discutidos conclui-se que, apesar das leituras dos pontos homólogos serem as mesmas, cada sensor apresentou respostas distintas na comparação dos índices. O sensor OLI apresentou valores e comportamento amostral em ambas as categorias.

ABSTRACT -The objective of this work was to determine the difference of the targets, exposed soil and vegetation, through NDVI and SAVI vegetation indices, obtained from different sensors. Using a study area, located in the semi-arid region, serto of Pernambuco. Two images were selected, one from the MUX sensor and one from the OLI sensor, both referring to the orbit / tip 216/66. 25 homologous points of digital number and reflectance samples were used for each category. Atmospheric correction of the scenes was performed and, after its pre-processing, images of the NDVI, SAVI indices were generated. From this, the response pattern for each sensor was identified. A discrepancy is observed in the sample data, comparing the two indices for the MUX sensor, and a proximity in the responses of the reflectance sample points for vegetation category between the two indexes when analyzed in the OLI sensor. The NDVI standard deviation for OLI sensor vegetation presented a higher value, approximately 0.126 which means a greater dispersion in relation to the sample mean. From the results discussed, it was concluded that, although the readings of the homologous points were the same, each sensor presented different responses in the index comparison. The OLI sensor presented values and sample behavior in both categories.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de sensoriamento remoto possibilita realizar levantamentos de diversas áreas em um vasto campo de aplicações, principalmente por áreas ocupadas pela vegetação natural, podendo obter resultados referente a sua caracterização e tipos de vegetação (PONZONI, SHIMABUKURO, 2007; TEIXEIRA, CANDEIAS e TAVARES JUNIOR, 2017).

Umas das ferramentas mais empregadas na literatura são os índices de vegetação, devido a capacidade de identificação nas mudanças de cobertura vegetal, por explorar as propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo (PONZONI, SHIMABUKURO, KUPLICH, 2015). Os índices obtidos por Sensoriamento Remoto, segundo Jensen (2009), são medidas radiométricas adimensionais e sua utilização facilitar na identificação e na obtenção de informações sobre a cobertura do solo.

Dentre os índices de refletância, o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, índice de vegetação por diferença normalizada) é considerado um bom estimador de biomassa, sendo um dos mais conhecidos e utilizados para o monitoramento da vegetação (COLTRI et al., 2009; XIAO et al., 2015). Este índice está relacionado principalmente a parâmetros biofísicos da vegetação, no entanto, existem problemas relacionados a fatores externos, como as características dos solos. Para reduzir o efeito do solo, Huete (1988) propôs o uso de um fator de ajuste do solo para explicar as variações do solo de primeira ordem e obteve um índice de vegetação ajustado ao solo SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index, índice de vegetação ajustado ao solo).

O sensoriamento remoto, juntamente com índices de vegetação, apresenta-se como um dos principais instrumentos de verificação e monitoramento da mata ciliar, com importantes resultados, servindo de subsídios para tomadas de decisão de gestores e atores sociais envolvidos com o meio ambiente (DUARTE et al., 2007; MASCARENHAS et al., 2009).

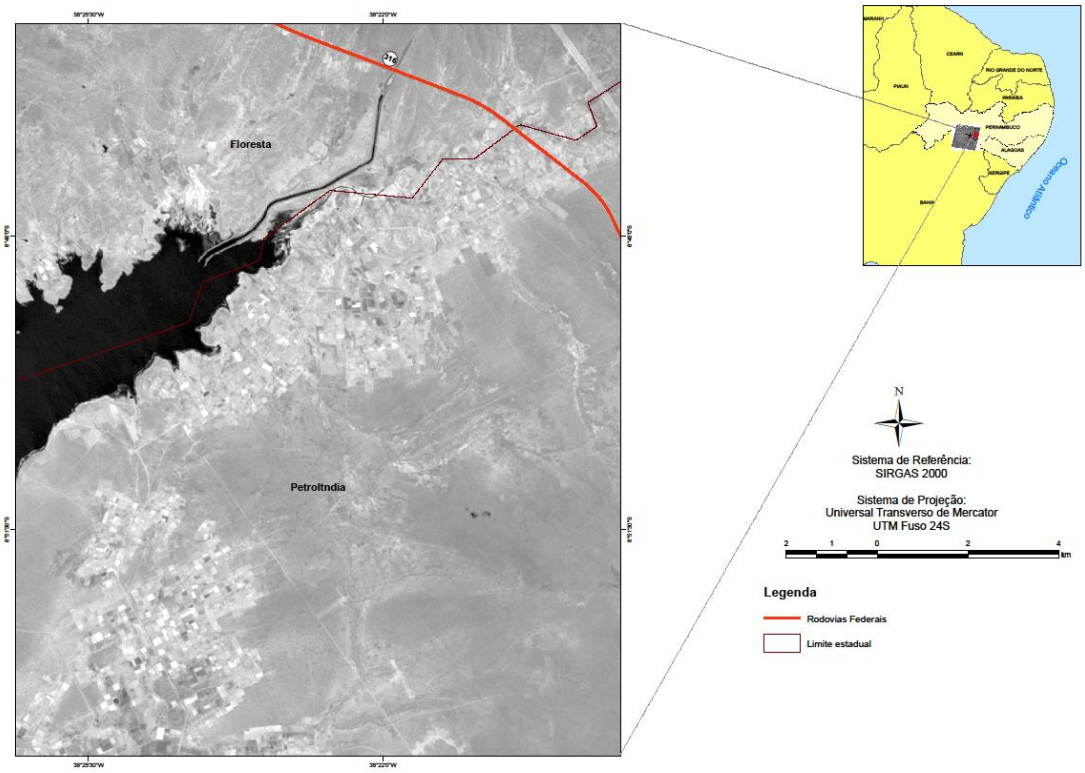
Considera-se como objetivo central deste trabalho determinar e quantificar a diferença dos alvos, solo exposto e vegetação, nos índices físicos, NDVI e SAVI obtidos a partir de dois produtos de sensores diferentes (MUX e OLI).

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Área de estudo

O retângulo envolvente da área de estudo está entre latitudes s 8º 54’ 40” e s 8º 45’ 12” e longitudes o 38º 26’ 26” e o 38º 18’54” (Figura 1) e encontra-se no município de Petrolândia, Pernambuco, que possui área de 1088,2 km², distante aproximadamente a 488,9 km de Recife, e está localizado na região semiárida no sertão de Pernambuco, na Microrregião de Itaparica (CONDEPE/FIDEM, 2015).

Figura 1**:** Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

Entre as atividades econômicas da cidade destacam-se, agricultura na produção de fruticultura irrigada, o comércio, a indústria, a pecuária, a piscicultura e o turismo (PREFEITURA DE PETROLÂNDIA, 2015). Em relação as características vegetais, o município é composto por caatinga hiperxerófila, formada por espécies vegetais com elevada capacidade de retenção de água. “Durante a estação mais quente perdem, a folhagem e têm bastante reduzido o seu metabolismo vegetal” (PARAHYBA et al., 2004).

2.2 Pré-processamento

As imagens de satélite usadas para este estudo foram dos satélites LANDSAT 8 sensor OLI e CBERS 4 sensor MUX, ambas referente ao órbita/ponto 216/66, a do sensor OLI foi adquirida pelo site do United States Geological Survey (USGS) e datada em 23/11/2016. Os produtos fornecidos para a plataforma LANDSAT 8 são imagens ortorretificadas, disponibilizadas em um catálogo, com diferentes valores de números digitais e que são convertidos em radiância no sensor por meio de funções e uso de fatores de escala (PARASTATIDIS et al., 2017). E a imagem do sensor MUX, foi adquirida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e corresponde a data de 09 de abril de 2016.

Com o uso do software de geoprocessamento SPRING 4.5.3 foi delimitada a área de estudo, desenvolvido as etapas de correções e transformações radiométricas e atmosférica, posteriormente foi elaborado os mapas temáticos de índices de vegetação, no software QGIS 2.8.1.

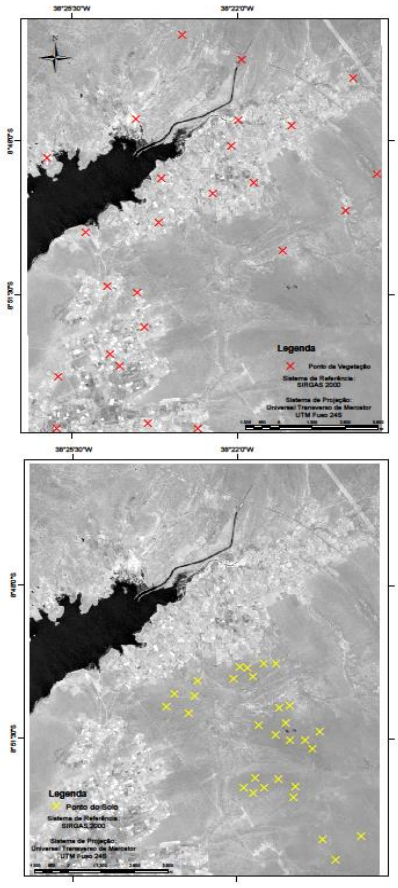
As imagens OLI tem 30 m por pixel, 16 bits de resolução radiométrica (65536 níveis de cinza), estando no sistema geodésico de referência WGS84 (*World Geodetic System 1984*, elipsoide de referência GSR80, *Geodetic Reference System 1980*), e sistema de projeção UTM (Universo Transverso de Mercator), zona 24, fuso -33°. As bandas espectrais utilizadas (valores em micrometros) foram a da faixa do azul (B1, 0,452 – 0,512 mμ), verde (B3, 0,533 – 0,590 mμ), vermelho (B4, 0,636 – 0,673 mμ), e infravermelho próximo (B5, 0,851 – 0,879 mμ).

A imagens MUX tem 20 m por pixel, 8 bits de resolução radiométrica (256 níveis de cinza), as bandas espectrais utilizadas (valores em micrometros) foram a da faixa do azul (B05, 0,45-0,52 mμ), verde (B06, 0,52-0,59 mμ), vermelho (B07, 0,63-0,69 mμ) e infravermelho (B08, 0,77-0,89 mμ).

2.3 Geração e comparação dos índices de vegetação

Foram criados 25 pontos homólogos de amostras (Figura 2), de números digitais e reflectâncias, referentes a cada categoria, vegetação e solo exposto nas imagens brutas.

Figura 2**:** Leitura dos alvos de solo exposto e vegetação, respectivamente.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

Em seguida foi aplicado o NDVI e SAVI (Tabela 1), que utilizam as bandas do vermelho e infravermelho próximo, ressaltando uma pequena diferença no SAVI que introduz em sua equação uma constante "L" que tem a função de minimizar o efeito do solo no resultado final do índice (ROUSE et al, 1973; HUETE, JACKSON e POST, 1985).

Tabela 1 – Índices de Vegetação

Índice de Vegetação	Fórmula	Autor
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	NDVI $\frac{IVP - RED}{IVP + RED}$	ROUSE (1973)
Soil Adjusted Vegetation Índex (SAVI)	SAVI $\left(\frac{(1+L)*(IVP-RED)}{IVP+RED+L}\right)$	HEUTE et al., (1988)

Onde: IVP = Valor da reflectância no infravermelho próximo; V= Valor da reflectância no vermelho; L= 1 para densidades baixas de vegetação.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

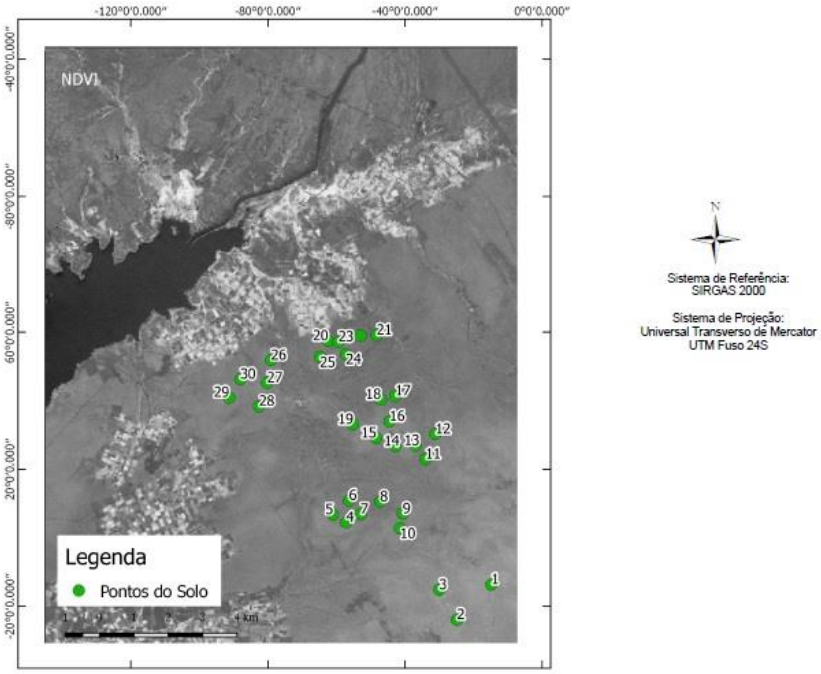
Foi aplicado mascaras de 3x3 no SPRING e calculado as médias de ND ou de reflectância, obtidas pelas máscaras, sobre todas as bandas utilizadas.

Em seguida, foi feita a releitura dos pontos homólogos, por meio da substituição das coordenadas UTM das amostras sob as imagens de reflectância resultantes dos índices, de acordo com seus respectivos sensores, e retirada das médias de ND ou de reflectância obtidas, sobre todas as bandas utilizadas para elaboração de gráficos para melhor entendimento do comportamento espectral.

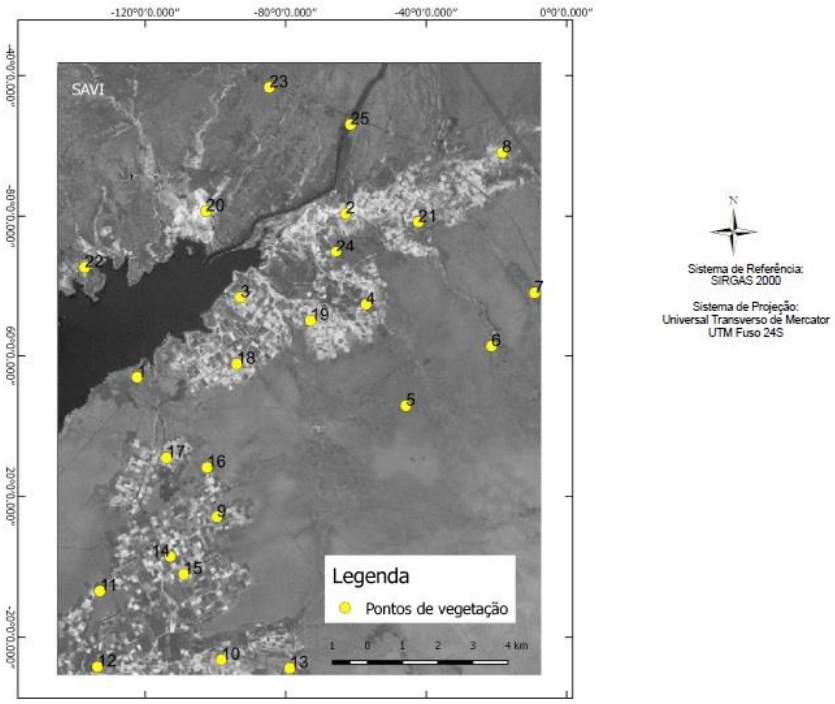
3 RESULTADO E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados de reflectância do sensor MUX, o NDVI apresenta valores de mínimo e máximo correspondentes a -0,311668 e 0,680298 (Figura 4 - a). O valor da equação do NDVI varia de -1 a 1. Quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura da vegetação na área. Valores próximos a zero, ou abaixo de zero, sugerem a presença de áreas desmatadas ou cobertas por água (NDOSSI e AVDAN, 2016). Quanto ao índice SAVI, os valores de mínimo e máximo correspondem a -0,467500 e 1,020451, respectivamente (Figura 4 - b).

Figura 4: Reflectância dos índices NDVI (a) e SAVI (b) no sensor MUX.



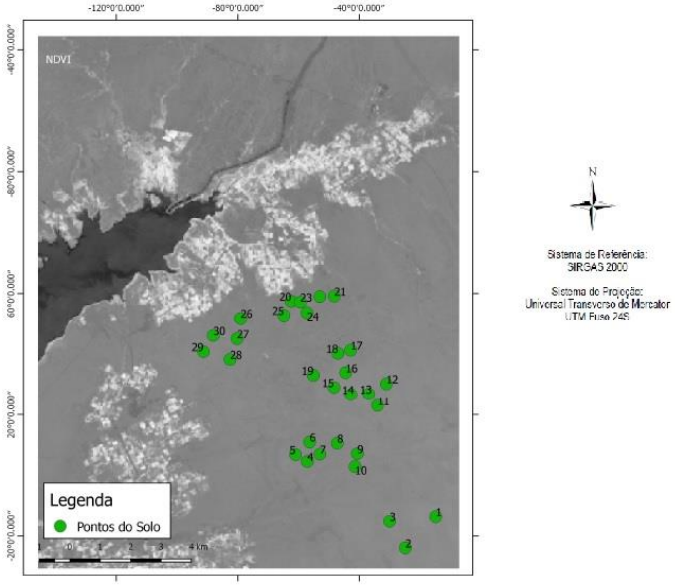
(a) Valor de mínimo: -0,311668
Valor de máximo: 0,680298



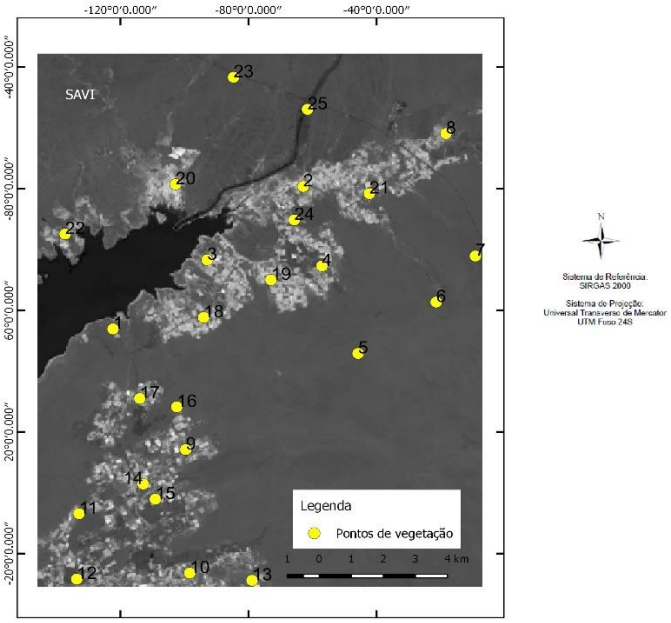
(b) Valor de mínimo: -0,467500
Valor de máximo: 1,020451
Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

Os resultados de reflectância do sensor OLI (Figura 5), correspondem a -0,476077 para o valor de mínimo e 0,841356 para o valor de máximo no índice NDVI. Quanto ao índice SAVI os valores correspondem a -0,112533 para mínimo e 0,716741 para máximo. Deve-se destacar que a variável L é representada por um valor de 0 a 1, do qual o valor 0 corresponde a áreas com uma densa cobertura de vegetação. Quando L é igual a 0, o SAVI se iguala ao NDVI. O valor 1 deve ser adotado quando a área não apresenta nenhuma vegetação. Recomenda-se a adoção do valor 0,5 como padrão.

Figura 5: Reflectância dos Índices NDVI (a) e SAVI (b) no sensor OLI.



(a) Valor de mínimo: -0,476077
Valor de máximo: 0,841356

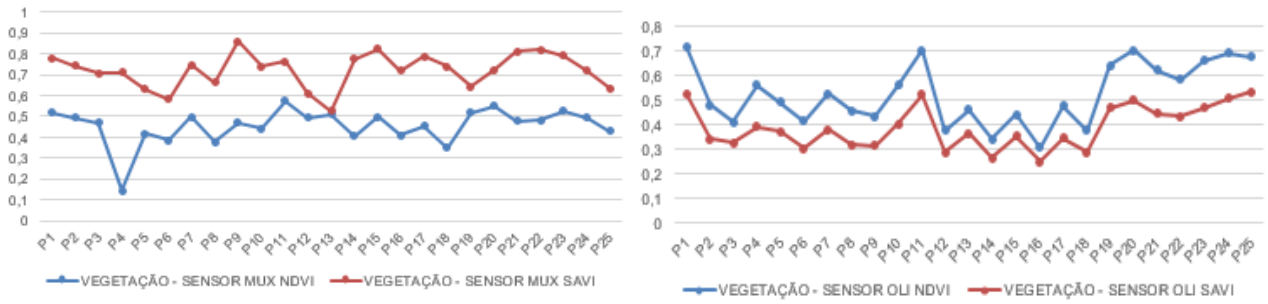


(b) Valor de mínimo: -0,112533
Valor de máximo: 0,716741
Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

Nas amostras de vegetação referente ao sensor MUX, observa-se uma discrepância entre os dados amostrais, quando se compara os dois índices (Figura 6 - a). Vale salientar que, para o NDVI, alguns fatores devem ser levados em consideração, como por exemplo, pontos de saturação que se manifestam de forma diferente nas faixas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, os efeitos da umidade na atmosfera, dentre outros (PONZONI, SHIMABUKURO, KUPLICH, 2015; OSCO et al., 2017).

Analisando a imagem CBERS-4 datada em 09/04/2016 o mês de abril apresentou uma precipitação pluviométrica de 3 mm de acordo com a APAC e temperatura média de 29°C INMET, considerando o posto mais próximo, localizado no município de Floresta, fator este que pode ter influenciado na resposta da reflectância de cada índice. E para a imagem OLI 23/11/2016 a precipitação mensal foi de 0,0 mm e 35°C a temperatura média.

Figura 6: Dados do alvo vegetação para os índices NDVI e o SAVI no sensor MUX (a) e OLI (b).



(a) (b)

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

Observa-se uma proximidade nas respostas dos pontos amostrais de reflectância para categoria de vegetação entre os dois índices, quando analisado no sensor OLI (Figura 6 - b). Os maiores valores de NDVI correspondem aos Números Digitais (ND) mais elevados, que se relacionam às áreas de vegetação com maior vigor. Enquanto os menores valores equivalem aos ND baixos, representando as áreas de vegetação estressada, bem menos densas ou até mesmo áreas desnudas (BORATTO e GOMIDE, 2013).

Na categoria solo exposto, para o sensor MUX, os índices se coincidem em alguns poucos pontos das amostras (p8, p11 e p22), nos restantes apresentam diferenças significativas. O índice SAVI apresenta valores mais altos (Figura

7- a), isso deve-se a constante "L" que minimiza o efeito do solo e pode variar os valores de 0 a 1 (PONZONI, SHIMABUKURO, KUPLICH, 2015). No sensor OLI aparentemente está mais normalizado os índices do que nas imagens do sensor MUX.

Figuras 7: Dados do alvo solo exposto para os índices NDVI e o SAVI no sensor MUX e OLI.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

Os valores da média amostral destacaram valores mais baixos para o NDVI do que para o SAVI em relação no sensor MUX (Figura 8), pode ter influência devido a presença de nuvens na imagem MUX. Já no sensor OLI as médias para NDVI mostrou valores mais altos em relação ao SAVI.

Figuras 8: Dados de média e desvio-padrão amostral.

Maior dispersão de todas os pontos

Média			
Vegetação			
MUX		OLI	
NDVI	SAVI	NDVI	SAVI
0,479556	0,737873	0,490508	0,372089

Desvio-padrão			
Vegetação			
MUX		OLI	
NDVI	SAVI	NDVI	SAVI
0,085244646	0,082391944	0,125732	0,087717

Média			
Solo exposto			
MUX		OLI	
NDVI	SAVI	NDVI	SAVI
0,182666667	0,275364667	0,227055	0,153195

Desvio-padrão			
Solo Exposto			
MUX		OLI	
NDVI	SAVI	NDVI	SAVI
0,040952169	0,058179745	0,014311	0,005786

Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

O Desvio-padrão do índice NDVI para a vegetação do sensor OLI apresentou maior valor, aproximadamente 0,126 o que significa uma maior dispersão em relação à média amostral.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados discutidos conclui-se que apesar das leituras dos pontos homólogos serem as mesmas, cada sensor apresentou respostas distintas na comparação dos índices, fator este devido a alteração do comportamento da vegetação dada pelas diferentes respostas espectrais que se moldaram de acordo com a vitalidade vegetal do local, em decorrência das datas diferentes das imagens. O sensor OLI destacou-se por apresentar valores mais altos e comportamento amostral mais uniforme em ambas as categorias.

Recomenda-se pesquisas detalhadas relacionadas aos fatores que influenciam nos resultados dos índices. Além de incluir outros períodos de estudos, para um melhor detalhamento e comparação dos resultados, como também associar outros índices de vegetação.

REFERÊNCIAS

BORATTO, I. M. de. P.; GOMIDE, R. L. Aplicação de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. **In**: Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 abril de 2013, INPE.

CONDEPE FIDEM. PIB das Regiões de Desenvolvimento (RD's) e dos Municípios de Pernambuco a preços de mercado. Disponível em: <http://www.condepefidem.pe. gov.br/web/condepe-fidem/ municipal> Acesso: em março/2018. 2015.

COLTRI, P.P.; RAMIREZ, G.M.; WALTER, M.K.C.; ZULLO JUNIOR, J.; PINTO, H.S.; NASCIMENTO, C.R.; GONÇALVES, R.R.V. Utilização de índices de vegetação para estimativas não destrutivas da biomassa, estoque e sequestro de carbono do cafeeiro arábica. **In**: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. Anais... Natal, 2009. p. 25–30.

DUARTE, C. C.; GALVÍNCIO, J. D.; CORRÊA, A. C. de. B.; ARAÚJO, M. do. S. B. de. Análise Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá – PE. **Revista de Geografia: UFPE** – DCG/NAPA, v. 24, n º 2, mai/ago. 2007.

HUETE, A. R.; JACKSON, R. D.; POST, D. F. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. **Remote sensing of environment**, v. 17, n. 1, p. 37-53, 1985.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, 1988 25, 295-309.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

MASCARENHAS, L. M. de. A.; FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G. Sensoriamento Remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: Análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do Rio Araguaia. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, 21 (1): 5-18, ABR. 2009.

NDOSSI, M. I.; AVDAN, U. Application of Open Source Coding Technologies in the Production of Land Surface Temperature (LST) Maps from Landsat: A PyQGIS Plugin. **Remote Sensing**. n. 8, 2016, p. 4-13.

OSCO, L. P.; MARCATO JÚNIOR, J.; RAMOS, A. P. M.; CRESTE, J. E. Comparação entre Índices de Vegetação Obtidos por Diferentes Modelos de Correção Atmosférica para a Avaliação de Biomassa em Cultura de Laranja- Pêra. **In**: IV Simpósio Brasileiro de Geomática – SBG2017. II Jornadas Lusófonas – Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica – CTIG2017.

PARAHYBA, R. da B. V.; Silva, F.H. B. B. da; Silva, F. B. R. e; Araújo Filho, J. C. de; Lopes, P. R. C. Diagnóstico Agroambiental do Município de Petrolândia - Estado de Pernambuco. Rio de Janeiro, 2004. 25p.

PARASTATIDIS, D; MITRAKA, Z; CHRYSOULAKIS, N; ABRAMS, M. Online Global Land Surface Temperatura Estimation From Landsat. **Remote Sensing**, Vol. 9, 2-16, 2017.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 144p.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. Oficina de Textos, 2015.

PREFEITURA DE PETROLÂNDIA. História de Petrolândia. Disponível em: <http://www.petrolandia.pe/a-cidade/3/historia.html>. Acesso: março/2018. 2015.

ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A. & DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: **Proceedings of the Third ERTS Symposium**, 1973 Washington DC. 309-317.

TEIXEIRA, A. M. de. A.; CANDEIAS, A. L. B.; TAVARES JUNIOR, J. R. Comparação dos índices de vegetação para imagens TM/Landsat 5, com correção e sem correção atmosférica. **Revista Brasileira de Geomática**. Curitiba, v. 5, n. 4, p. 524-542, out/dez. 2017.

XIAO, Z.; LIANG, S.; SUN, R.; WANG, J.; JIANG, B. Estimating the **fraction of absorbed photosynthetically active radiation from the MODIS data based GLASS leaf area index product. Remote Sensing of Environment**, v.171, p.105– 117, 2015. http://dx.doi.org/ 10.1016/j.rse.2015.10.016

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

COMPLEXIDADE URBANA E O SEU MAPEAMENTO: UM DESAFIO QUE REQUER A INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES ESPACIAIS, ESPECTRAIS E ALTIMÉTRICAS

MARIA LUCIANA DA SILVA
ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS
AURÉLIO LÚCIO DE MELO E SILVA JUNIOR
ANDRÉA FLÁVIA TENÓRIO CARNEIRO

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
marialuciana.eng@gmail.com, analucia@ufpe.br, aureliomelojr@gmail.com, aftc@ufpe.br

RESUMO - A complexidade urbana ainda é um desafio no quesito mapeamento. Efeitos de sombra e do terreno podem gerar erros na classificação de imagens. Deste modo, faz-se necessário incorporar dados auxiliares, não espectrais, à classificação, para que se obtenha um resultado mais refinado e que represente melhor a superfície imageada. Nesse sentido, uma proposta que tem se mostrado eficaz em alguns trabalhos é a inserção da informação altimétrica, oriunda do Laser Scanner Aerotransportado (LSA), no processo de classificação de imagens. Este trabalho analisa os resultados das classificações das imagens de alta resolução espacial e das imagens provenientes do LSA, realizadas nos softwares *Spring*, *eCognition e QGIS*. Com isso pode-se analisar os pontos positivos e negativos das classificações das imagens separadamente e justificar a eficácia da integração dessas duas fontes no processo de classificação. Observa-se os efeitos de sombra e confusão espectral nas imagens de alta resolução espacial. Em contrapartida, nas imagens oriundas do LSA, a variação de altura, mesmo que pequena, gera textura e isso muitas vezes fragmenta o objeto, separando-o em partes de diferentes categorias. Além disso, a natureza da varredura do LSA não garante a ocorrência de pontos exatamente nas bordas dos objetos.

ABSTRACT - Urban complexity is still a challenge in mapping. Shadow and terrain effects can generate errors in the categorization of objects. In this way, it is necessary to incorporate ancillary, non-spectral data, into the classification, so that a more refined result is obtained and better represents the imaged surface. In this sense, a proposal that has proved effective in some works is the insertion of altimetric information, derived from the Laser Scanner Airborne (LSA), in the image classification process. This work analyzed the results of classifications of high spatial resolution images and images from the LSA, performed in Spring, eCognition and QGIS software. This allowed us to analyze the positives and negatives of the image classifications separately and to justify the effectiveness of the integration of these two sources in the classification process. Shadow effects and spectral confusion were observed in high spatial resolution images. In contrast, in images from the LSA, height variation, even if small, generates texture and this often fragments the object, separating it into parts of different categories. In addition, the scanning nature of the LSA does not guarantee the occurrence of points exactly at the edges of objects.

1 INTRODUÇÃO

Os métodos tradicionais de levantamento foram aprimorados na busca por métodos de aquisição de dados espaciais que melhor atendessem o nível de detalhamento exigido para a tomada de decisão sobre o território. Entretanto, a grande complexidade urbana, os seus contrastes e modificações constantes, ainda é um desafio no quesito mapeamento. Informações sobre o uso e ocupação do solo são necessárias para gerir os espaços urbanos, frear ações antrópicas que coloquem em risco a disponibilidade de recursos para as gerações futuras, subsidiar medidas de emergência, dentre tantas outras de igual relevância.

Nesse contexto de modernização dos métodos de aquisição de dados, surgiram as imagens de alta resolução e a tecnologia do Laser Scanner Aerotransportado (LSA). Foram avanços significativos para o domínio da informação territorial, substituindo e/ou complementando o levantamento em campo em diversas aplicações. Entretanto, mesmo esses avanços tendo alcançado também o mapeamento urbano, ainda se tem muito o que explorar a respeito da automatização de extrações de feições urbanas.

A classificação de imagens de alta resolução ainda é um campo investigado em diversas pesquisas (LU & WENG, 2007; MYINT et al., 2011; MENESES & ALMEIDA, 2012). A classificação pixel a pixel obtida pelos métodos do paralelepípedo, distância mínima, máxima verossimilhança e também a classificação obtida por regiões, a exemplo do ISOSEG e Battacharya, avaliam as classes como agrupamentos de mesma característica espectral e em uma representação bidimensional. Essa avaliação não é suficiente para se obter bons resultados na classificação de imagens de alta resolução. Entretanto, os dados auxiliares de altimetria podem contribuir nesse processo, visto que incorporam uma diferenciação dos alvos em função de suas alturas e resgatam a informação tridimensional para a imagem digital. Logo, a altimetria obtida pelo Laser Scanner Aerotransportado (LSA) pode ser incluída no processo de classificação, diferenciando os objetos de mesmo comportamento espectral localizados em diferentes elevações (BOTELHO & CENTENO, 2005; SILVA e ARAKI, 2015; OLIVEIRA, 2016).

O LSA é um sistema de sensoriamento remoto ativo aerotransportado com funcionamento baseado na utilização de um pulso de LASER que é emitido em direção ao terreno para a obtenção de coordenadas tridimensionais de pontos sobre uma superfície (BALTSAVIAS, 1999). Consiste em uma das mais modernas técnicas para coleta de dados tridimensionais e se difere dos métodos tradicionais de levantamento, em especial, pelo pequeno tamanho dos equipamentos que o compõem, pela alta velocidade com que ocorre a varredura e pelo elevado número de pontos levantados.

O produto oriundo do sistema LSA consiste em uma nuvem de pontos com coordenadas tridimensionais. Além destas, cada ponto medido retorna também informações do nível de intensidade do alvo refletido, o que permite a geração de imagens de composição entre estas camadas de informação, que facilitam a interpretação e visualização das feições do terreno (CAVALCANTI, 2016). O conjunto de dados oriundos do LSA pode ser tratado como dados vetoriais ou transformados em raster para serem processados como uma grade regular. A segunda opção é geralmente mais adotada devida a redução significativa na quantidade de dados, de modo a facilitar o armazenamento e o processamento (CENTENO & MITISHITA, 2007).

Apesar do seu grande potencial altimétrico, o LSA possui limitações quanto à discriminação das feições. Isso ocorre devido à natureza da varredura não garantir a ocorrência de pontos exatamente nas bordas dos objetos (BOTELHO & CENTENO, 2007), sendo necessária a utilização de técnicas complementares que propiciem melhor resposta espectral e espacial, em especial nas áreas urbanas, onde há um acentuado agrupamento de objetos justapostos e de mesma altura.

Diante das potencialidades e limitações das imagens de alta resolução e dos produtos oriundos do LSA, têm surgido estudos referentes à integração dessas duas fontes no processo de classificação de imagens. Pretende-se com isso minimizar os efeitos como sombra, confusão espectral e oclusão, presentes nas imagens de alta resolução e que prejudicam a categorização dos objetos, afetando a autenticidade do mapeamento. Além de, em contrapartida, agregar informação espectral aos dados LSA com a finalidade de melhorar o aspecto dos contornos dos objetos, facilitando a discriminação de feições e melhorando a conexão dos dados altimétricos com as bases cartográficas bidimensionais já existentes.

Esse trabalho tem o objetivo de analisar os resultados de classificação de imagens de alta resolução e imagens de LSA em três softwares diferentes, a saber: Spring, QGIS e eCognition, buscando averiguar as potencialidades e limitações abordadas na literatura e justificando a necessidade de integração dos dados para fins de mapeamento urbano.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A área de estudo deste trabalho (Figura 1) consiste em um trecho do *campus* Joaquim Amazonas, da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). A escolha se deu mediante três fatores: i) a área ter sido contemplada pelo projeto intitulado "Serviços de Engenharia para Cobertura Aerofotogramétrica, Perfilamento a Laser Aerotransportado, com Obtenção de Polígonos 2D, 3D e Restituição Estereofotogramétrica", realizado em 2013 pela prefeitura da cidade do Recife e do qual foram obtidas as imagens utilizadas neste trabalho; ii) a facilidade de identificação de feições in loco, quando necessário; iii) A existência de feições tipicamente urbanas, embora sem muita complexidade, mas passíveis de análise das problemáticas anteriormente discutidas.

Figura 1. Área de estudo: a) recorte da ortofoto; b) recorte da imagem de composição do LSA.

2.2 Materiais

- Softwares: Spring, QGIS e *eCognition*;
- Imagem de composição oriunda do LSA (GSD de 8cm);
- Ortofoto (GSD de 8 cm);

2.3 Métodos

As classificações foram realizadas nos softwares *Spring*, *eCognition e QGIS*, aplicados métodos iguais para as duas imagens utilizadas, a saber: ortofoto e imagem LSA. A finalidade foi analisar quais as respostas das classificações das duas imagens quando submetidas aos mesmos métodos, buscando averiguar quais os aspectos negativos e positivos enxergados e em quais aspectos as duas imagens podem se complementar.

No Spring foram realizadas classificações supervisionadas do tipo máxima verossimilhança e distância euclidiana, além da classificação não supervisionada do tipo kmédias. Nas duas classificações supervisionadas foram coletadas amostras de edificações, árvores, solo exposto e área pavimentada. Na classificação não supervisionada trabalhou-se no *Spring* com o algoritmo kmédias utilizando quatro classes.

No eCognition fez-se um procedimento de classificação supervisionada antecedida de segmentação. O software trabalha com um parâmetro de escala para a segmentação, o qual indica o nível de detalhamento da classificação. Quanto menor o parâmetro de escala, mais segmentada será a imagem. Escolheu-se o valor de 130 para ambas as imagens, visto que a segmentação para esse parâmetro separou os alvos de interesse percebidos na imagem, a saber: edificações, árvores, solo exposto e área pavimentada.

No QGIS também foi realizada a classificação supervisionada por meio do *plugin dzetsaka: classification tool.* A ferramenta solicita que o usuário crie um arquivo shapefile do tipo polígono com a indicação de um campo para diferenciação dos alvos. Esse campo pode ser o do próprio *id* (identificador) criado automaticamente pelo software em cada shapefile, desde que na medida em que sejam criados os polígonos de amostra, sejam inseridos identificadores diferentes para cada alvo. O software também possibilita a escolha do classificador, que pode ser quatro tipos: *Gaussian Mixture Model Random Forest*, *Support Vector Machines* e *K-Nearest Neighbors*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

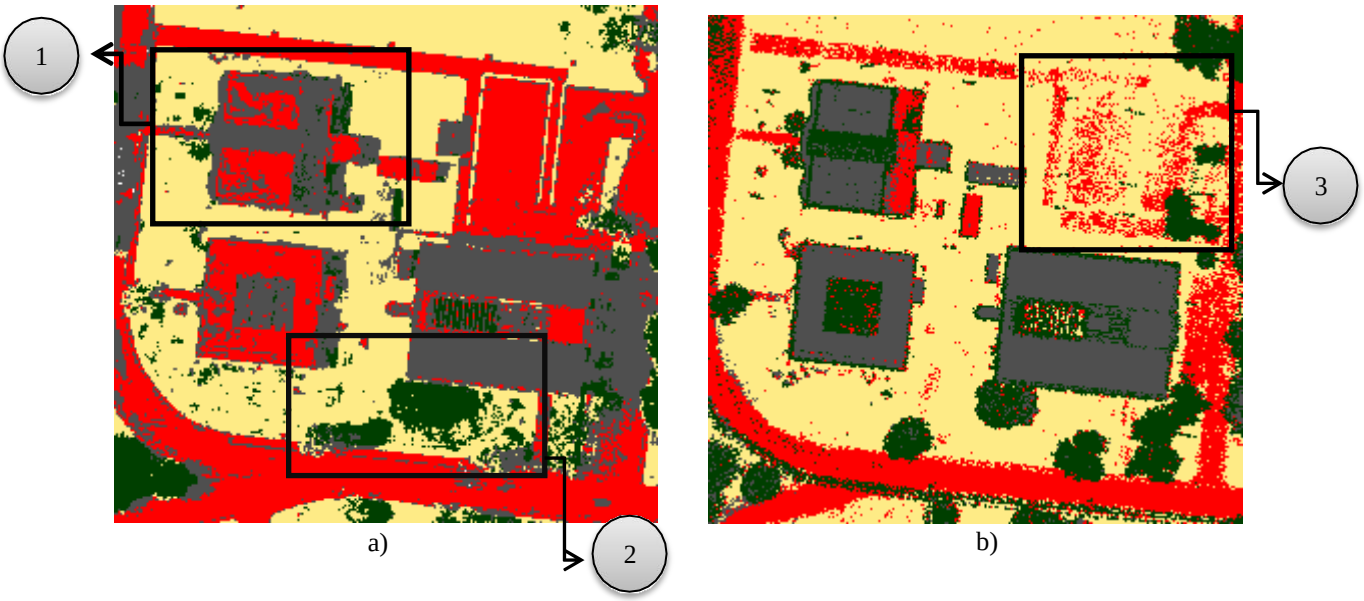
3.1 **Classificações no *software Spring***

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam os resultados das classificações no *Spring*. As duas primeiras são resultado de classificações supervisionadas. Como a área de estudo é pequena e de baixa complexidade, a coleta de amostras não apresentou dificuldades, suprindo quase a totalidade da imagem.

O resultado da classificação da ortofoto obtido pelo método máxima verossimilhança, mostrou-se deficiente na discriminação dos alvos, gerando confusão entre as edificações e as áreas pavimentadas, como indicado no retângulo 1 da Figura 2. Isto pode ter ocorrido pela semelhança da resposta espectral desses alvos. Outro ponto negativo notado na classificação da ortofoto refere-se às sombras, devido às suas áreas serem acrescidas nas áreas do objeto, a exemplo das

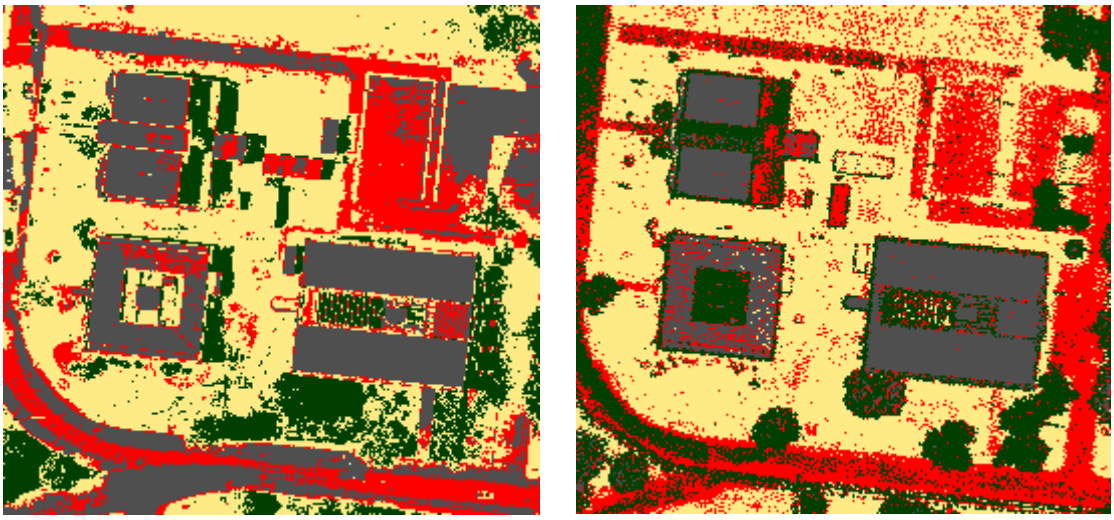
árvores que em sua totalidade possui área maior devido às sombras, como visto no retângulo 2 da Figura 2. Em contrapartida, como a imagem do LSA classifica os objetos em função da altura, algumas pequenas variações acabam particionando um alvo em diferentes categorias, até mesmo pontuais, fenômeno esse que pode ser observado no retângulo 3 da Figura 2.

Figura 2. Resultado da classificação por máxima verossimilhança no Spring:
a) classificação da ortofoto; b) Classificação da imagem do LSA.



Os resultados do método de classificação por distância euclidiana foram semelhantes aos do método de máxima verossimilhança no tocante a confusão espectral entre alvos e influência das sombras no resultado. Ambos os resultados, ortofoto e imagem do LSA, se mostraram mais fragmentadas quando classificadas por distância euclidiana.

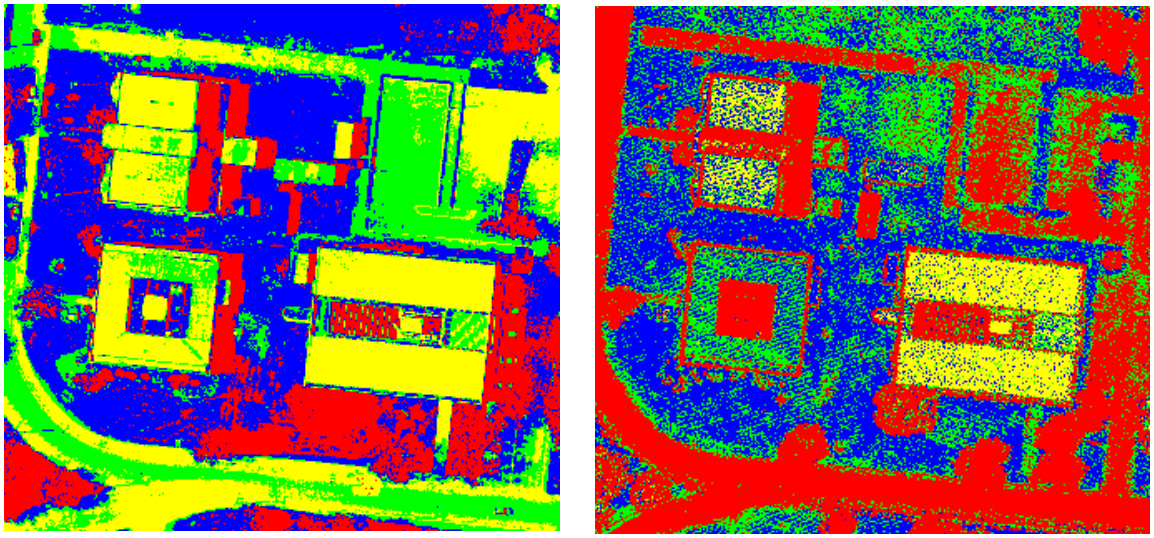
Figura 3. Resultado da classificação por distância euclidiana no Spring:
a) classificação da ortofoto; b) Classificação da imagem do LSA.



Também foi realizada no Spring, a classificação não supervisionada por kmédias, pedindo para que o software retornasse um resultado com quatro temas em ambas as imagens e com dez (10) iterações. A finalidade deste

experimento foi averiguar o que pode ser extraído de uma imagem de alta resolução e de uma imagem de LSA, para uma mesma área, sem a influência do usuário quanto às amostras de alvos. Com isso pôde-se identificar o que um determinado algoritmo de classificação consegue extrair das imagens utilizadas sem que seja fornecido nenhum parâmetro que facilite a interpretação da imagem pelo software. O resultado foi uma imagem classificada de LSA significativamente mais fragmentada que o resultado obtido da ortofoto, além das bordas dos objetos apresentarem certa imprecisão ao serem categorizadas com cores diferentes das do objeto.

Figura 4. Resultado da classificação por kmédias com 4 temas, no Spring:
a) classificação da ortofoto; b) Classificação da imagem do LSA.

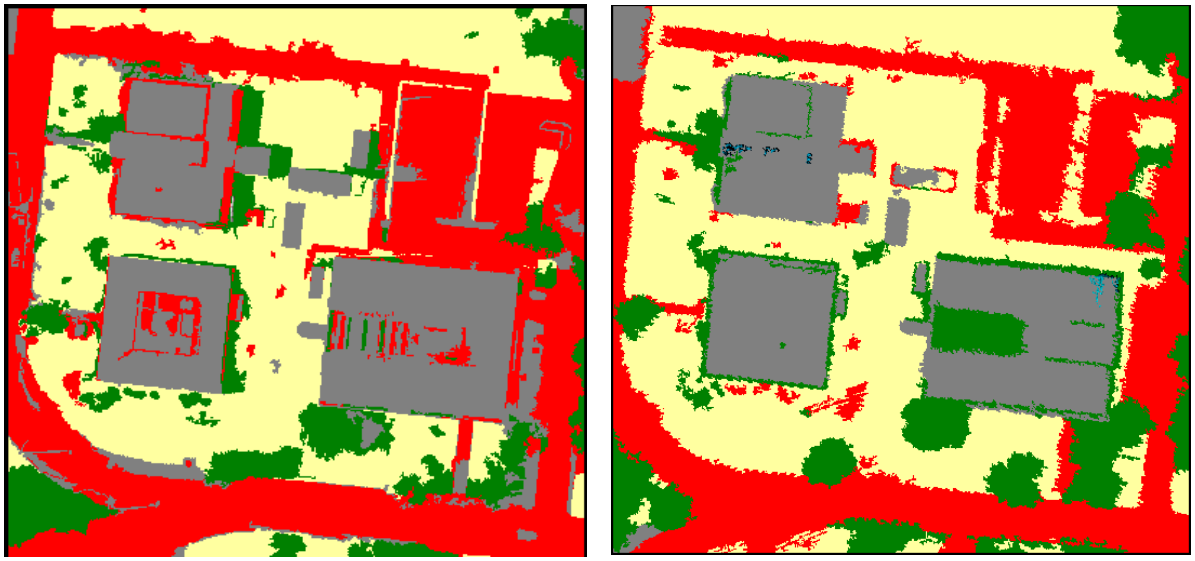


a) b)

3.2 Classificação no eCognition

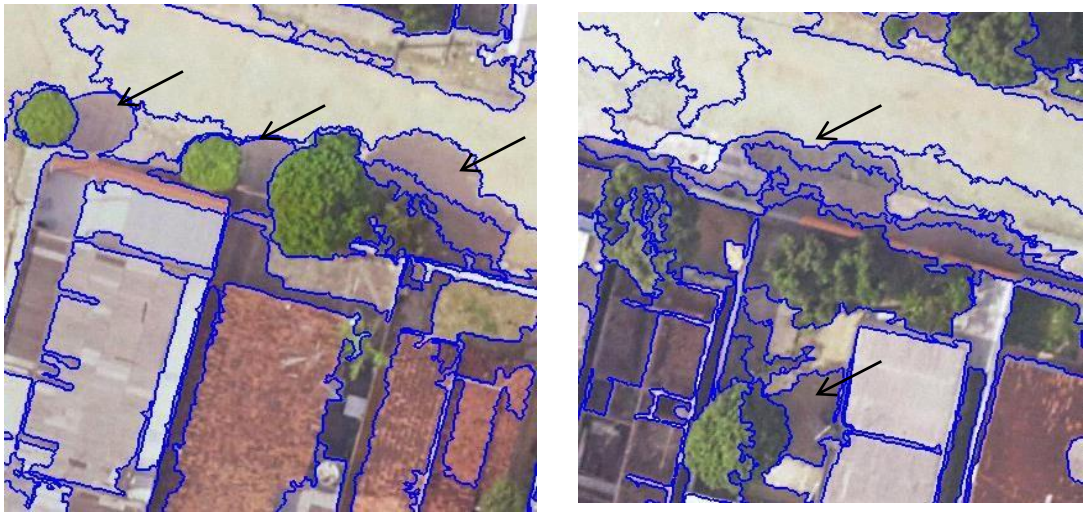
A Figura 5 mostra os resultados da classificação segmentada no eCognition . A segmentação evita que a imagem classificada do LSA fique extremamente fragmentada, tornando-a mais concisa. O parâmetro de escala foi 130 para ambas as imagens e buscou-se coletar as mesmas amostras de alvos para ambas as imagens também. Não houve muita diferença entre os resultados, embora os detalhes nas coberturas das edificações tenham sido categorizados de formas diferentes nas duas imagens, como já se esperava: com relação à resposta espectral na ortofoto e com relação à altura na imagem do LSA. Na Figura 6 são demonstrados alguns exemplos de sombras nas imagens de alta resolução sendo segmentadas no eCognition.

Figura 5. Resultado da classificação no eCognition: a) classificação da ortofoto; b) Classificação da imagem do LSA.



a) b)

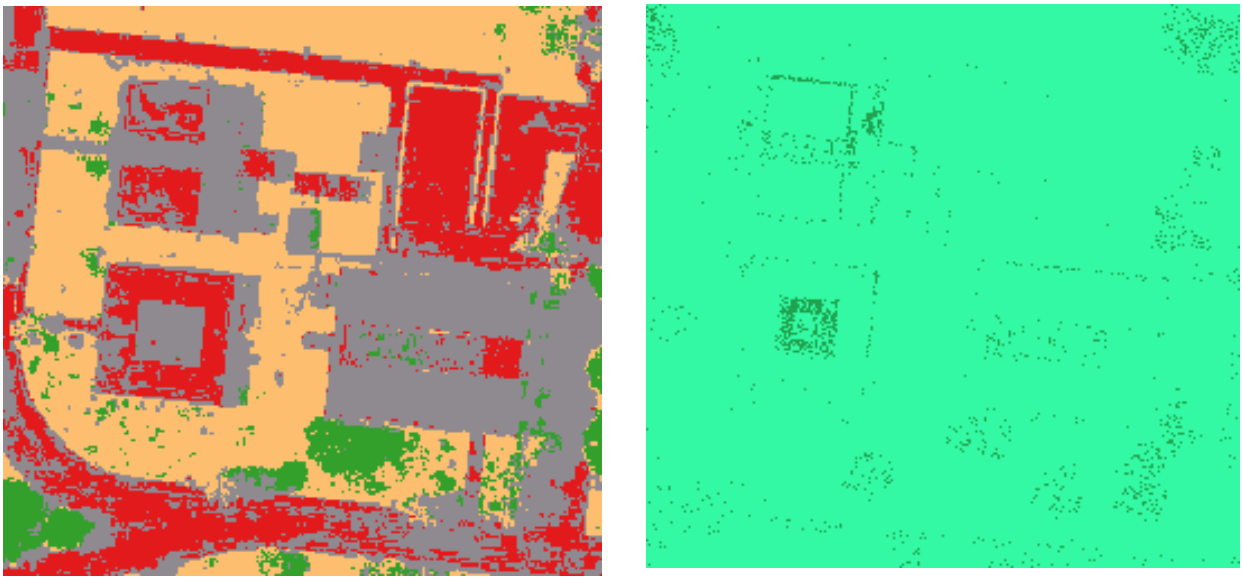
Figura 6. Sombras presentes na ortofoto e segmentadas no eCognition



3.3 Classificação no QGIS

No software QGIS a classificação da ortofoto e da imagem de LSA foi realizada por meio do mesmo arquivo de amostras do tipo shapefile, entretanto os resultados obtidos foram totalmente divergentes e não satisfatórios. Na classificação da ortofoto, os objetos ficaram indefinidos e bem fragmentados. A classificação da imagem de LSA resultou em apenas duas categorias de alvos, mesmo tendo sido coletadas amostras de quatro categorias (árvores, edificações, solo exposto e área pavimentada). Uma dessas categorias resultantes se apresenta em forma de pontos distribuídos na imagem, em lugares onde há diferentes tipos de alvos. O classificador usado foi o Gaussian Mixture Model, único habilitado para a versão utilizada do QGIS. Vale salientar que outros testes poderão ser realizados no QGIS, em outras versões e com outros algoritmos de classificação. Os resultados da classificação da ortofoto e da imagem LSA são apresentadas na Figura 7.

Figura 7. Resultado da classificação no QGIS: a) classificação da ortofoto; b) Classificação da imagem do LSA.



a) b)

4. CONCLUSÕES

As imagens de alta resolução espacial apresentam de forma mais detalhada os problemas de transformação da aquisição bidimensional de algo que é tridimensional. Efeitos de sombra e o tipo do terreno (relevo) podem gerar erros na categorização dos objetos. Dados auxiliares de altimetria podem ajudar na classificação para que se obtenha um resultado mais refinado e que represente melhor a superfície imageada.

Esse trabalho apresentou uma comparação entre as classificações das imagens de alta resolução espacial e das imagens do LSA utilizando-se os classificadores implementados nos softwares Spring, eCognition e QGIS.

Os resultados dos testes realizados comprovam que os efeitos de sombra e confusão espectral nas imagens de alta resolução espacial geram problemas na classificação dos alvos. Por outro lado, nas imagens oriundas do LSA, pequenas variações de altura, geram textura que irão dificultar também na classificação dos alvos. Além disso, a natureza da varredura do LSA não garante a definição das bordas dos objetos. Assim, recomenda-se a utilização em conjunto das informações das imagens de alta resolução e do LSA para uma melhor classificação dos alvos.

REFERÊNCIAS

BALTSAVIAS, E. P. Airborne Laser Scanning: Basic Relations and Formulas. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54:199–214, 1999.

BOTELHO, M. F.; CENTENO, J. A. S. Reconstrução Tridimensional de Edificações Utilizando Dados Laser Scanner Aerotransportados. Boletim de Ciências Geodésicas, vol. 13, núm. 1, p. 107-126. Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2007.

BOTELHO, M. F.; CENTENO, J. A. S. Uso Integrado de Imagem de Alta Resolução Espacial e Altura Derivada do Laser Scanner na Escolha do Classificador Orientado a Região. Boletim de Ciências Geodésicas, vol. 1, num. 1, p. 71-87. Univerdidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2005.

CAVALCANTI, R. C.; CANDEIAS, A. L.; TAVARES JUNIOR, J. R.. Metodologia para Obtenção de Polígonos 3D a partir de Nuvem de Pontos LIDAR. Revista Brasileira de Geomática, v. 4, num. 1, pp. 42-48, 2016.

CENTENO, J. A. S.; MITISHITA, E. A.. Laser Scanner Aerotransportado no Estudo de Áreas Urbanas: A Experiência da UFPR. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 3645-3652. Florianópolis-SC, 2007.

LU, D.; WENG, Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. International Journal of Remote Sensing. Vol.28, Issue 5, 2007

MENEZES, P. R.; ALMEIDA, T. Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Universidade de Brasília. Brasília, 2012.

MYINT S. W., GOBER P., BRAZEL A., GROSSMAN-CLARKE S., WENG Q. Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. Remote Sensing of Environment 115(5):1145–1161, 2011.

OLIVEIRA, G. R. K. USO INTEGRADO DE DADOS LIDAR E IMAGENS AÉREAS APLICADO NA EXTRAÇÃO DE CONTORNOS DE TELHADOS DE EDIFICAÇÕES. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2016.

SILVA, F. M. M.; ARAKI H. Integração de dados de imagens orbitais de alta resolução e als para detecção semi-automática de edificações em áreas urbanas. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 21, no 3, p.548 - 571, jul-set, 2015.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

CORRELAÇÃO ENTRE RENDIMENTO DE SOJA E DADOS DE ESTIAGEM UTILIZANDO IMAGENS EVI/MODIS NA REGIÃO CENTRAL DO RIO GRANDE DO SUL – BR

PÂMELA AUDE PITHAN 1.
MANOEL DE ARAÚJO SOUSA JÚNIOR 2.
ELÓDIO SEBEM 3.
RIENE FILGUEIRAS DE OLIVEIRA 4.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Av. Paulo Gama, 110 – Bairro Farroupilha – Porto Alegre – RS – Brazil
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
Av. Roraima, 1000 - Bairro Camobi - Santa Maria - RS – Brazil
pamelapithann@gmail.com, elodiosebem@politecnico.ufsm.br, manoel@ufsm.br, rienefilgueiras@hotmail.com

RESUMO - As imagens EVI do sensor MODIS, apresentam uma boa correlação com o conteúdo de biomassa verde, podendo ser obtidos valores indicando o stress hídrico nas plantas. Nesse sentido, esse trabalho apresenta uma proposta de relacionar o rendimento de grãos de soja com dados de estiagem, integrando imagens de satélite com dados do monitoramento anual da produção de soja a nível local e municipal. Para verificar se as variáveis produção de soja e anomalias de estiagens possui relação, fez-se uma análise de correlação de Pearson para os dados, os quais apresentaram uma boa correlação, com coeficientes de regressão linear significativos para as duas áreas.

ABSTRACT - The EVI images from MODIS sensor show a good correlation with the green biomass content can be obtained values, indicating of the water stress in the plants. In the respect, this paper makes a proposal to relate soybeans yield and drought data, integrating satellite imagery with data from the annual monitoring of the soy production at local and municipal scale. In order to check if the variables soybean production and drought anomalies have a relationship, a Pearson correlation analysis was performed for the data, wich present a good correlation, with linear regression coefficients significant for the two areas under study.

1 INTRODUÇÃO

As estiagens se caracterizam por serem menos intensas que as secas e por ocorrerem em períodos de tempo menores. Pelo fato da estiagem ocorrer, com relativa frequência em áreas mais produtivas e de maior importância econômica, do que as áreas onde acontecem as secas, ela produz reflexos importantes sobre o agronegócio, comprometendo o abastecimento, a produção de alimentos e a economia da região. Em estudos anteriores os resultados obtidos por Mota et al. (1996) indicaram que a disponibilidade hídrica é o principal fator limitante ao rendimento de grãos de Soja no Estado do Rio Grande do Sul.

O gerenciamento do setor agrícola tem-se tornado cada vez mais sofisticado, exigindo informações continuamente atualizadas sobre o desempenho das safras antecipadamente ao período da colheita, nesse sentido o sensoriamento remoto proporciona informações sistemáticas e de alta qualidade espacial e temporal sobre a superfície terrestre (LIU e KOGAN, 2002).

Os dados do MODIS *(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)* são fornecidos já corrigidos para efeitos atmosféricos, as imagens são georreferenciadas e distribuídas gratuitamente. Entre os vários produtos MODIS, destacam-se principalmente, os índices de vegetação do produto MOD13, que incluem o NDVI *(Normalized Difference Vegetation Index)* Índice de Vegetação da Diferença Normalizada e o EVI *(Enhanced Vegetation Index)* correspondente ao Índice de Vegetação Melhorado, disponibilizado a cada 16 dias. O EVI é um índice melhorado para realçar o sinal da vegetação, em regiões com altos valores de biomassa, permitindo realizar um melhor monitoramento da vegetação através da redução dos efeitos de substrato do dossel e da influência da atmosfera (HUETE et al., 1997).

Além de oferecer o índice de vegetação EVI, é possível também obter a Ferramenta de Reprojeção MODIS (MRT), que foi desenvolvida para suportar os produtos de nível superior MODIS Land que são distribuídos como arquivos de Formato de Dados Hierárquicos - Sistema de Observação da Terra (HDF-EOS), projetados para uma grade

Sinusoidal. O software MRT facilita o uso do MODIS, fornecendo projeção de mapa, conversão de formatos e opções de subconjunto espectral e espacial e é compilado para uso em vários sistemas operacionais. As funcionalidades do MRT podem ser executadas a partir da linha de comando ou de uma interface gráfica de usuário (GUI). A GUI é uma maneira fácil e amigável de inserir dados para manipulação, já a interface de linha de comando serve aos usuários com requisitos de processamento de dados intensivos (TOOL, 2011).

As imagens EVI do sensor MODIS, por suas características, podem ser utilizadas para se obter informações atualizadas sobre o setor agrícola, uma vez que permite identificar variações significativas do verdor da vegetação (estado de sanidade), causadas por eventos climáticos, como a estiagem.

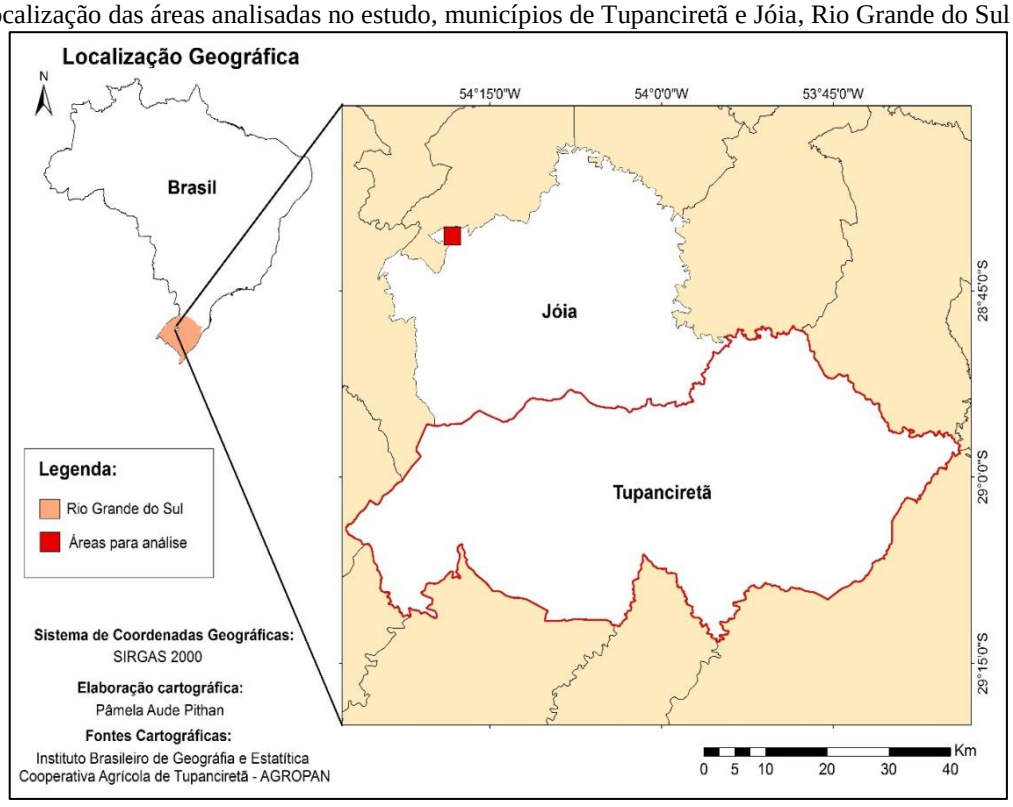
A verificação da existência e o grau de relação entre variáveis são dados pela interpretação do coeficiente de correlação. O estudo da correlação linear consiste em verificar através da disposição de n pares (X_i, Y_i) em torno de uma reta, o comportamento dos dados. Segundo Mandim (1996), a estimativa do coeficiente de correlação linear é obtida através do coeficiente de correlação de Pearson, e calculada a partir de uma amostra de pares (X_i, Y_i), o autor descreve a correlação sendo um número que resume o grau de relacionamento entre duas variáveis, enquanto que a regressão dá uma equação matemática que descreve o relacionamento entre duas variáveis.

Para testar se o mesmo é significativo ou não, utiliza-se a distribuição t de "Student" com n-2 graus de liberdade e α a escolha do pesquisador. Para descrever os fenômenos observados utiliza-se um modelo matemático que relacione as variáveis envolvidas. O modelo é uma função matemática que descreve uma tendência de comportamento das variáveis X e Y (dados). Desta forma, o trabalho apresenta uma proposta de relacionar o rendimento de grãos de soja com dados de estiagem, integrando imagens de satélite com dados do monitoramento anual da produção de soja a nível local e municipal.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

As áreas analisadas estão localizadas na região centro do Estado do Rio Grande do Sul – BR (Figura 1). Foi analisado o município de Tupanciretã que possui uma área territorial de 2.251 Km² (IBGE, 2017), o município é o maior produtor de soja do Estado. O rendimento médio de produtividade do município de Tupanciretã é disponibilizado pela Emater/RS, o período analisado compreende os anos de 2006 a 2014. A outra área está localizada no município de Jóia com 221 hectares, também produtora do grão. O polígono da área foi disponibilizado em arquivos no formato kml, pela Cooperativa Agrícola Tupanciretã – AGROPAN, assim como os dados de rendimento médio anual de produtividade da área.

Figura 1: Localização das áreas analisadas no estudo, municípios de Tupanciretã e Jóia, Rio Grande do Sul – BR



Fonte: Autores (2018).

Foram obtidas imagens EVI/MODIS referentes ao produto MODIS – MOD13Q1 das seguintes datas, 353, 001, 017, 033, 049, que em dias julianos compreendem os meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro, período crítico de floração e enchimento dos grãos para o cultivo de soja. Geraram-se as imagens de média e desvio-padrão de referência, para o período. A imagem de média de referência ($\bar{X}_{referência}$) é obtida pelo somatório de todas as imagens de um mesmo mês ($IMG_{JAN\ 20XX}$), para todos os anos, dividido pelo número de anos (n) analisados (Equação 1).

$$\overline{X}_{referência} = \frac{IMG_{JAN\ 2001}+\cdots+IMG_{JAN\ 2016}}{n} \quad (1)$$

O desvio-padrão de referência ($\sigma_{referência}$) é calculado a partir da raiz quadrada do somatório de todas as imagens de um determinado mês ($IMG_{JAN\ 20XX}$) de cada ano, menos a imagem de média de referência ($\overline{X}_{referência}$), dividido pelos anos (n) do período que está sendo analisado, menos um (Equação 2).

$$\sigma_{referência}=\sqrt{\frac{(IMG_{JAN\ 2001}-\overline{X}_{referência})^2+\cdots+(IMG_{JAN\ 2016}-\overline{X}_{referência})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Com as imagens de referências calculadas, foi possível obter-se as imagens de anomalias de vegetação, por meio do cálculo do SVI (*Standarize Vegetation Index*), para o período nos anos de 2001 a 2016. O cálculo das imagens anomalias foi realizado pixel a pixel e se obteve através da subtração da média do mês ($\overline{X}_{valor}$) pela média da imagem referência ($\overline{X}_{referência}$), dividida pelo desvio-padrão da imagem referência ($\sigma_{referência}$) (Equação 3). Esse e os demais processamentos foram realizados utilizando a linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), do software SPRING versão 5.4.2.

$$SVI_{valor} = \frac{\overline{X}_{valor}-\overline{X}_{referência}}{\sigma_{referência}} \quad (3)$$

As imagens de anomalias do período para as áreas em estudo indicam o verdor da vegetação, onde o valor de anomalia de vegetação for negativo correspondem a áreas de estiagem. Para representar os valores de anomalias de vegetação foram utilizadas as seguintes classes de vegetação (Tabela 1) definidas por Souza_Júnior et al. (2010).

Tabela 1: Classes definidas para representar os valores de anomalia de vegetação.

Desvios-padrão	**Classes**
< -2,0	Estiagem de intensidade alta
-2,0 a -1,5	Estiagem de intensidade média
-1,5 a -1,0	Estiagem de intensidade baixa
-1,0 a 1,0	Normal
1,0 a 1,5	Vegetação com verdor baixo
1,5 a 2,0	Vegetação com verdor médio
> 2,0	Vegetação com verdor alto

Realizou-se utilizando as imagens de anomalias, operações zonais, que resultam na avaliação de estatísticas simples como a média, sobre valores definidos por operações pontuais, distribuídos por zonas dadas através de feições vetoriais (polígonos, linhas e pontos) ou por regiões definidas através de operações booleanas (SPRING, 2016). Para verificar se as variáveis produção e anomalia de estiagens possuem relação na região de estudos fez-se uma análise de correlação de Pearson utilizando o software Statistica 7.0, para os dados referentes ao município de Tupanciretã, posteriormente para os dados referentes à área de lavoura, e por fim, para os dados conjuntos. Adotou-se o nível de significância a 5% de probabilidade, pelo teste t de Student. Ajustando o modelo de regressão linear para as variáveis SVI e produção, propõem-se um modelo linear de primeira ordem utilizando o modelo: $Y = \beta o + \beta 1X + \varepsilon$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizando a correlação da produção de soja com a anomalia média, calculada para áreas produtoras do grão, o resultado que apresentou uma melhor relação entre produção e valores de anomalias, foi a classificação no mês de Fevereiro, ou seja, dos meses analisados esse é o mês mais crítico para a cultura de soja, uma estiagem nesse período resulta em baixos valores de produção.

Na tabela 2 foi utilizada a média das classificações de anomalia da vegetação do período, para a área do município de Tupanciretã. A produção de soja representa a média de sacas por hectare, para cada área da colheita de cada ano, que decorre entre os meses de Março a Maio. O coeficiente de correlação linear simples para a análise da área do município foi de 0.88. Na análise de regressão, o teste de hipótese resultou em um p-*value* = 0.000001, o coeficiente de determinação obtido foi R^2 = 0.78 para 7 graus de liberdade e a 5% de significância. Ajustando o modelo de regressão linear para as variáveis SVI e produção para a área do município obteve a seguinte equação 4.

$$Prod_{Mun} = 39{,}59991 + 19{,}58949 \times SVI_{Mun} \quad (4)$$

Tabela 2 - Resultados das médias de anomalias e média de produção do período estudado para o município de Tupanciretã – RS.

Área município de Tupanciretã		
Anos	**Produção sc/ha**	**Anomalia**
2006	12,00	-0,77
2007	37,50	0,16
2008	44,00	0,29
2009	40,00	0,02
2010	39,00	-0,12
2011	43,00	0,23
2012	50,00	0,40
2013	17,00	-1,48
2014	50,00	0,05

A Tabela 3 representa a média das classificações de anomalia da vegetação do período, para a área de lavoura analisada. O ano de 2007 não foi avaliado, pois não houve produção de soja para a lavoura no referido ano. O coeficiente de correlação linear simples para a área da lavoura resultou em um coeficiente de 0.91 que evidencia uma forte relação linear entre as variáveis, significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t de Student. Na análise de regressão, o teste de hipótese resultou em um p-*value* = 0, o coeficiente de determinação obtido foi $R^2 = 0.83$ para 13 graus de liberdade e a 5% de significância. Ajustando o modelo de regressão linear para as variáveis SVI e produção para a área de lavoura obteve a seguinte equação 5.

$$Prod_{Area} = 42{,}95841 + 24{,}71311 \times SVI_{Area} \quad (5)$$

Tabela 3 - Resultados das médias de anomalias e média de produção do período estudado para a área de lavoura localizada no município de Jóia – RS.

Área de lavoura		
Anos	**Produção sc/ha**	**Anomalia**
2001	53,03	0,74
2002	25,64	-1,00
2003	69,02	0,37
2004	19,96	-0,86
2005	5,72	-0,92
2006	32,8	-0,47
2008	52,2	0,21
2009	0,00	-1,29
2010	72,30	0,83
2011	52,80	0,85
2012	11,00	-1,65
2013	49,30	0,31
2014	50,66	0,82
2015	68,06	0,95
2016	62,61	0,33

Os coeficientes de correlação linear simples são significativas para a análise de todos os dados, com um coeficiente de 0.90 que evidencia uma forte relação linear entre as variáveis, significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t de Student. Na análise de regressão, o teste de hipótese resultou em um p-*value* = 0, o coeficiente de determinação obtido foi $R^2 = 0.82$ para 22 graus de liberdade e a 5% de significância. Ajustando o modelo de regressão linear para as variáveis SVI e produção para a análise de todos os dados, obteve a seguinte equação 6. Podemos observar o gráfico de normalidade dos resíduos (Figura 2) e o histograma dos resíduos (Figura 3).

$$Prod_{total} = 41{,}87708 + 23{,}72500 \times SVI_{\ total} \quad (6)$$

Figura 2 – Gráfico de normalidade

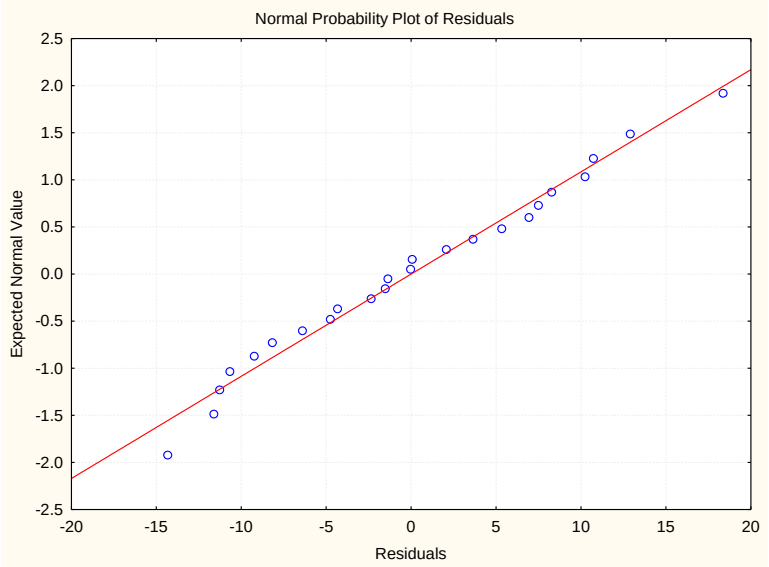
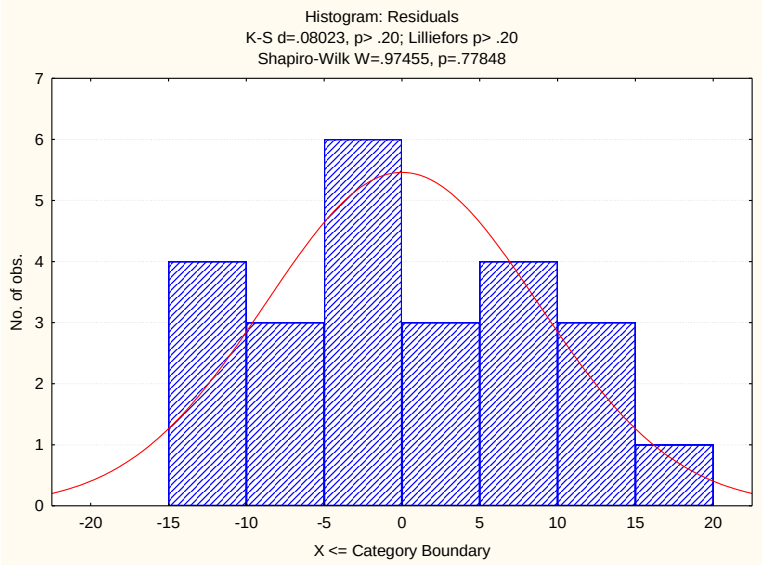


Figura 3 – Histograma dos resíduos



No gráfico de normalidade os pontos estão passando muito próximos da reta normal não havendo tendência nos dados. No histograma os testes de Kolmogorov-Smirnov = 0.08023, p > 0.20, Liliefors = p > 0.20 e Shapiro-Wilk's = 0.97455, p=0.77848 também apontaram normalidade nos resíduos já que o p-valor foi maior que 5%, concluindo que os erros são normalmente distribuídos.

4 CONCLUSÕES

A média das classificações de anomalia da vegetação que apresentou ter melhor relação entre produção e valores de anomalias, foi a classificação do mês de Fevereiro, foram os dados que mais apresentaram dependência para com os resultados de produtividade, ou seja, dos meses analisados esse é o mês mais crítico para a cultura de soja, havendo uma estiagem nesse período resultaria em baixos valores de produção.

Os resultados dos valores de anomalia do verdor da vegetação, obtidos por meio do cálculo do Índice de Vegetação Padronizado (SVI), associado aos dados de produtividade apresentaram uma boa correlação, com coeficientes de regressão linear significativos para as duas áreas de estudo.

Os coeficientes de correlação para a área de lavoura, para a área do município de Tupanciretã e para ambos os dados, foram resultados significativos evidenciando uma forte relação linear entre as variáveis, significativo a 5% de probabilidade, pelo teste t de Student, demonstrando que quanto maior for o valor de anomalia da vegetação, ou seja, quanto mais alto for o verdor da vegetação, maior será a produtividade da área.

Estudos futuros poderão ser desenvolvidos de maneira mais detalhada, para que se possa estabelecer uma previsão de safras em escala local, utilizando dados de estiagem a partir de sensores remotos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Cooperativa Agrícola Tupanciretã – AGROPAN, especialmente aos funcionários Juliana Brugine Gomes e Ricardo Heinzman pelo fornecimento dos dados necessários para a execução dessa pesquisa, a Universidade Federal de Santa Maria e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Referências Bicliográficas

HUETE, A. R.; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. J. D. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOSMODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, p. 440 – 451. 1997.

IBGE. **Cidades.** 2017. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 02.Jun.2018.

SOUSA_JÚNIOR, M. D. A., SAUSEN, T. M., LACRUZ, M. S. P. **Monitoramento de estiagem na região Sul do Brasil utilizando dados EVI/MODIS no período de dezembro de 2000 a junho de 2009**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2010.

LIU W. T., KOGAN F. Monitoring Brazilian soybean production using NOAA/AVHRR based vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, p. 1161-1180, 2002.

MANDIM, D. **Estatística descomplicada.** p.172 – 177. 1996.

MOTA, F. D., AGENDES, M. D. O., ALVES, E. G. P., SIGNORINI, E. Análise agroclimatológica da necessidade de irrigação da soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n.1, p.133-138, 1996.

SPRING. Expressão Zonal. **Manuais -** Funções do Spring. 2016. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/. Acesso em: 02.Dez.2017.

TOOL, MODIS Reprojection. **User's manual (Release 4.1).** Land Processes DAAC USGS Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. 2011.

CUSTO-BENEFÍCIO ENTRE LEVANTAMENTOS REALIZADOS PARA ÁREAS PEQUENAS COM VARREDURA A LASER TERRESTRE, FOTOGRAMETRIA COM MICRO-VANT E TOPOGRAFIA CONVENCIONAL

MARIO LUIZ LOPES REISS 1
RODRIGO DA SILVA FERRAZ 2
MAURICIO KENJI YAMAWAKI 3
ALEXANDRE DE MORAIS AMORY 4

1 Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Instituto de Geociências – IGEO
Departamento de Geodésia
Laboratório de Pesquisas em Fotogrametria – LAFOTO
2 Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto
3 Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica
Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

4 Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS
Faculdade de Ciências da Computação
Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

mario.reiss@ufrgs.br, rferraz1980@gmail.com, mauricio.yamawaki@msn.com, alexandre.amory@pucrs.br

RESUMO - Neste trabalho é apresentando um estudo de comparação entre três tipos de levantamentos terrestres para mapeamentos de áreas pequenas: (a) varredura a laser terrestre; (b) Fotogrametria baseada em micro-VANT, e Topografia Convencional. A ideia deste estudo surgiu com o objetivo de dar respostas sobre em termos de custo-benefício para um levantamento de áreas pequenas considerando as técnicas mencionadas. A área selecionada para o levantamento é um parque arqueológico de cerca de 31,9 hectares contendo vários tipos de feições a serem mapeadas. Os equipamentos utilizados foram: (a) um laser terrestre ILRIS 3D HD da marca Optech e (b) um micro-VANT eBee da marca Sensefly. O levantamento topográfico convencional propriamente dito, baseado em Estações Totais e GNSS, não foi executado para toda a área de estudo, apenas parte dela, porém, a consolidada experiência nesse tipo de levantamento ajudou a fornecer os dados necessários às comparações com os outros sistemas. Ao contrário do que se pode pensar, os resultados obtidos mostraram grande potencialidades dos sistemas envolvidos, o micro-VANT com sua rapidez e segurança no levantamento, e uma possibilidade da substituição da Topografia convencional pela varredura a laser terrestre em termos de qualidade posicional e custo compatível.

ABSTRACT - This paper presented a comparison study among three types of surveying systems for small mapping areas: (a) terrestrial laser scanning; (b) Photogrammetry based on micro-UAV, and conventional Topography. The idea of this study was to provide cost-effective answers for a survey of small areas, considering the mentioned techniques. The area selected for the survey is an archaeological park of about 31,9 hectares containing various types of features to be mapped. The equipment used was: (a) a terrestrial laser Optec ILRIS 3D HD and (b) a micro-UAV Sensefly eBee. We not performed conventional surveying, based on total stations and GNSS, to all study area, but in part of that, however, the consolidated experience in this type of survey helped us to provide the necessary know how to do the comparisons with the other systems. The results showed great potential of the systems involved, the micro-UAV with its speed and safety survey, and a possibility of replacing the conventional topography by terrestrial laser scanning in terms of positional quality and competitive cost, contrary to what we believed. photos

1 INTRODUÇÃO

Muitas pessoas que trabalham com geomensura pode ter a ideia formada de que o levantamento com sistemas de varredura a laser terrestre (SVLT) é muito caro para ser empregado em áreas pequenas. Também pode haver discussões

sobre as vantagens da utilização de levantamentos com micro-VANT (micro VANT) em áreas pequenas em comparação com os SVLT e Topografia convencional.

A definição de levantamento topográfico, segundo a NBR-13133 de 1994 estabelece que é (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994, p. 3):

> *"Conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas. A estes pontos se relacionam os pontos de detalhes visando à sua exata representação planimétrica numa escala predeterminada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também predeterminada e/ ou pontos cotados".*

Ao rigor dessa definição, qualquer instrumento de medição das grandezas mencionadas pode ser utilizado no levantamento topográfico, como os modernos SVLT, micro VANT e receptores GNSS, mas é de senso comum que a Topografia convencional é aquela realizada por meio de levantamentos diretos *in loco*, tais como: trenas, teodolitos, níveis e, modernamente, as estações totais.

A UFRGS, por meio do projeto REUNI do Governo Federal (para a expansão de vagas no ensino superior das Universidades públicas) teve acesso a recursos que proporcionaram a aquisição de vários equipamentos de ponta da área da Engenharia Cartográfica e geomensura, entre eles: três micro VANT, dois SVLT e algumas estações totais e receptores GNSS (também estações de trabalho e softwares fotogramétricos foram adquiridos). Com a existência destes equipamentos, a UFRGS propôs ao Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), a realização de novos mapeamentos topográficos (e fotogramétricos) dos parques arqueológicos das Ruínas Jesuíticas de São Miguel das Missões (Patrimônio Histórico Mundial pela UNESCO) e São Nicolau (Patrimônio Histórico Nacional pelo IPHAN). Além do levantamento topográfico dos parques está sendo realizando também o levantamento 3D das edificações históricas presentes nos sítios.

Com os dados adquiridos para a realização deste projeto (REISS et al, 2016) foi possível fazer as comparações entre as técnicas de levantamentos utilizadas, e os resultados preliminares mostraram vantagem no custo-benefício e qualidade posicional compatível do levantamento realizado com SVLT em relação ao levantamento topográfico convencional. Na comparação do levantamento com micro VANT se confirmou a qualidade superior da topografia convencional, mas com o custo-benefício inferior.

Na avaliação do custo-benefício considerou-se o tempo necessário para o levantamento de campo, o tempo de processamento em escritório, o número de profissionais envolvidos e o custo de aluguel dos equipamentos e softwares, consultados em empresas de locação. Diárias foram estimadas considerando salários do mercado atual, mas despesas de alimentação, lucros e impostos não foram considerados por serem consideradas proporcionais a todas as metodologias de levantamento.

1.2 Área de Estudo

Das duas áreas a serem mapeadas pelo projeto UFRGS/IPHAN (REISS et al, 2016) os dados adquiridos de São Nicolau ainda estão em processamento e serão objeto de análises e publicações posteriores. No presente trabalho apenas os dados de São Miguel das Missões são considerados. Estas ruínas estão localizadas no Município de São Miguel das Missões, no Estado do Rio Grande do Sul, a 490 km da Capital, Porto Alegre Fig. 1.

Fig. 1. Área de Estudo: São Miguel das Missões

O Sítio São Miguel Arcanjo está em uma área cercada de aproximadamente de 31,9 ha com um perímetro de 2.309 m (Fig. 2). Várias feições estão presentes a área, tais como: a Catedral Jesuítica de São Miguel Arcanjo, um museu, um prédio da manutenção do parque, pedras diversas das ruínas ao longo da área, caminhos, vias adjacentes, árvores e mata nativas.

Esta área de estudo é compota das seguintes coberturas de solo:

- Área densamente vegetada: área total de 11 hectares;
- Área de campo limpo (ou livre): área total de 20,2 hectares
- Área com edificações: área total de 6000 m²;
- Área de arruamentos/estradas: área total de cinco hectares.

O total das áreas é maior que a área total do parque, pois há sobreposições entre os limites de cobertura do solo.

Fig. 2. Área de Estudo: Sítio São Miguel Arcanjo

Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Google Earth (2016a).

2 LEVANTAMENTOS

O primeiro levantamento executado foi o utilizando o SVLT Optech ILRIS 3D HD e em outro momento foi realizado o levantamento fotogramétrico com micro VANT. O levantamento topográfico não foi realizado em todo o parque, apenas na região de mata nativa, de forma complementar aos levantamentos anteriores. Apesar disso, pela experiência dos membros da equipe de trabalho, pelo conhecimento consolidado das etapas envolvidas no levantamento topográfico convencional e por meio de informações obtidos por empresas de Topografia convencional, foi possível estimar para o parque todo os parâmetros necessários as comparações entre as técnicas de levantamento.

2.1 Levantamento com SVLT

O trabalho de mapeamento por SVLT (FERRAZ et al, 2016; FERRAZ, 2015) seguiu um fluxo de atividades conforme a Fig. 3.

Para o completo levantamento foram necessárias 35 estações de levantamento realizadas em três dias e dois operadores dos equipamentos. Cada estação teve o centro de fase do SVLT determinado a partir de um receptor GNSS da marca Topcon GR3 acoplado ao equipamento (Fig. 4). A diferença de fase entre o suporte que prende o receptor GNSS e centro de fase do SVLT é calibrada e fornecida pelo fabricante.

Com as feições e regiões em comum entre as múltiplas varreduras a laser terrestre (VLT) foi possível registrar (combinar) as nuvens em um único bloco. Com as coordenadas dos centros de fase das múltiplas VLT foi possível georreferenciar o bloco de nuvens de pontos e refinar os registros entre as nuvens. Este procedimento é semelhante ao antigo processo de fototriangulação por modelos independentes com formação de faixa (LUGNANI, 1987).

Parte do bloco de nuvens de pontos registradas e georreferenciadas pode ser observada na Fig. 5. Para esse levantamento nenhum ponto de apoio foi necessário no terreno, apenas um marco geodésico tomado como referência no local para a realização do processamento GNSS relativo entre a base e o receptor sobre o SVLT. Esse marco geodésico de referência foi previamente definido considerando o transporte de coordenadas utilizando a rede brasileira de monitoramento continuo (RBMC).

Fig. 3. Fluxo do processo fotogramétrico para o levantamento com SVLT

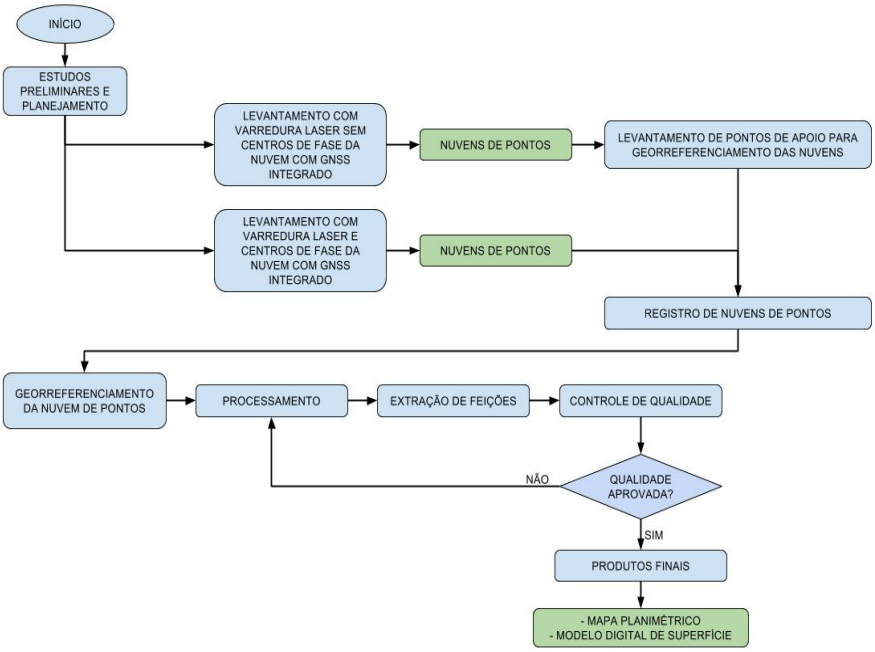


Fig. 4. SVLT Optech ILRIS 3D HD

Fig. 5. Bloco de nuvens de pontos registradas e georreferenciadas

A partir do bloco de nuvens de pontos e de um software de manipulação de nuvens foi possível extrair feições definidas e desenhar o mapa topográfico (Fig. 6).

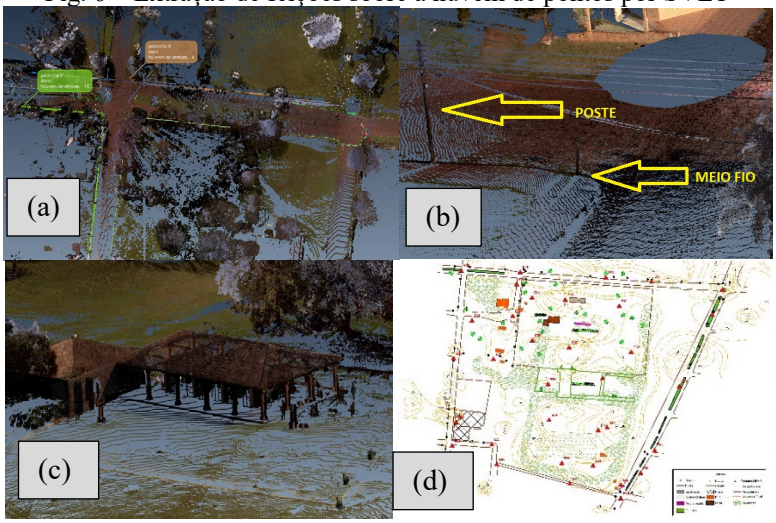
As feições consideradas para a análise são:

- Lineares:

- Linha de calçada (meio fio);
- Cerca;
- Edificações;
- Mancha de vegetação nativa;

- Pontuais
  - Postes
  - Árvores

Fig. 6 – Extração de feições sobre a nuvem de pontos por SVLT



Feições lineares (linha de calçada); (b) feições pontuais (postes); (c) feições lineares (edificações); (d) vetores extraídos

Apesar de apenas estas feições terem sido selecionadas para a extração, o número de informações possíveis de serem extraídas a partir da nuvem de pontos é proporcional às existentes na cena e à densidade de pontos. Quanto maior a densidade de pontos, porém, maior o tempo de aquisição de cada estação de levantamento. O espaçamento escolhido para esse trabalho foi de três a cinco centímetros para uma distância de 50 metros, que gerou uma densidade média no bloco de nuvens de até 400 pontos/m², excetuando-se as regiões de oclusão. Com isso, também foi possível produzir o MDS e MDT da área do levantamento. Na Topografia convencional o número de feições implica em maior tempo de campo para as aquisições, além disso, torna-se impraticável a aquisição de pontos para a geração do MDT com densidade compatível com o SVLT.

Após a extração de todas as feições de interesse, mais dois dias de campo foram necessários para a medição de pontos para o controle de qualidade posicional, totalizando para o trabalho com SVLT cinco dias de campo, mas este controle qualidade é opcional, raramente realizado pelas empresas de Topografia, e por isso foram desprezados das comparações. O tempo de processamento em escritório gasto para a extração dos vetores das feições foram iguais aos que seriam necessários considerando um levantamento topográfico convencional, dependendo da experiência do profissional. No caso deste trabalho foram necessárias 40 horas contínuas.

2.2 Levantamento com micro VANT

O micro VANT utilizado nesse trabalho foi o eBee da fabricante Sensefly, conforme a **Fig. 7**, que é classificado como um VANT de asas fixas. Esse micro VANT é equipado com uma câmara Canon PowerShot Elph 110 HS rotacionada no sistema em -90º, com resolução de 16.1 megapixel, focal de 4,37113 mm, píxel quadrado com tamanho de 1,33945 micrômetros, quadro focal 6,17219×4,62914 mm, com 4608×3456 píxeis.

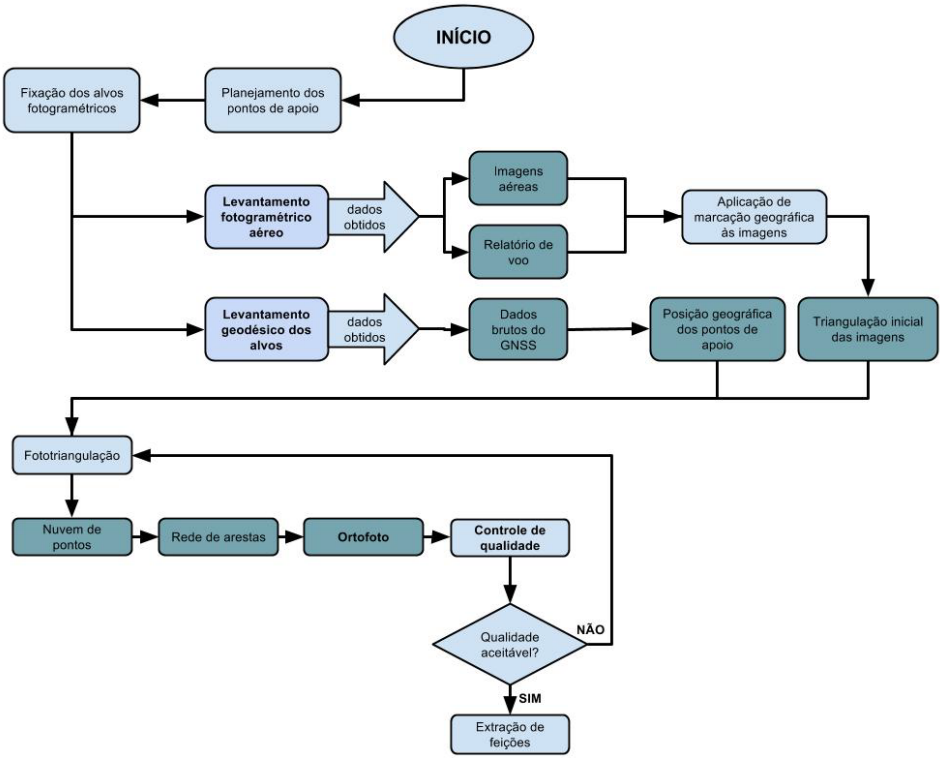
Fig. 7 – micro VANT eBee e sua câmara fotográfica

(a) (b)

(a)eBee; (b) Câmara fotográfica

O processo de mapeamento topográfico usando VANT segue ao fluxo do processo fotogramétrico, demonstrado na **Fig. 8**.

Fig. 8 – Fluxo do processo fotogramétrico para o levantamento com VANT



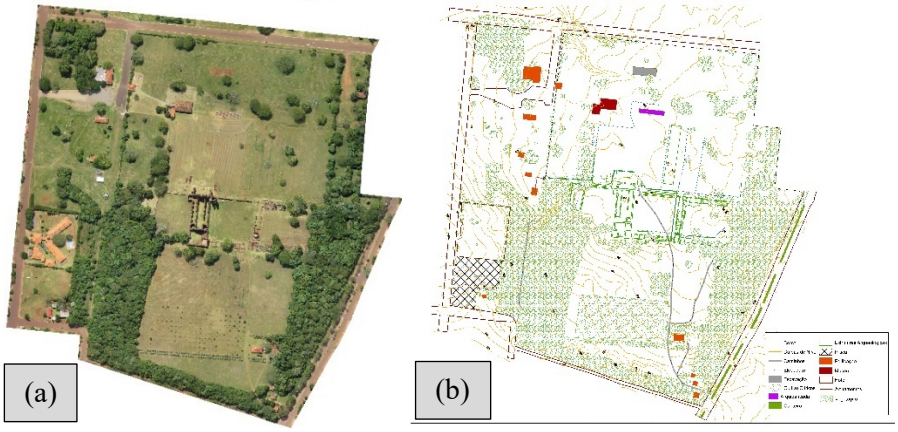
Primeiramente tem-se o planejamento do levantamento, com o estabelecimento dos parâmetros do voo de acordo com a qualidade esperada o mapeamento e a área de interesse. Depois, é feito o planejamento da distribuição dos pontos de apoio geodésico para dar suporte de coordenadas para o levantamento. Com o planejamento disponível, executou-se a distribuição dos pontos de apoio no terreno. Estes, foram confeccionados em pano com padrão xadrez preto e branco, com área de 1m×1m e cinco pontos de fixação por pregos.

No fluxo fotogramétrico convencional não se deve medir os pontos de apoio pré-sinalizados antes ou durante a execução do voo, pois há o risco de os pontos serem movidos por transeuntes e estes não aparecerem nas fotos, o que acarretaria na perda de tempo com a medição inicial. Mas no caso de micro VANT, sendo a área pequena, esse risco é menor. Foram fixados 30 pontos pré-sinalizados, dos quais, 10 foram considerados como apoio, e 20 pontos de checagem para o controle de qualidade. Voo e controle de qualidade da fototriangulação podem ser feitos no mesmo dia. Um dia adicional poderia ser necessário para o controle de qualidade do mapeamento a ser gerado, mas esse dia adicional foi desprezado pelos mesmos motivos apresentados para o levantamento SVLT. Após a fixação dos pontos de apoio, fez-se então a execução do voo planejando por meio de um software que calcula os dados do planejamento e controla o micro VANT em campo, denominado eMotion 2. Na sequência, fez-se a medição dos pontos de apoio utilizando dois receptores GNSS (processamento relativo com uma base materializada no local). Como mencionado, essa medição dos pontos de apoio poderia ser realizada durante a execução do voo fotogramétrico, porém apenas um operador realizou toda a

operação, sendo necessário assim que esses dois processos fossem sequenciais. O posicionamento relativo cinemático (denominado RTK, *Real Time Kinematic*), quando foi utilizado, teve o objetivo apenas de proporcionar segurança na fixação da solução das coordenadas dos pontos de apoio. O posicionamento GNSS utilizado foi o relativo pós-processado. Depois de levantados todos os dados em campo durante apenas um dia, considerando a pré-sinalização dos pontos de apoio, montagem e desmontagem do sistema de operações do micro VANT, a execução do voo e o levantamento dos pontos de apoio, e recolha dos sinais dos pontos de apoio, estes foram processados em escritório.

Vários softwares estão disponíveis na UFRGS, também por meio do projeto REUNI, que foram solicitados e contemplados: pacote ERDAS LPS, pacote INPHO, Agisoft PhotoScan e Pix4D, este último na versão Terra 3D que vem junto com eBee. Uma sequência de procedimentos foi realizada, que se baseia em: gerar a fototriangulação, densificar pontos de terreno por medição de pontos homólogos e realizar suas respectivas intersecções de raios homólogos, gerar a malha irregular sobre os pontos de terreno adensados, melhorar o modelo digital de superfície, e com ele, gerar uma ortofotos-verdadeiras. Todos estes procedimentos foram realizados no software Agisoft Photoscan. Com essa ortofoto gerada, fez-se então a extração das feições de interesse utilizando-se o software ArcGIS. O procedimento convencional, e outros em estudo, estão sendo utilizados, mas com resultados vindo a fazer parte de publicações futuras. Neste trabalho buscou-se realizar os procedimentos com o menor custo de tempo. O resultado foi o mapa vetorial apresentados na Fig. 9.

Fig. 9 – Extração de feições sobre a ortofoto-verdadeira.



(a) ortofoto-verdadeira; (b) vetores extraídos

3 CUSTO DOS LEVANTAMENTOS

Como o levantamento por Topografia convencional não foi executado e para se ter parâmetros de comparação, foram solicitados orçamentos detalhados para empresas de topografia considerando a área de estudo descrita na Seção 1.1, sendo obtido reposta da empresa Geosul Sistemas e Serviços Topográficos Ltda, tendo como época de referência janeiro de 2018. Esse orçamento foi adaptado considerando os equipamentos disponíveis na UFRGS, com auxílio da Empresa Santiago & Cintra, que nos forneceu parâmetros de cálculo dos alugueis de equipamentos. Desta forma foi possível simular como se todos os equipamentos utilizados na UFRGS tivessem sido alugados. Além disso, a experiência em relação aos levantamentos topográficos ajudou na elaboração das comparações, que são apresentadas nas Tabelas 1 e 2. É possível verificar a grande vantagem de tempo que há para as execuções dos levantamentos usando SVLT e micro VANT em relação à Topografia convencional: 8 dias para SVLT e 5 dias para micro VANT, contra 22 dias da Topografia convencional. Considerar o processo de controle de qualidade dos resultados, que pode ser opcional para determinadas necessidades, o total de dias de levantamento pode subir em um dia para SVLT e micro VANT, contra os mesmos 22 para a Topografia convencional. O processo de controle de qualidade da Topografia convencional não é executado na maioria destes levantamentos, tendo em vista dificuldade se encontrar técnicas de melhor qualidade que a própria Topografia convencional para ser usada como referência.

Em relação à necessidade de profissionais para a execução e produção dos resultados finais dos levantamentos, considerando ainda que pelo menos um dos profissionais envolvidos no campo pode ser o mesmo que produza os resultados no escritório, a necessidade total de profissionais para os levantamentos é de dois para SVLT, um pra micro VANT, e 5 para Topografia convencional. Com isso, para os levantamentos SVLT e micro VANT, há uma considerável redução do custo de mão de obra e um grande aumento de eficiência na produção dos resultados, além da segurança, pois a maior parte do processo é dada em escritório e não no campo.

Em termo de custo de mão de obra, utilizou-se para a coordenação da equipe de trabalho um Engenheiro, que pode ser Cartógrafo e ou Agrimensor, com seu salário tomado como base o mínimo para a categoria. Já para técnico em

topografia e os auxiliares de topografia, como não há mínimo para as categorias, pesquisou-se o valor médio no portal Catho (http://www.catho.com.br/) (CATHO, 2016). Esses valores de salário foram expressados em diárias.

Tabela 1 – Comparação entre custos de pessoal e tempo para a realização do levantamento

Análise	SVLT	micro VANT	Topografia
Levantamento de Campo			
Número de dias	3	1	15
Número de profissionais envolvidos	2	1	5
Descrição dos profissionais envolvidos	• 1 Engenheiro • 1 Auxiliar de topografia	1 Engenheiro	• 1 Engenheiro • 4 Auxiliares de topografia
Respectivos salários em diárias	• R$ 235,00 • R$ 44,00	R$ 235,00	• R$ 235,00 • R$ 44,00
Total do custo de mão de obra	R$ 837,00	R$ 235,00	R$ 4.185,00
Processamento em Escritório			
Número de dias	5	4	7
Número de profissionais envolvidos	1	1	1
Descrição dos profissionais envolvidos	1 Engenheiro	1 Engenheiro	1 Topógrafo
Respectivos salários em diárias	R$ 235,00	R$ 235,00	R$ 121,00
Total do custo de mão de obra	R$ 1.175,00	R$ 940,00	R$ 840,00
Totais			
Dias para a realização do trabalho	8	5	22
Custo de mão de obra	R$ 2.012,00	R$ 1.175,00	R$ 5.025,00

A **Tabela 2** apresenta a comparação dos custos relativos aos equipamentos envolvidos nos levantamentos. Os custos desta tabela foram elaborados considerando a simulação de aluguel dos equipamentos. Para os softwares, como não é comum o aluguel, fez-se as suas depreciações considerando seus valores para uma vida útil de três anos e proporcional aos dias de uso.

Tabela 2 – Comparação entre custos relativos aos equipamentos e softwares envolvidos no levantamento.

Análise	SVLT	micro VANT	Topografia
Levantamento de Campo			
Número de dias	3	1	15
Equipamentos envolvidos	• 1 SVLT • 1 par de receptores GNSS de dupla frequência	• 1 micro VANT • 1 par de receptores GNSS de dupla frequência	• 1 estação total • 1 par de receptores GNSS de dupla frequência • 1 par de prismas (incluso no aluguel da estação total)
Diárias para aluguel dos respectivos equipamentos*	• R$ 3400,00 • R$ 720,00	• R$ 1.260,00 • R$ 720,00	• R$ 230,00 • R$ 720,00
Total de custos com equipamentos	R$ 12.360,00	R$ 1.980,00	R$ 14.250,00
Processamento em Escritório			
Número de dias	5	4	7
Softwares utilizados	• 1 Polywork • 1 Topcon Tools • 1 CAD	• 1 eMotion (controle e faz o pré-processamento dos dados do micro VANT) • Agisoft Photoscan • 1 Topcon Tools • 1 CAD	• 1 Topcon Tools • 1 CAD
Diárias considerando depreciação dos respectivos softwares envolvidos	• R$ 146,00 • R$ 27,00 • R$ 91,00	• Incluso no aluguel do micro VANT • R$ 55,00 • R$ 27,00 • R$ 91,00	• R$ 55,00 • R$ 91,00
Total de custos com softwares	• R$ 1.320,00	• R$ 692,00	• R$ 1.022,00
Totais			
Dias para a realização do trabalho	8	5	22
Custo com equipamentos e softwares	R$ 13.680,00	R$ 3.155,00	R$ 15.272,00

A **Tabela 3** apresenta os totais dos custos dos levantamentos.

Tabela 3 – Custo total dos levantamentos realizados

Dias para a realização do trabalho	8	5	22
Custo de mão de obra	R$ 2.012,00	R$ 1.175,00	R$ 5.025,00
Custo com equipamentos e softwares	R$ 13.680,00	R$ 3.155,00	R$ 15.272,00
Custo do trabalho (mão de obra, equipamentos e softwares)	R$ 23.692,00	R$ 9.330,00	R$ 42.297,00

4 RESULTADOS E ANÁLISE

Os produtos finais obtidos foram dois mapas vetoriais, um obtido pela extração de feições sobre a nuvem de pontos, oriunda do SVLT, e outro obtido da extração de feições da ortofoto-verdadeira, produzida a partir das fotos do micro VANT eBee. Observa-se (**Fig. 10**) que há poucas diferenças entre os vetores extraídos. Uma das principais diferenças está na vegetação. A extração dos limites da vegetação nativa no SVLT não é tão eficaz quanto na Fotogrametria e na Topografia. Houve oclusões que impediram determinar todo o limite da mancha vegetal nativa no SVLT. Na Fotogrametria, porém, esses limites estão bem definidos. Por outro lado, a determinação da posição central de árvores isoladas é melhor no SVLT do que na Fotogrametria, pois a copa das arvores impedem a visualização do tronco das arvores; neste caso a Topografia teria a mesma eficácia do SVLT. Edificações, cercas, postes, arruamentos e feições que podem ser oclusas por outras, o SVLT tem grande eficácia na extração e mapeamento.

O controle de qualidade posicional do mapeamento fotogramétrico na área de estudo foi realizado e obteve-se uma qualidade de 1,2 pixel (12 cm) para planimetria e 2,5 (25 cm) para a altimetria geométrica – a resolução das imagens no terreno foi de 10 cm. No SVLT, o resultado obtido foi de 10,2 cm para a planimetria; a altimetria ainda está em avaliação. Num levantamento por Topografia para uma área como a de estudo o resultado possível de ser obtido é de cinco centímetros para planimetria e altimetria.

A análise principal realizada foi a da eficiência. Nela se compara tanto o custo financeiro quanto o de tempo para a realização dos três levantamentos. O custo do equipamento e softwares foi considerado baseado no valor de aluguel. Para a mão de obra considerou-se não o salário dos profissionais, mas a quantidade de horas necessárias para a realização das atividades. Evidentemente que profissionais mais experientes e qualificados têm condições de realizar os procedimentos em menor tempo, porém com maior custo e um terço do tempo.

Fig. 10 – Comparação entre levantamentos SVLT e VANT.

Mapa vetorial extraído da SVLT; (b) Mapa vetorial extraído da ortofoto-verdadeira

Pela **Tabela 2** é possível observar que o valor diário dos equipamentos utilizados para o levantamento com VLT é muito alto em relação aos demais métodos de levantamento. Porém, como o número de dias necessários para a aquisição de dados com VLT é baixo (3) em relação à Topografia (15), o custo total acaba sendo menor. Já o custo com equipamentos do levantamento com micro VANT é muito menor em relação aos demais (cerca de 16% em relação à VLT e 14% em relação à Topografia convencional). Com relação à comparação com os custos dos softwares, micro VANT

também tem menor custo que os demais métodos de mapeamento (23% em relação à VLT e 21% em relação a Topografia convencional).

Os custos de mão de obra são os que mais evidenciam que, para a área mapeada, o custo de Topografia convencional seria o quase o dobro em relação à VLT e quatro vezes em relação a micro VANT.

Nos custos totais, a Topografia convencional teve o valor de R$ 42.297,00, um pouco menos que o dobre do valor do levantamento com VLT (R$ 23.692,00) e mais que o quadruplo do levantamento com micro VANT (R$ 9.330,00). A principal desvantagem da Topografia convencional, e vantagem dos demais levantamentos, é o tempo para a execução e processamento. Quanto mais tempo de campo e de processamento, maiores os custos de mão de obra. Também, uma medida não mensurada neste trabalho, quanto maior o tempo de permanência e o número de pessoas em campo, maiores os riscos de acidentes.

5 CONCLUSÕES

Esta comparação entre estes métodos e equipamentos de medição trouxe a desmitificação de que levantamentos topográficos com SVLT são mais caros que com Topografia convencional. Pelo menos isso não se observou nos levantamentos feitos na região das missões e no apresentado neste trabalho.

As qualidades posicionais obtidas mostraram o levantamento com SVLT é duas vezes pior que os feito com Topografia, porém com quase metade do custo. micro VANT foi o melhor custo-benefício entre os sistemas de mapeamento, com apenas um dia par a o levantamento da área de estudo, e cinco dias para todo resultado de todo o mapeamento, que é quatro vezes mais rápido que a Topografia convencional e quase duas vezes (1,6) vezes mais rápido que o levantamento com SVLT.

Para trabalhos futuros recomenda-se a comparação das mesmas técnicas de mapeamento em outras áreas e de dimensões diferentes, para validar com mais confiança os resultados obtidos neste trabalho

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IPHAN-RS por meio do Termo de Cooperação 01/2013 UFRGS/IPHAN-RS, à CAPES por meio do projeto Pró-Alertas (88887.091734/2014-01), ao projeto REUNI do Governo Federal, que proporcionou a aquisição dos equipamentos utilizados no trabalho, à UFRGS pela cessão dos equipamentos e espaço físico para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). NBR 13133: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994.

CATHO. Guia de Profissões. Disponível em: <http://www.catho.com.br/>. Acesso em 28/01/2018.

FERRAZ, R. da S.; **Levantamento Topográfico do Parque Arqueológico São Miguel Arcanjo por Varredura Laser Terrestre.** Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Cartográfica. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS – BR, 2014.

FERRAZ, R. da S.; SOUZA, S. F. de; REISS; M. L. L. Laser Scanner Terrestre: teoria, aplicações e prática. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 4, n. 2 (2016).

GOOGLE. **Google Earth Pro. Versão** 7.1. 2016. Nota (Sítio São Miguel Arcanjo, São Miguel das Missões – RS). Disponível em: <http://www.google.com/ intl/pt-BR/earth/download/gep/agree.html>. Acesso em 02/01/2018.

LUGNANI, J. B. **Introdução à Fototriangulação**. Curitiba: UFPR, 1987.

REISS, M. L. L.; ROCHA, R. S. da; FERRAZ, R. S.; CRUZ, V. C.; MORADOR, L. Q.; YAMAWAKI, M. K.; RODRIGUES, E. L. S.; Cole, J. O.; Mezzomo, W. **Data integration acquired from micro-uav and terrestrial laser Scanner for the 3d mapping of jesuit ruins of são miguel das missões.** The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B5, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic.

DADOS DE NDVI NA ANÁLISE DE ÁREA URBANA NO MUNICÍPIO DE CARUARU - PE

EVELY FERREIRA DO NASCIMENTO
LEIDJANE MARIA MACIAL DE OLIVEIRA
ULISSES ALENCAR BEZERRA
DÉBORA NATÁLIA OLIVEIRA DE ALMEIDA

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE e Departamento de Engenharia Civil, Recife, PE
evelyfnascimento@hotmail.com, leidjaneoliveira@hotmail.com; ulisses.alencar17@gmail.com;
debora.nathalia21@gmail.com;

RESUMO - O Sensoriamento Remoto é uma tecnologia que pode ser empregada e muito útil no apoio ao planejamento urbano, sendo uma de suas aplicações o uso na análise da expansão urbana, buscando melhorar a identificação de áreas de crescimento da cidade e compreender de forma eficaz o crescimento e expansão do município. Este estudo objetivou constatar o crescimento de áreas construídas em parte urbana da cidade de Caruaru - Pernambuco, no período de 10 anos, utilizando imagens orbitais dos sensores TM e OLI, de 29/08/2007 e 12/11/2017 respectivamente, e o índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). O método identificou um crescimento de 59% de área construída no município no intervalo de tempo avaliado.

ABSTRACT - Remote Sensing is a technology that can be used and very useful in the support of urban planning, one of its applications being the use in the analysis of urban expansion, seeking to improve the identification of areas of growth of the city and to effectively understand the growth and expansion of the municipality. This study aimed to verify the growth of areas built in an urban part of the city of Caruaru - Pernambuco, over a period of 10 years, using orbital images of the TM and OLI sensors, of 08/29/2007 and 11/12/2017 respectively, and the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) vegetation index. The method identified a growth of 59% of constructed area in the municipality in the evaluated time interval.

1. INTRODUÇÃO

Diversos estudos têm demonstrado que o acelerado processo de crescimento das cidades é um fenômeno constante na realidade hodierna, criando situações específicas que devem ser avaliadas por meio de uma monitoração permanente dos cenários em constante alteração. Neste particular, as técnicas de Sensoriamento Remoto são ferramentas que desempenham um importante papel no processo de planejamento e reestruturação do ambiente urbano, pois as imagens permitem identificar as características dos objetos e correlacioná-los às origens dos agentes modificadores do espaço. Além disso, permitem verificar a extensão e a intensidade das alterações provocadas pelas ações antrópicas (MENESES et al., 2012).

Para análise de cobertura do solo, um dos índices bastante utilizado é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Quando pesquisaram a área urbana da cidade de Marabá-PA, Junior e Fuckner (2007) fizeram o mapeamento usando este índice e constataram que as principais ocorrências de modificação do NDVI de 1984 para 2007 estão associadas principalmente às áreas de expansão urbana como Nova Marabá e Cidade Nova.

Em Caruaru, o centro urbano onde se concentra a maior dinâmica econômica da cidade, com a atividade comercial, é um território impulsionador da ocupação urbana e do desenvolvimento da cidade. A perspectiva de expansão decorre principalmente do processo socioeconômico-cultural onde o comércio se apresenta como o principal fator que impulsionou e impulsiona a expansão urbana (NERY et al., 2016).

Siqueira et al. (2017) avaliaram quantitativamente os parâmetros obtidos por sensoriamento remoto na área do município de Caruaru-Pernambuco, usando imagens do sensor TM datadas de 22/04/1995 e 07/04/2007, e constataram uma expansão territorial considerável da mancha urbana.

Este trabalho tem como objetivo analisar o crescimento de área urbana deste mesmo município por meio do cálculo do NDVI, aplicado em imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 8, para um intervalo de tempo de 10 anos (2007 a 2017).

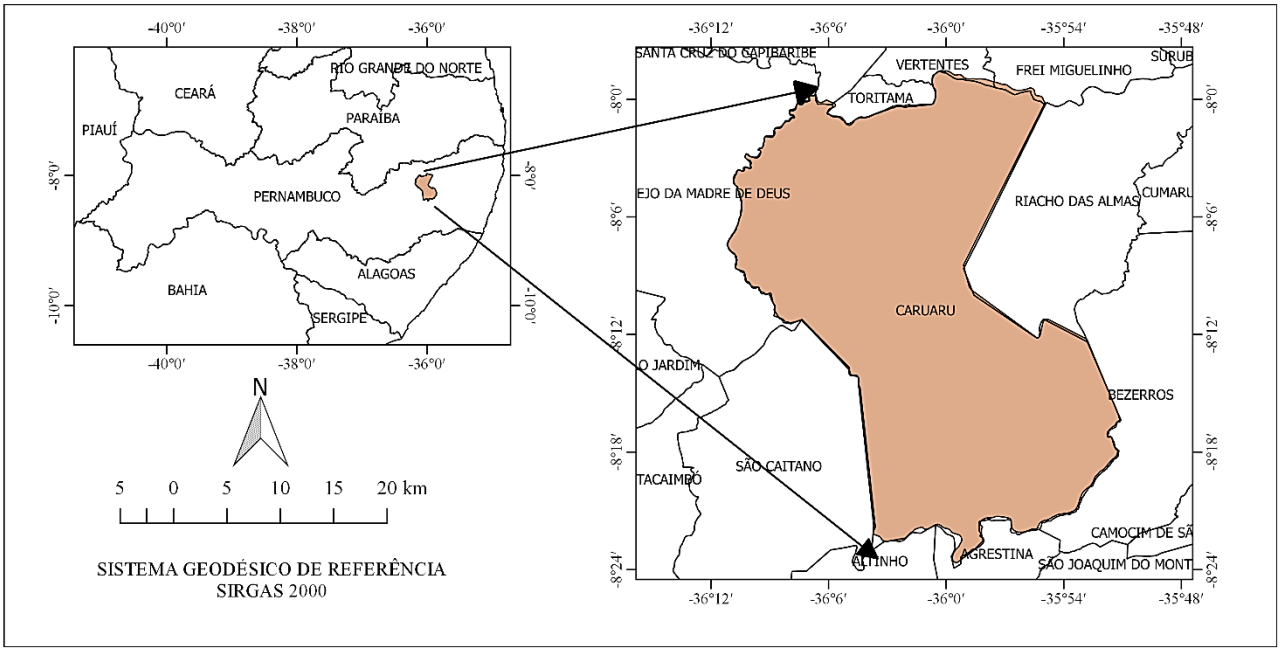
2. METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende o centro urbano do município de Caruaru (Figura 1), que teve escolha baseada nas transformações ocorridas ao longo dos últimos dez anos.

O município pertence ao Agreste pernambucano com altitude média da sede municipal de 533,54 m e área de 920,61 km^2. Em 2007, a população foi contabilizada em 289.086 habitantes e no ano de 2017 em 356.128 habitantes, um aumento de aproximadamente 23%, conforme informações encontradas na Base de Dados do Estado (BDE) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Figura 1 – Localização da área de estudo

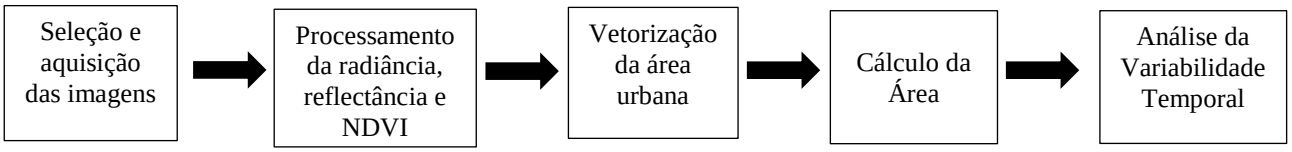


Fonte: Autores (2018)

2.2 Processamento dos Dados

A Figura 2 apresenta os processos e suas respectivas etapas na aplicação da metodologia com sensoriamento remoto no software de livre acesso QGIS, que compreende desde a seleção e aquisição da imagem até a análise da variabilidade temporal do índice.

Figura 2 – Fluxograma da metodologia



Fonte: Autores (2018)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi obtido a partir das duas bandas espectrais da imagem de satélite adquirida, a do vermelho e do infravermelho próximo, conforme a equação proposta por Rouse et al. (1973), e apresenta uma variação entre -1 e 1. Os valores positivos e mais próximos de 1 constituem superfícies com maior índice de vegetação, enquanto que os valores negativos equivalem a água ou nuvens. Os valores próximos de zero representam rochas e solo exposto pois eles refletem na faixa do vermelho e infravermelho próximo quase na mesma proporção.

As imagens utilizadas para o cálculo do NDVI foram dos satélites Landsat 5 (Land Remote Sensing Satellite) sensor TM (Thematic Mapper) e Landsat 8 sensor OLI (Operational Land Imager), com resolução espacial de 30 metros, nas datas indicadas na Tabela 1. O intervalo de 10 anos entre as imagens objetivou mostrar em maior escala o avanço da área urbana sobre as áreas com vegetação.

Para o ano de 2007 foi utilizada a imagem do satélite Landsat 5, enquanto que para o ano de 2017, a imagem do Landsat 8, visto que o Landsat 5 encerrou o imageamento em 2013.

Tabela 1: Especificação das cenas usadas no cálculo do NDVI.

SENSOR	Resolução Espacial	Órbita-ponto	Data
L5- TM	30 metros	214/066	29/08/2007
L8 - OLI			12/11/2017

Fonte: Autores (2018)

Para a calibração radiométrica da imagem obtida pelo sensor TM – Landsat 5, aplicou-se a equação obtida em Chander, Markham e Helder (2009).

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

Em que: "a" e "b" são radiâncias espectrais mínimas e máximas ($Wm^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$);

ND é a intensidade do pixel (número inteiro entre 0 e 255) ;

"i" cada banda do satélite Landsat 5.

Com a radiância de cada banda da imagem do TM-Landsat 5 processada, realizou-se a determinação das reflectâncias para ambas as bandas. A reflectância corresponde a equação obtida em Allen et al. (2007)

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi L \lambda_i}{k_{\lambda i} \cos Z d_r} \quad (2)$$

em que:"$L\lambda_i$" é a radiância espectral de cada banda;

"$k_{\lambda i}$" é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($Wm^{-2}\ \mu m^{-1}$);

"Z" é o ângulo zenital solar

"d_r" é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (ro) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DSA).

O quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (ro) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DSA), ou seja, o d_r foi definido pela equação

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{DSA 2\pi}{365}\right) \quad (3)$$

em que o argumento em função do cosseno está em radianos. O valor médio anual de dr é igual a 1 e o mesmo varia entre 0,97 e 1,03, aproximadamente.

Nos casos em que a área de estudo tem declividade pequena ou nula, o cosseno do ângulo de incidência da radiação solar é simplesmente obtido a partir do ângulo de elevação do sol (E), que se encontra no cabeçalho da imagem, definido por :

$$\cos Z = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) \quad (4)$$

em que o argumento em função do cosseno está em radianos.

Para as bandas do sensor OLI – Landsat 8, a reflectância monocromática também foi calculada convertendo-as para reflectância planetária a partir do coeficiente de reescalonamento de reflectância informado no arquivo metadados da imagem (MTL file), conforme equação obtida em Silva et al. (2016)

$$\rho\lambda'_i = M_{pi} * Q_{cal} + A_p \quad (5)$$

em que: $\rho\lambda'_i$ é a reflectância planetária sem a correção do ângulo solar;

M_{pi} é o fator multiplicativo de cada banda, encontrado no arquivo metadados (REFLECTANCE_MULT_BAND_i);

"A_p" é o coeficiente de adição encontrado no arquivo metadados (REFLECTANCE_ADD_BAND_i);

"i" refere-se ao número da banda;

"Q_{cal}" são os números digitais correspondentes a cada banda da imagem.

Porém, se faz necessário corrigir a reflectância de acordo com o ângulo zenital (Silva et al. 2016):

$$\rho\lambda_i = \frac{\rho\lambda'_i}{Sen(\theta_{SE}) * \left(\frac{1}{d^2}\right)} \quad (6)$$

em que: "$\rho_{\lambda i}$" é a reflectância planetária com a correção do ângulo zenital;

"θ_{SE}" é o de elevação solar;

"d" é distância Terra-Sol; presente no arquivo metadados.

O NDVI foi obtido pela razão entre a diferença das reflectâncias do infravermelho próximo (ρ_{iv}) e do vermelho (ρ_v), e a soma das mesmas.

$$NDVI = \frac{(\rho_{iv} - \rho_v)}{(\rho_{iv} + \rho_v)} \quad (7)$$

Silva e Silva (2017), atribuíram valores de NDVI de -1 a -0,058 para a classe que corresponde a corpo hídrico, -0,058 a 0,058 para solo exposto e afloramento rochoso e 0,058 a 0,21 para a classe que corresponde a área Urbana no Parque Estadual Serra da Tiririca (PESET), que é uma unidade de conservação de proteção integral, localizada na região litorânea do Estado do Rio de Janeiro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o processamento do NDVI, foram atribuídas classes (cores) a intervalos que correspondem aos diferentes números de NDVI, no intervalo que varia de -1 a 1. A estatística dos valores obtidos de NDVI para as duas épocas são detalhados na Tabela 2, onde a maior variação encontra-se no valor mínimo.

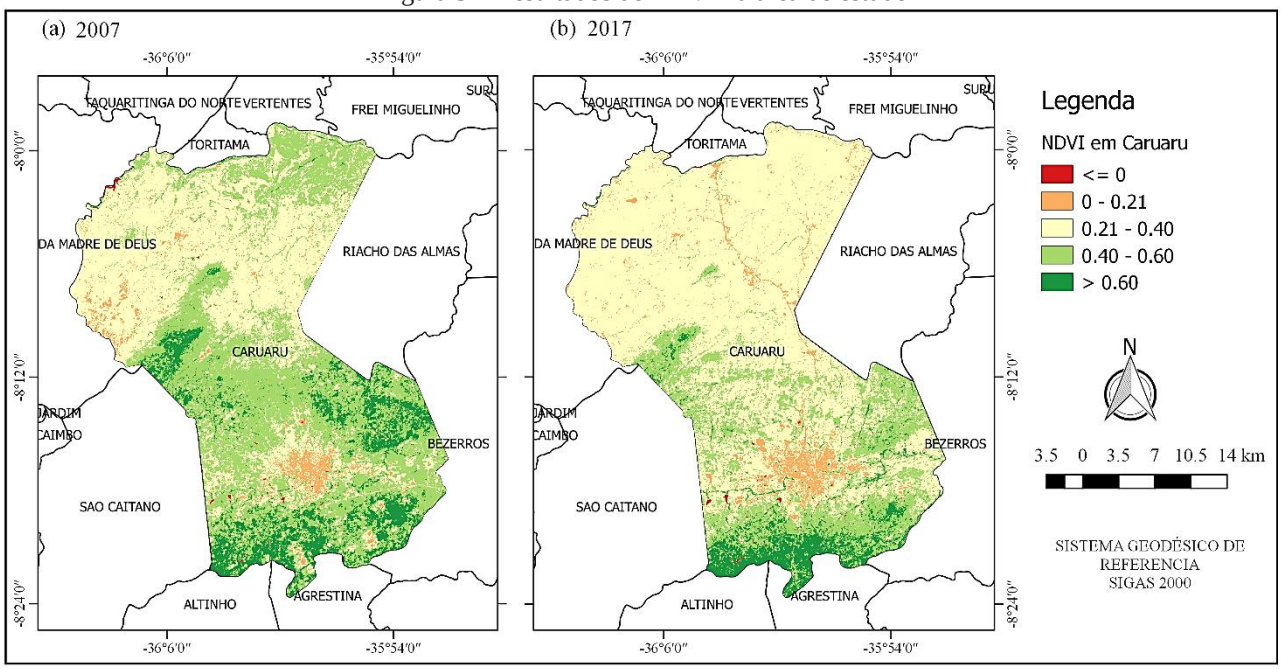
Tabela 2 – Valores estatísticos de NDVI

NDVI				
Ano	**Mínimo**	**Média**	**Máximo**	**Desvio padrão**
2007	-0,07	0,31	0,78	0,12
2017	-0,42	0,35	0,85	0,10

Fonte: Autores (2018)

Para Silva e Silva (2017), uma dificuldade foi determinar os intervalos para as classes afloramento rochoso e área urbana, devido aos valores dessas classes serem muito próximos um do outro, dificultando sua distinção, sendo assim não foi possível separar totalmente as duas classes mencionadas. A classificação foi feita conforme a Figura 3.

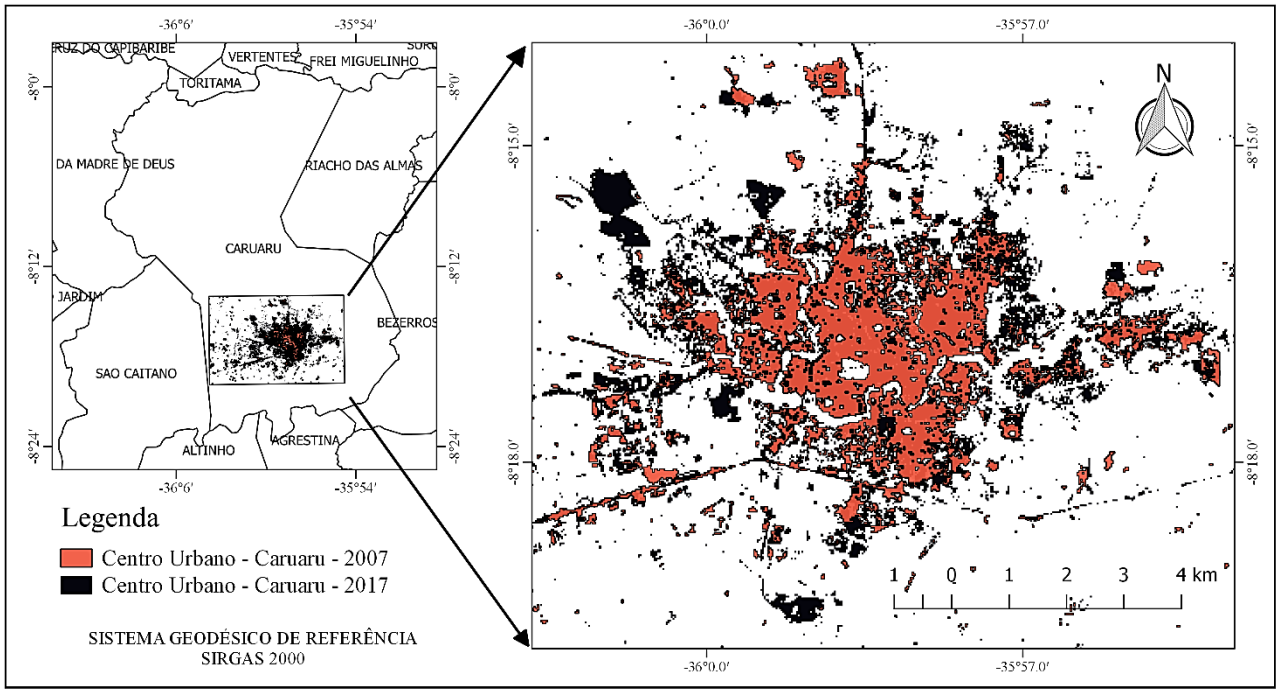
Figura 3 – Resultados de NDVI na área de estudo



Fonte: Autores (2018)

Ao aplicar o NDVI nas imagens de satélite, foi possível observar que o Centro Urbano do município de Caruaru apresentou um crescimento considerável no intervalo avaliado (Figura 4). O contraste das cores possibilitou uma visualização mais detalhada, onde a cor em preto representa a expansão territorial com 10 anos de variabilidade temporal.

Figura 4 – Comparação do crescimento Urbano em Caruaru



Fonte: Autores (2018)

O crescimento da área construída/solo exposto/afloramento rochoso detectado pelo NDVI no Centro Urbano de Caruaru, representado através de polígonos na Figura 4, possibilitou quantificar esse crescimento, conforme a Tabela 02, o qual foi de 59% no ano de 2017 em relação ao ano de 2007.

Tabela 02. Área Urbana no Centro de Caruaru nos anos de estudo.

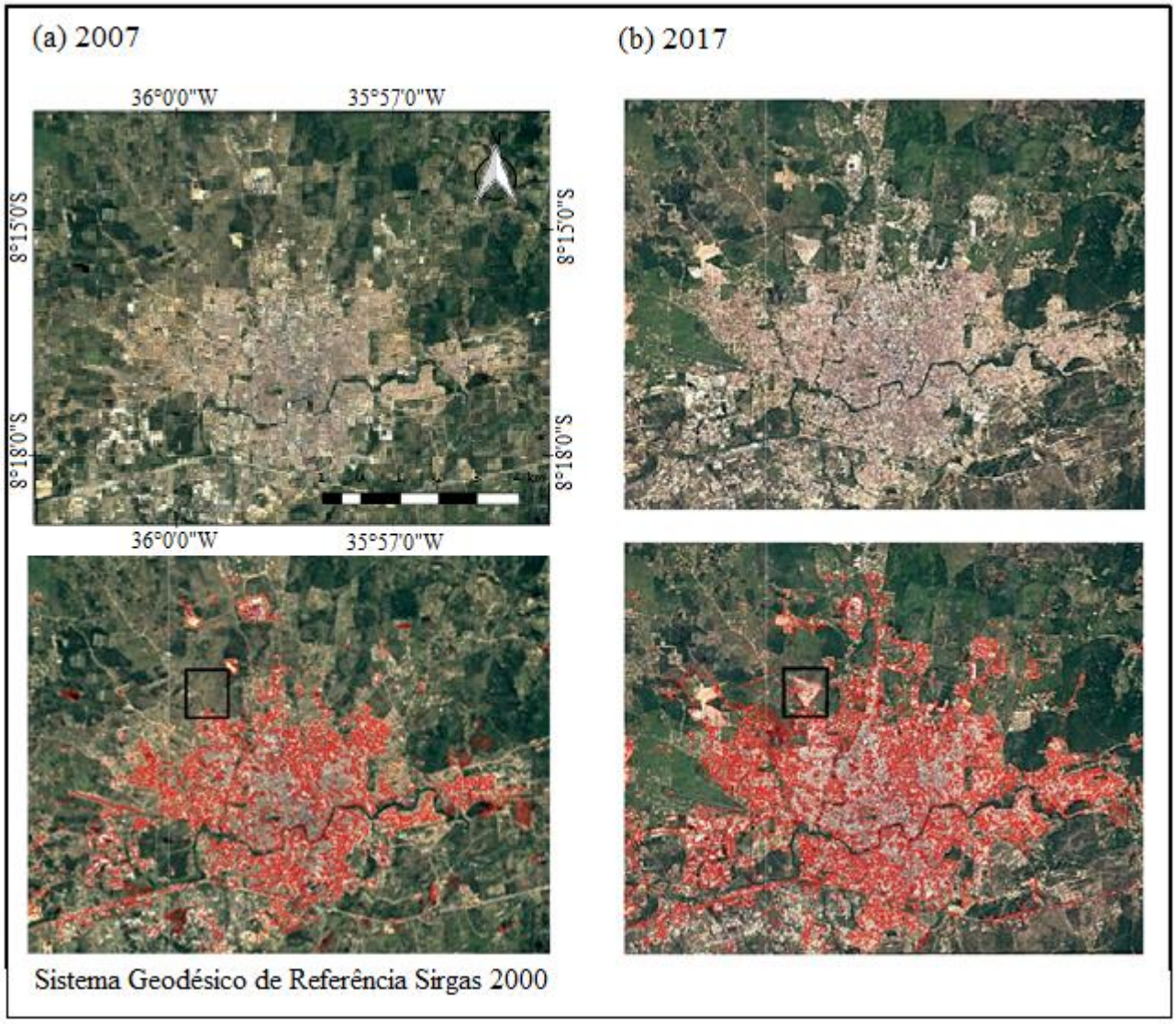
Ano	Área Identificada da Área Urbana (ha)
2007	1574
2017	2672

Fonte: Autores (2018)

Siqueira et al. (2017) observaram em seu estudo, uma expansão territorial considerável da mancha urbana de aproximadamente 120,91% em doze anos (1995 a 2007) no município de Caruaru-PE.

Os resultados obtidos neste trabalho condizem com Oliveira e Amorim (2017), que afirmaram que de 2004 a 2015 foram aprovados 54 novos empreendimentos que promoveram a expansão do tecido urbano. Também foram feitas comparações com as imagens do Google Earth dos anos de 2007 e 2017, como mostra a Figura 5, onde os dados Shape (*.shp) foram convertidos em KML para que fossem importados no Google Earth sobrepondo as imagens.

Figura 5 – Comparação dos resultados com imagens do Google Earth



Fonte: Autores (2018)

4. CONCLUSÃO

A técnica do NDVI mostrou-se uma ferramenta útil para diagnóstico espaço temporal, pois além de demonstrar as condições da área com relação à vegetação, possibilitou a representação da área urbana no centro urbano de Caruaru. Visto que há dificuldade de definir um intervalo do índice que corresponda exatamente a área urbana construída e solo exposto, há a necessidade de um estudo mais detalhado por parte do pesquisador sobre a área para resultados mais precisos da classe.

A diferença temporal de cerca de 10 anos foi pertinente e relevante para indicar como a vegetação está perdendo espaço frente a expansão urbana. O uso de ferramentas de sensoriamento remoto serve como instrumento capaz de auxiliar na gestão urbanística e ambiental dos municípios.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela da bolsa de Iniciação Científica do primeiro autor (EDITAL FACEPE 01/2018 - BIC-1317-3.07/18), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo incentivo a pesquisa e concessão de bolsas Pós-Graduação do terceiro autor, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (*CNPq*) pela bolsa de Iniciação Científica do quarto autor (PIBIC/CNPq/UFPE/2017-2018) e ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) pela disponibilização gratuita das imagens utilizadas na pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, R.G., Tasumi, M. Trezza, R., 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 133, 380-394.

BDE. Base de Dados do Estado. **Estimativa da população residente.** Disponível em <http://www.bde.pe.gov.br/visualizacao/VISUALIZACAO_FORMATO2.ASPX?COD=3&codPermissao=&codFormatacao=876&codInformacao=288> . Acesso em Agosto de 2018.

CHANDER, G; MARKHAM, B.L; HELDER, D.L. (2009). **Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors**. Remote Sensing of Environment, Manuscrito: RSE-D-08-00684. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20090027884.pdf>. Acessado em Agosto de 2018.

JUNIOR, O. M. S. FUCKNER, M. A. (2007). **Análise comparativa dos dados de NDVI obtidos de imagens TM/Lansat 5 na área urbana da cidade de Marabá – PA para os anos de 1984 e 2007**. In: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Meio Ambiente e Sociedade. BELÉM, PA, 13 pp

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. 2005. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf >. Acessado em Março de 2018.

MENESES, P. R. ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: CNPQ, 2012.

NERY, N. S. et al. **O comportamento do Mercado Imobiliário como resposta a expansão do Centro Urbano De Caruaru-Pe**.. In: Anais da VII Mostra de Pesquisa em Ciência e Tecnologia DeVry Brasil. Anais... BELÉM, CARUARU, FORTALEZA, JOÃO PESSOA, MANAUS, RECIFE, SALVADOR, SÃO LUÍS, SÃO PAULO, TERESINA: DEVRY BRASIL, 2016. Disponível em: <https//www.even3.com.br/anais/viimostradevry/28955-O-COMPORTAMENTO-DO-MERCADO-IMOBILIARIO-COMO-RESPOSTA-A-EXPANSAO-DO-CENTRO-URBANO-DE-CARUARU-PE>. Acesso em Agosto de 2018.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W., 1973. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation.** Prog. Rep. RSC 1978-1. Remote Sensing Cent. Texas A&M University, College Station. Disponível em: <ttps://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19730017588.pdf>. Acesso em Agosto de 2018.

Silva, B.B., Braga, A.C., Oliveira, L.M.M., Montenegro, S.M.G.L.; Barbosa Junior, B., 2016. **Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 20, 3-8.

SILVA, C. C. S.; SILVA, S. M. L. **Monitoramento da ocupação urbana por meio de índices ndvi e ndbi a partir de imagens landsat-5 do parque estadual da serra da tiririca**, Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Exposicarta, 1-4, 2017.

SIQUEIRA, A. E. C; OLIVEIRA, L. M. M.; GONÇALVES, E. A. P.; BEZERRA, S. T. M; VILLAR, A. C.; GUSMÃO, L. **Caracterização da expansão urbana de Caruaru – PE utilizando Sensoriamento Remoto**. 9° Encontro Internacional da Água, Recife – PE, 2017.

OLIVEIRA, A. G.; AMORIM, L. M. E. **Para aonde vamos? Análise dos processos e consequências do modelo de expansão urbana de Caruaru, Pernambuco**, Anais do XVII ENANPUR, 1-21, 2017.

USGS. **United States Geologic Survery**. Catálogo USGS. Disponível em: https://earthexplorer.usgs.gov/ Acesso em: Agosto de 2018.

DETECÇÃO DE BORDAS DE CORPOS HIDRICOS E ÁREAS ÚMIDAS A PARTIR DE IMAGENS ALOS-2/PALSAR-2: ILHA DE ITAMARACÁ

JOSE GABRIEL VIEIRA SANTOS
ANA LUCIA BEZERRACANDEIA

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
gabriel.cart@hotmail.com, analucia@ufpe.br

RESUMO - Imagens de RADAR (Radio Detection And Ranging) possuem várias aplicações em Sensorimento Remoto. Este artigo apresenta uma forma de se delimitar áreas úmidas, por meio de técnicas de Processamento Digital de Imagens, como filtragem e manipulações de contrastes, utilizando as imagens de RADAR, ALOS-2/PALSAR-2 (Advanced Land Observing Satellite/Synthetic Aperture Radar) da região da Ilha de Itamaracá, com polarização HH e HV. A área escolhida é a ilha de Itamaracá que possui grande nebulosidade. Conseguiu-se com os filtros de Frost, passa baixa da média, Sobel e Roberts obter as bordas da imagem ALOS-2/PALSAR-2 binarizada.

ABSTRACT - Images of RADAR (Radio Detection And Ranging) have several applications in Remote Sensing. This paper presents a way of delimiting wetlands, using techniques of Digital Image Processing, such as filtering and manipulation of contrasts, using the images of RADAR, ALOS-2 / PALSAR-2 (Advanced Land Observing Satellite / Synthetic Aperture Radar) of the Itamaracá Island region, with HH and HV polarization. The chosen area is the island of Itamaracá that has great cloudiness. It was achieved with the Frost filters, low-pass medium, Sobel and Roberts get the edges of ALOS-2 / PALSAR-2 binary image.

1 INTRODUÇÃO

A extração de bordas na cartografia, de forma automática, sempre foi um tema que despertou interesse. As imagens de RADAR, como as do ALOS-2/PALSAR-2, podem ser empregadas para detecção de bordas e identificação de contornos de corpos hídricos, presentes nas áreas com densa cobertura de nuvens.

O satélite ALOS-2, foi lançado em 24 de maio de 2014, pela *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), para dar continuidade ao projeto do ALOS. O ALOS-2 possui a bordo, apenas o sensor PALSAR-2. Esse satélite foi desenvolvido com o objetivo monitorar desastres naturais ou antrópicos, uso e cobertura do solo, plantações agrícolas, cobertura florestal e etc. (MARQUES, 2017).

Segundo Ramos Junior, Candeias e Tavares Júnior (2017), os corpos de água e terrenos úmidos podem ser vistos na imagem de RADAR como áreas escuras, porque não há o retorno do sinal, e esta propriedade é aproveitada para obter automaticamente as áreas úmidas ou com água. Portanto, as imagens de RADAR podem auxiliar na extração dos corpos hídricos e outros alvos e pode ser visto como um recurso para extração e/ou atualização do mapeamento na gestão de recursos hídricos. Com as imagens de RADAR tem-se uma alternativa de delimitar corpos de água (rios, reservatórios de barragens, estuários), contidos em limites em áreas cultivadas e áreas urbanas sem a interferência de nuvens, como ocorre nas imagens óticas. O litoral do nordeste do Brasil, por exemplo, possui grande ocorrência de nuvens e este tipo de abordagem pode auxiliar na extração de feições de regiões costeiras.

Aqui, apresenta-se uma exemplificação da extração de bordas de alvos úmidos em áreas com nebulosidade. São utilizados para isso, os filtros de Frost, passa baixa da média, Sobel e Roberts. Aplica-se esses filtros nas imagens com polarização HH e HV, do ALOS-2/PALSAR-2.

A área de estudo localiza-se no litoral de Pernambuco e devido a influência das massas de ar vindas do oceano, possui um grande problema de recobrimento de nuvens, acarretando uma certa dificuldade em muitos estudos sobre essas áreas. As imagens do ALOS-2/PALSAR-2 podem auxiliar nessas áreas de estudo por conseguirem imageamento dos alvos mesmo com condições de nebulosidade.

Este estudo faz parte do PIBIC/CNPq/UFPE/2018-2019, processo: 180112760 e faz parte de um projeto aprovado pelo CNPq, processo: 311120/2014-8.

1.1 Filtragem

Meneses e Almeida (2012) destacam a classificação e aplicações dos filtros lineares e não lineares mais usados em Sensoriamento Remoto e que são resumidos na Tabela 1. Se no processo de filtragem, utiliza-se a convolução, a filtragem é dita linear, caso contrário, a filtragem será do tipo não linear.

Figura 1 – Classificação e aplicações dos filtros mais comuns em Sensoriamento Remoto.

Classe	Tipo	Aplicação
Domínio do Espaço (operador de convolução)	Passa alta	Realce da imagem
	Passa baixa de média de mediana	Supressão de ruído
	Direcional linear	Realce de bordas nas direções horizontal, vertical e diagonal
	Primeira derivada gradientes de: Roberts Sobel Prewit	Realce de bordas por operador não linear
	Laplaciano	Realce de bordas sem especificar direção
Domínio do Espaço (operador não convolução)	Morfológicos	Dilatação ou erosão da imagem
	Texturais	Realce das variações espaciais dos tons da imagem
	Adaptativos	Supressão de ruído com preservação do detalhe local

Fonte: Adaptado de Meneses e Almeida (2012)

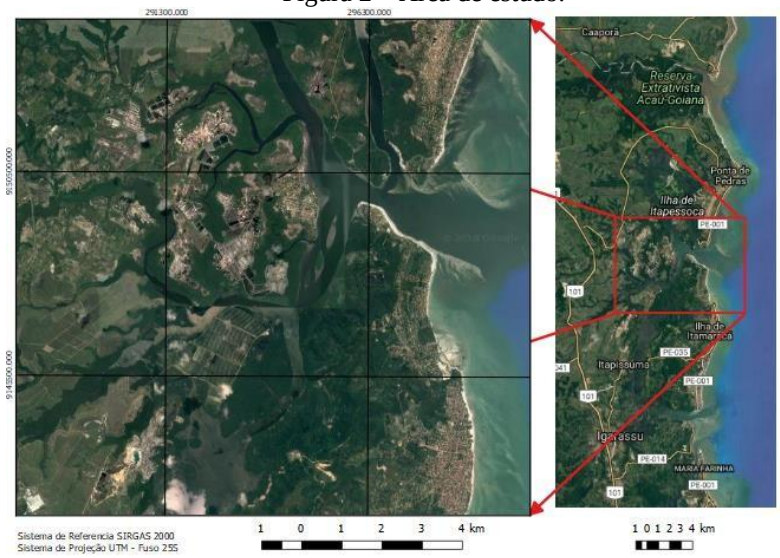
Ramos Junior, Candeias e Tavares Júnior (2017), utilizam imagens do ALOS/PALSAR e apresentam uma forma de se obter a delimitação de bordas de áreas úmidas por meio de morfologia matemática, utilizando imagens de radar.

Trabalhos como Marques (2017), mostram como detectar áreas úmidas e classificar uso e cobertura do solo, através de series temporais de imagens do ALOS-2/PALSAR-2.

1.2 Área de estudo

A área de estudo escolhida, foi a região da ilha de Itamaracá-PE (Figura 2), a qual é conhecida historicamente por ser um dos pontos turísticos do estado de Pernambuco. Porém, pesquisas como Candido (2017), retratam a situação atual da região, que sofre cada vez mais, com a degradação do meio ambiente.

Figura 2 – Área de estudo.



Fonte: O autor (2018).

2 MATERIAIS, MÉTODOS E RESULTADOS

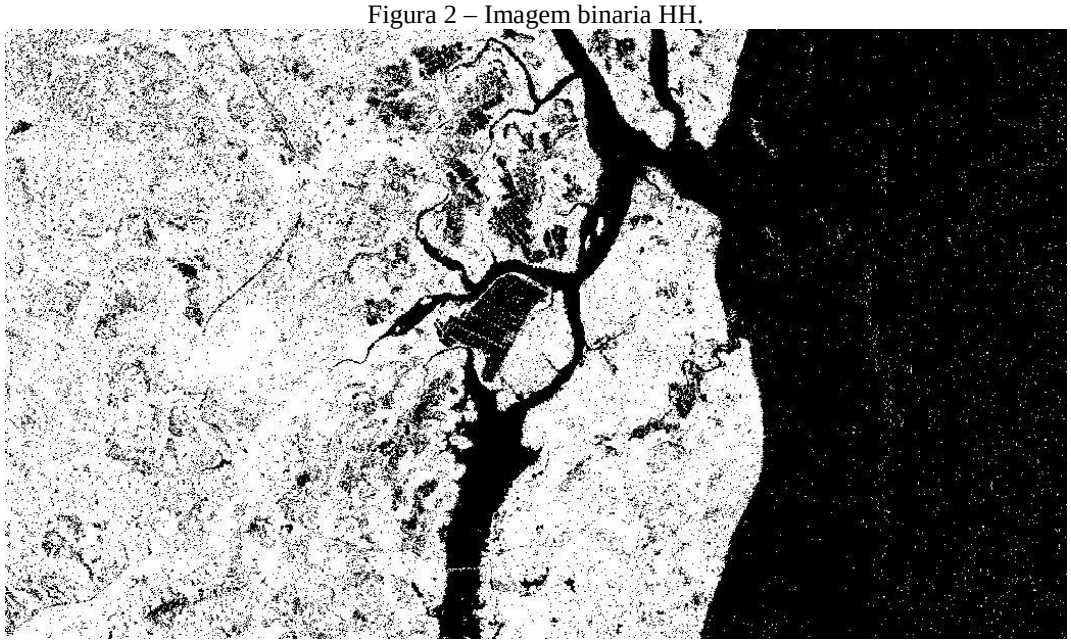
Foram utilizados os materiais:

- Qgis na versão 2.18
- SPRING na versão 5.5.2
- Imagens ALOS-2/PALSAR-2

Após ser determinada a área de estudo, e de posse das imagens do sensor PALSAR, foram selecionadas as imagens com polarização HH e HV.

No SPRING, foi aplicado nas duas imagens o procedimento de binarização com limiar de 3540 para imagem polarizada HH. Isto significa que todos os pixels com níveis de cinza menores que 3540 presentes na imagem HH se tornarão preto e os maiores que esse limiar, serão brancos. A mesma lógica é aplicada na imagem HV com limiar de 1078.

Figura 2 – Imagem binaria HH.



Fonte: O autor (2018).

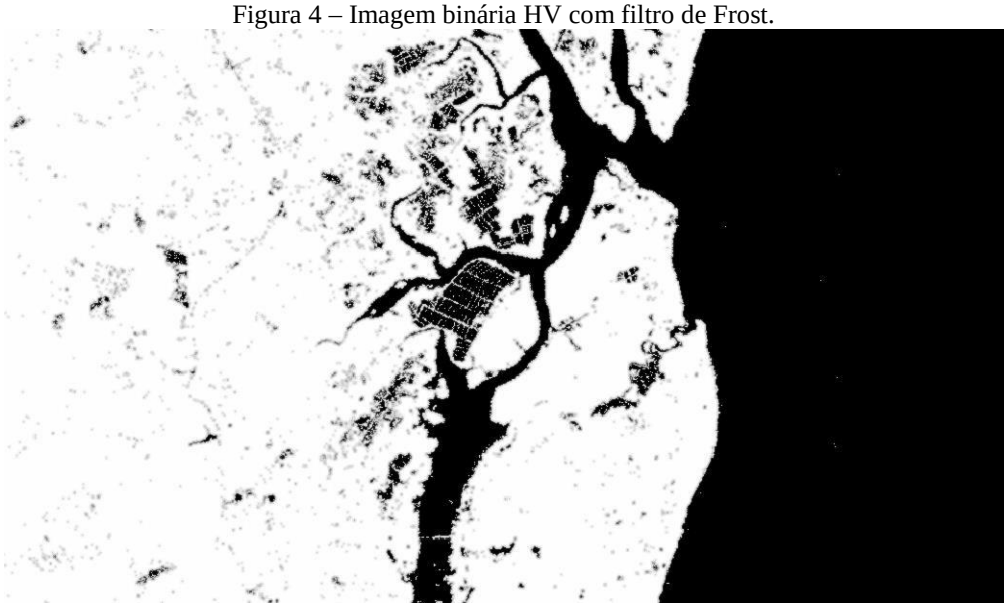
Figura 3 – Imagem binaria HV

Fonte: O autor (2018).

Em seguida, foram utilizados alguns dos filtros disponíveis no SPRING 5.5.2: Roberts, Sobel, filtro passa baixa com máscara 3x3 (lineares) e filtro de Frost (radar) nas Figuras 2 e 3.

As Figuras 4 e 5 mostram os resultados das imagens HV e HH com a aplicação dos filtros de Frost e passa baixa.

Figura 4 – Imagem binária HV com filtro de Frost.



Fonte: O autor (2018).

Figura 5 – Imagem binaria HH com filtro de passa baixa da média e máscara 3x3.

Fonte: O autor (2018).

Para se gerar uma imagem com as bordas das feições de interesse, a partir dos filtros passa baixa e filtro de Frost, é necessário efetuar um cálculo utilizando a Equação (1):

$$\text{Filtro}_{\text{Alta frequência}} = \text{Imagem original} - \text{Filtro}_{\text{Baixa frequência}}. \quad (1)$$

Para a imagem com polarização HH, serão apresentados os resultados obtidos por meio dos filtros de Roberts e passa baixa, enquanto que para a imagem polarizada HV, serão mostrados os resultados a partir dos demais filtros. As figuras a seguir, apresentam os resultados da extração de bordas de corpos hídricos e áreas úmidas:

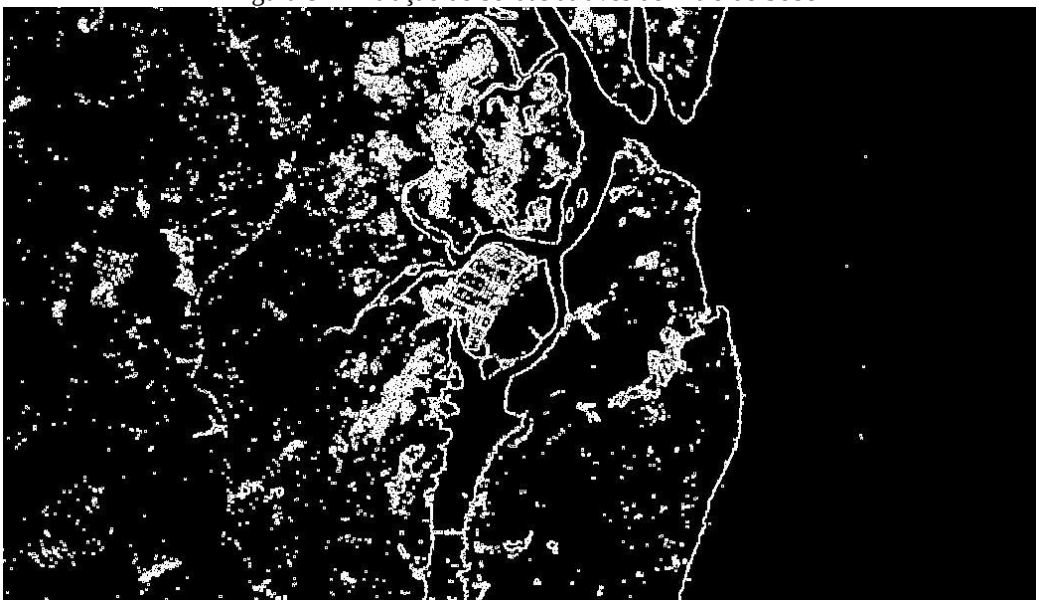
Figura 6 – Extração de bordas através do filtro de Roberts.

Fonte: O autor (2018).

Figura 7 – Extração de bordas através do cálculo para o filtro passa baixa.

Fonte: O autor (2018).

Figura 8 – Extração de bordas através do filtro de Sobel



Fonte: O autor (2018).

Figura 9 – Extração de bordas através do cálculo para o filtro de Frost.

Fonte: O autor (2018).

Observa-se que as figuras 6 e 7, relacionadas a imagem HH e os filtros de Roberts e passa baixa, resultaram em imagens com muitos ruídos, enquanto as figuras 8 e 9, utilizando a imagem polarizada HV e os filtros de Sobel e Frost, apresentaram resultados melhores, de acordo com o objetivo do trabalho.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse artigo apresentou a extração de bordas usando imagens de RADAR as polarizações HH e HV do ALOS-2/PALSAR-2. Com as filtragens foi possível detectar as bordas dos corpos hídricos e áreas úmidas, da região da ilha de Itamaracá-PE. Os filtros de Sobel e Frost mostraram resultados com menos sobre segmentação que os demais filtros. Os limites água e solo são bem delineados com essas filtragens.

4 REFERÊNCIAS

CANDIDO, J. J**. TURISMO E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS: uma proposta de gestão pública sob o prisma da sustentabilidade para a Ilha de Itamaracá – Pernambuco**. 2017. 148p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco,Recife. Disponível em: <https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=tr ue&id_trabalho=5077164>. Acesso: 22 de junho de 2018.

RAMOS JUNIOR, E. O.; CANDEIAS, A. L. B.; TAVARES JÚNIOR, J. R. **Imagem ALOS/PALSAR e delimitação de áreas úmidas usando morfologia matemática**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/315804123_IMAGEM_ALOSPALSAR_E_DELIMITACAO_DE_AREAS_UMIDAS_USANDO_MORFOLOGIA_MATEMATICA>. Acesso: 22 de junho de 2018.

MARQUES, J. B**. Uso de série temporal de imagens PALSAR-2/ALOS 2 para classificação de uso e cobertura do solo e detecção de áreas úmidas na região da ilha do bananal, trecho médio do rio araguaia.** 2017. 72p. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Distrito Federal. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/25242/1/2017_JorgeBohrerMarques.pdf>. Acesso: 22 de junho de 2018.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Unb/CNPq. Brasília. 2012. Disponível em: <http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>. Acesso: 22 de junho de 2018.

DINÂMICA DE PAISAGEM URBANIZADA UTILIZANDO O NDVI EM TERESINA - PI

ANTONIO CELSO DE SOUSA LEITE
LEIDJANE MARIA MACIEL DE OLIVEIRA
ULISSES ALENCAR BEZERRA
DEBORA NATÁLIA OLIVEIRA DE ALMEIDA

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica e Departamento de Engenharia Civil, Recife, PE
antonio.celso@ifpi.edu.br, leidjaneoliveira@hotmail.com, ulisses.alencar17@gmail.com,
debora.nathalia21@gmail.com

RESUMO – Os índices de vegetação têm sido utilizados para análise da vegetação, alterações no uso do solo e estabelecer modelos biofísicos associados à condição da vegetação. Assim, este estudo teve como objetivo usar o índice de vegetação NDVI para analisar a cobertura de vegetação em uma área da zona urbana Teresina – Piauí. Os procedimentos de cálculo do índice foram realizados no Sistema de Informação Geográfica - SIG QGIS versão 2.14.18, a partir das imagens de satélites do sensor TM Landsat-5 de 07/07/2010 e sensor OLI Landsat-8 de 08/08/2016. De um modo geral, ao comparar as imagens observadas na pesquisa, o cômputo do NDVI para o ano de 2016 mostrou uma diminuição na cobertura vegetal, evidenciando as mudanças ocorridas na vegetação de acordo com a análise espaço-temporal.

ABSTRACT - Vegetation indexes have been used to analyze vegetation, changes in soil use and to establish biophysical models associated to the vegetation condition. Thus, this study aimed to use the NDVI vegetation index to analyze vegetation cover in an area of the Teresina - Piauí urban zone. The calculation procedures of the index were performed in the Geographic Information System - SIG QGIS version 2.14.18, from the satellite images of the Landsat-5 TM sensor of 07/07/2010 and the Landsat-8 OLI sensor of 08/08 / 2016. In general, when comparing the images observed in the research, the NDVI computation for the year 2016 showed a decrease in the vegetation cover, evidencing the changes occurred in the vegetation according to the space-time analysis.

1. INTRODUÇÃO

A intensa e desordenada urbanização verificada na maioria das cidades brasileiras tem ocasionado um processo de degradação do meio natural urbano, como a escassez da cobertura vegetal, sendo essa responsável por desempenhar importantes funções nas áreas urbanas, destacando-se as funções ornamentais e paisagísticas, controle de ruídos, elevação da umidade do ar, distribuição adequada dos ventos, filtragem da poluição atmosférica e amenização do microclima, adequando o comportamento térmico do arranjo urbano (OLIVEIRA et al., 2013).

A aplicação de técnicas conhecidas de Sensoriamento Remoto (SR) para análise da vegetação tem sido aplicada para adquirir dados consistentes e contínuos em relação a dinâmica e monitoramento da vegetação em ambientes urbanos, devido a capacidade do SR realizar observações simultâneas em larga escala , obtendo informações atualizadas e periódicas, possibilitando, uma visão holística da área investigada e servindo como instrumento de análise na alteração da paisagem (JENSEN, 2011; LI & CHEN, 2018).

Entre os inúmeros métodos empregando dados de SR para análise da alteração da vegetação, utiliza-se os Índices de Vegetação, destacando-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), sendo esse um dos índices mais comumente usados para examinar as variações espaciais e temporais da alteração dinâmica da paisagem associada a cobertura vegetal de uma região, como nos estudos realizados por Moreira & Galvíncio (2007), ao verificarem a acentuada diminuição das áreas de cobertura vegetal em virtude da expansão urbana no bairro de Boa Viagem, Recife – PE, evidenciando a formação de ilhas de calor e aumento da temperatura da superfície.

Além disso, Oliveira et al. (2012) ao analisarem o NDVI entre os anos de 1987 a 2011 no município de Recife, notaram-se variações expressivas para esse índice, demonstrando elevadas mudanças do uso e cobertura do solo em diversas áreas no ano de 2011, devido a retirada da cobertura vegetal para o incremento de superfícies impermeáveis.

O NDVI utiliza a vegetação como índice de cálculo, atribuindo à área estudada valores que fornecerão respostas espectrais de acordo com estado em que se encontra a vegetação, favorecendo o monitoramento das alterações naturais ou antrópicas no ambiente para esse recurso natural (ROUSE et al., 1973; LOPES et al., 2010).

Esta pesquisa tem como área de estudo Teresina - Piauí, mais especificamente uma área que compreende o perímetro urbano daquela cidade, na qual essa região vem sofrendo crescentemente a expansão urbana horizontal, representando uma das graves ameaças à supressão da vegetação nativa, condição importante na promoção de sombreamento, conforto térmico e manutenção da umidade relativa do ar (FEITOSA et al., 2011).

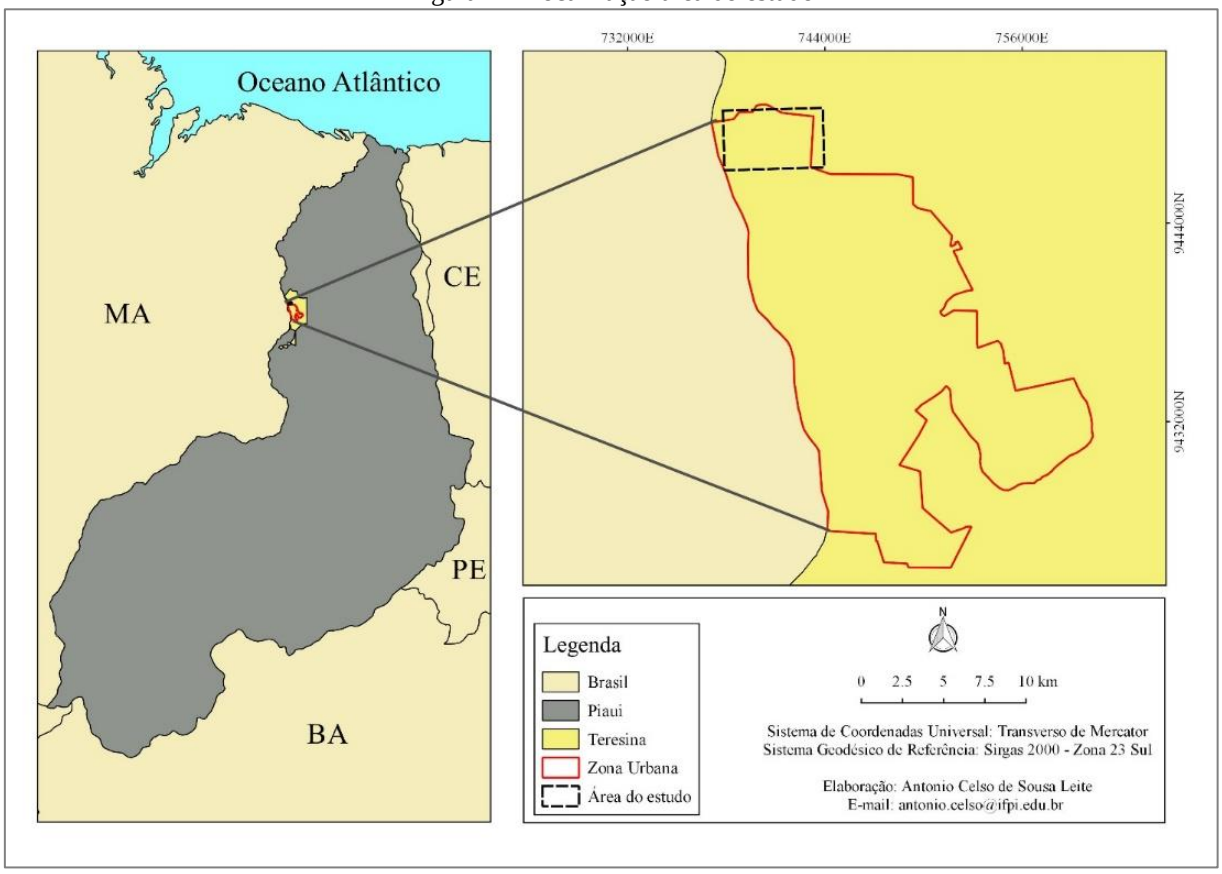
Diante disso, o objetivo deste estudo é utilizar o NDVI para analisar a cobertura da vegetação em uma área da zona urbana Teresina - Piauí, para os anos de 2010 e 2016.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Área de estudo

A área de estudo da pesquisa (Figura 1), compreende a zona urbana do município de Teresina, mais especificamente uma área inserida dentro do perímetro urbano, na qual essa região vem sofrendo intensamente o processo de expansão urbana nos últimos anos (ABREU, 2016).

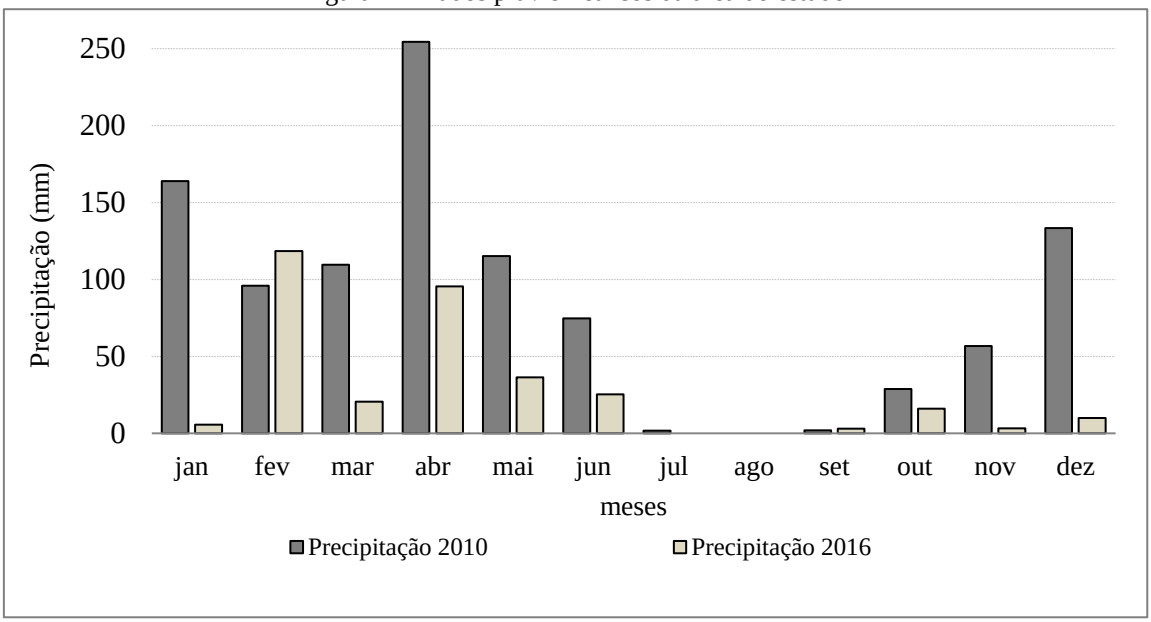
Figura 1 – Localização área do estudo



Fonte: Autor (2018)

Para o reconhecimento dos índices pluviométricos na área de estudo, utilizaram-se dados de precipitação obtidos através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da estação pluviométrica de Teresina código 82578, onde foram coletados dados mensais de precipitação dos meses referentes aos anos de 2010 e 2016, conforme a representação gráfica da Figura 2.

Figura 2 – Dados pluviométricos da área do estudo



Fonte: INMET, (2018)

Ao observar o comportamento da precipitação na área do estudo (Figura 2), notou-se que o total precipitado no ano de 2010 foi superior quando comparado com ano de 2016, sendo registrado para esse primeiro ano um total precipitado de 1.036,3 mm, enquanto que no segundo foi de 333,9 (mm).

Foram utilizadas imagens do sensor TM Landsat-5 de 07/07/2010 e sensor OLI Landsat-8 de 08/08/2016, adquiridas gratuitamente no site do United States Geological Survey (USGS, 2017). O critério de seleção das imagens foi baseado naquelas cenas onde há ocorrência de nenhuma ou pouca cobertura de nuvens, e com data de aquisição o mais próximo possível de ambos os satélites.

Na Tabela 1, estão representadas algumas características das bandas espectrais utilizadas no estudo para os satélites Landsat-5 e Landsat-8.

Tabela 1 – Características das bandas para os satélites Landsat-5 e Landsat-8 utilizado no estudo

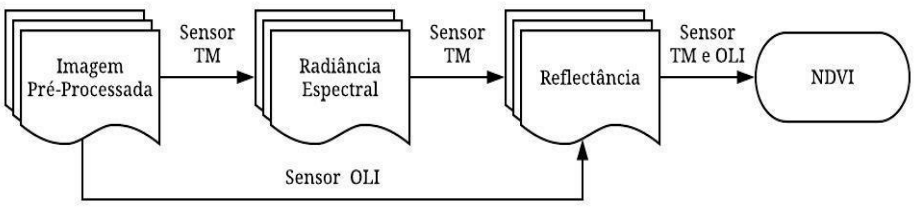
Informações	Landsat-5	Landsat-8
Órbita / Ponto	219/64	219/64
Data de aquisição	07/07/2010	08/08/2016
Banda do vermelho	Banda 3 (sensor TM)	Banda 4 (sensor OLI)
Banda do Infravermelho próximo	Banda 4 (sensor TM)	Banda 5 (sensor OLI)

Fonte: USGS, (2017)

2.2 Processamento digital das imagens

Para o processamento digital das imagens foi utilizado o software livre QGIS 2.14.18, onde foi possível obtenção dos valores de reflectância e posteriormente o cômputo do NDVI, cuja etapas são mostradas no fluxograma abaixo para os sensores TM e OLI (Figura 3).

Figura 3 – Fluxograma das etapas de obtenção do NDVI.



Fonte: Autor (2018)

2.2.1 Landsat 5 – Sensor TM

A etapa inicial de processamento das imagens é a calibração radiométrica (Equação 1), onde se adquire a radiância (Lλi) espectral de cada banda, de acordo com a equação proposta por Markham & Baker (1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

onde: a_i e b_i são as radiâncias mínima e máxima, respectivamente, obtidas de acordo com Chander et al. (2009), expressas em Wm^{-2} sr^{-1} μm^{-1} para o sensor da banda em questão; ND é o número digital do pixel na banda e varia de 0 a 255; i refere-se ao número da banda do sensor TM Landsat 5, sendo os valores de a e b definidos de acordo com a Tabela 2 de descrição das bandas utilizadas no estudo do TM Landsat 5, mostrando os intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima - a ; radiância máxima - b) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA).

Tabela 2 – Coeficientes de calibração e descrição das bandas do sensor TM

Bandas	Comprimento de onda (µm)	Coeficientes de Calibração ($Wm^{-2}\mu m^{-1}$)		Irradiância espectral no Topo da Atmosfera $k\lambda_i$ ($Wm^{-2}\mu m^{-1}$)
		a	b	
1 (Azul)	0,452 – 0,518	-1,52	169,0	1983
2 (Verde)	0,528 – 0,609	-2,84	333,0	1796
3 (Vermelho)	0,626 – 0,693	-1,17	264,0	1536
4 (IV – próximo)	0,776 – 0,904	-1,51	221,0	1031
5 (IV - Médio)	1,567 – 1,784	-0,37	30,2	220
6 (IV - Termal)	10,450 – 12,420	1,2378	15,303	-
7 (IV - Médio)	2,097 – 2,349	-0,15	16,5	83,44

Fonte: Adaptado de Chander et al. (2009)

Em seguida, foi determinada a reflectância espectral monocromática das bandas(ρλi), que é definida como a razão entre o fluxo de radiação solar refletida pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, dada em função da radiância espectral (Lλi) , irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera (kλi), do ângulo zenital (Z), o ângulo de elevação do Sol (E) dos metadados da imagem, e distância Terra-sol (dr) em dado dia do ano (DSA), conforme as equações obtidas por Allen et al. (2007):

$$\rho\lambda i = \frac{(\pi * L_{\lambda i})}{k_{\lambda i} * \cos Z * dr} \quad (2)$$

$$CosZ = Cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) \quad (3)$$

$$dr = 1 + 0{,}33 * Cos\left(\frac{DSA * 2\pi}{365}\right) \quad (4)$$

2.2.2 Landsat 8 – Sensor OLI

No sensor OLI, é necessário calcular a reflectância monocromática das bandas correspondentes utilizadas no estudo, convertendo para reflectância planetária a partir do coeficiente de reescalonamento de reflectância informado no arquivo metadados da imagem (MTL file), utilizando a Equação 5 (USGS, 2014).

$$\rho\lambda'_i = M_{pi} * Q_{cal} + A_p \quad (5)$$

Onde: ρλ' é a reflectância planetária sem a correção do ângulo solar; M_{pi} é o fator de escala multiplicativa de cada banda, encontrado no arquivo de metadados da imagem (REFLECTANCE_MULT_BAND_x), onde x é o número da banda; Ap é o fator aditivo de escala especifico por banda no arquivo de metadados da imagem (REFLECTANCE_ADD_BAND_x) onde x é o número da banda; Qcal é o produto padrão quantificado e calibrado para valores de pixel (DN), se referindo esses valores a cada uma das bandas da imagem.

Logo após realizar o processamento da refletância monocromática, se faz necessário corrigir a reflectância incluindo a correção por ângulo solar de acordo com a Equação 6, (Ariza, 2013; Silva et al., 2016; USGS, 2016).

$$\rho\lambda_i = \frac{\rho\lambda'_i}{\text{Sen}(\theta_{SE}) * \left(\frac{1}{d^2}\right)} \quad (6)$$

onde: $\rho\lambda_i$ é o valor de reflectância planetária com correção por ângulo solar; θ_{SE} ângulo de elevação solar no centro da cena fornecido nos metadados da imagem (SUN_ELEVATION); d é distância Terra-Sol contida no arquivo de metadados.

2.3 Índices de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Rouse et al. (1973) desenvolveram o Índice de Vegetação NDVI, utilizado para realçar o vigor vegetativo de determinada região, através da razão entre a diferença do valor da reflectância monocromática do infravermelho próximo (ρNIR) e do vermelho (ρRED), e a soma dos mesmos (Equação 8).

$$NDVI = \frac{(\rho NIR - \rho RED)}{(\rho NIR + \rho RED)} \quad (8)$$

Conforme Ponzoni, Shimabukuro & Kuplich (2012), esse índice varia de -1 a 1, onde valores negativos de NDVI correspondem a água e nuvens, próximos de 0 correspondem a superfícies não vegetada, e valores mais próximo de 1 evidenciam a vegetação verde e sadia.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a geração dos mapas temáticos do NDVI, a classificação dos índices de vegetação do presente estudo foi categorizada conforme Barbosa et al. (2017), baseando-se na vegetação fotossinteticamente ativa e da sua relação com a ausência e presença de folhas verdes, uma vez que o NDVI é muito sensível a atividade da clorofila.

Tabela 3 – Intervalos dos valores de reflectância para as classes de NDVI

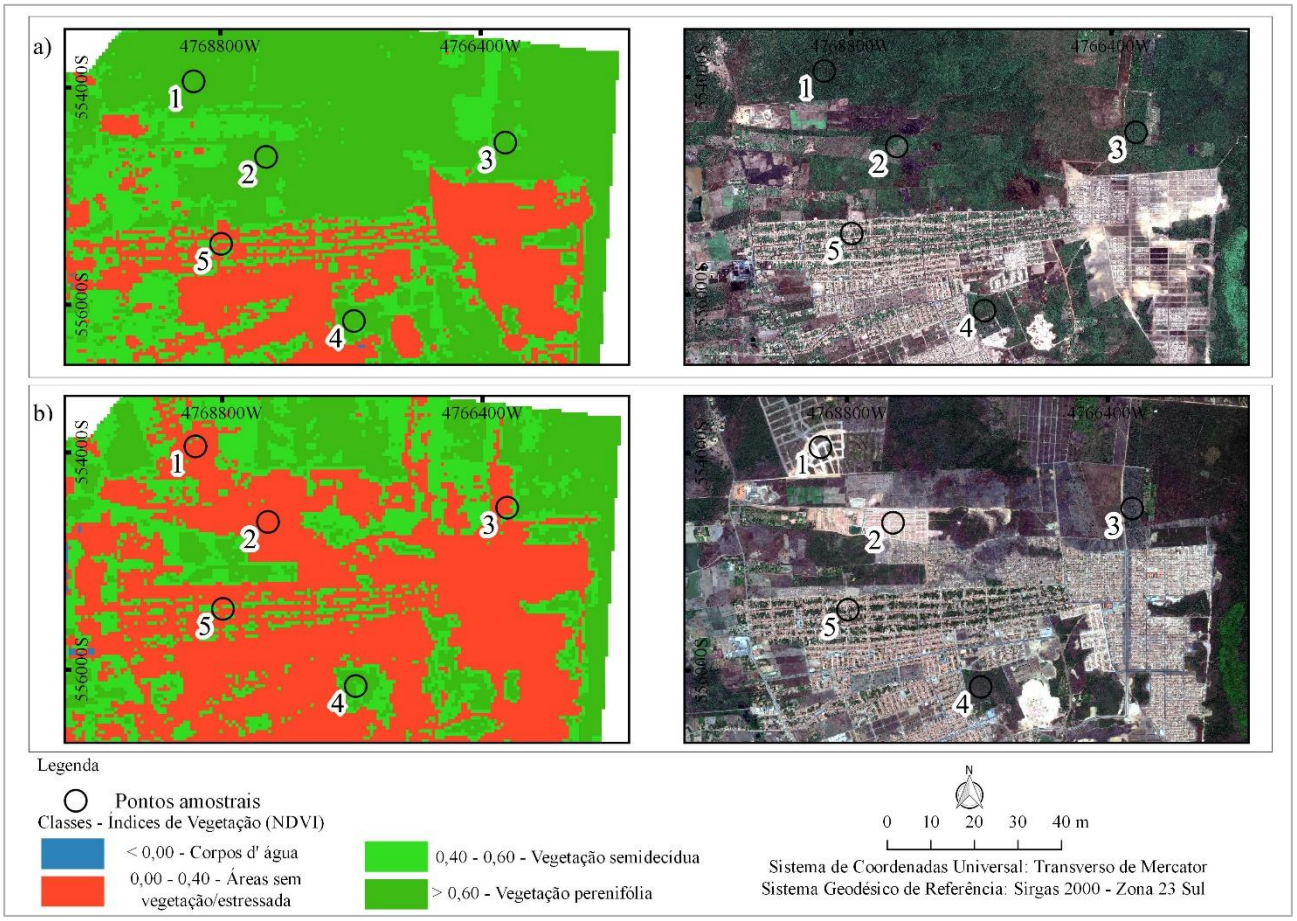
Classes de vegetação	Valores de refletância (NDVI)
Vegetação perenifólia	> 0,60
Vegetação semidecídua	0,60 – 0,40
Áreas sem vegetação/estressada	0,40 – 0,00
Corpos d' água	-1 – 0,00

Fonte: Adaptado de Barbosa et al. (2017)

Os mapas temáticos dos valores de NDVI (Figura 3), permitiram visualizar a dinâmica espacial da distribuição da cobertura vegetal entre os anos analisados na área do estudo para os sensores TM e OLI, onde os índices gerados foram comparados visualmente com as imagens Google Earth, no intuito de legitimar o resultado da pesquisa.

Na Figura 3, ao comparar as imagens, observou-se visualmente a alteração da cobertura vegetal entre os anos analisados, onde as classes das áreas sem vegetação/estressada representadas em tons vermelhos, variaram no intervalo entre (0,00 – 0,40), exibindo o comportamento espectral correspondente a presença de vegetação estressada, solos descobertos, rochas, áreas urbanizadas e outras superfícies com ausência de vegetação. Essas análises corroboram com estudos de Oliveira et al., (2013), ao computarem o NDVI, obtiveram classes com valores espectrais baixos entre (0,00 – 0,20), inferindo as áreas urbanas e configurando a vegetação estressada ou área degradada pela ação antrópica, decorrente de escassez hídrica, que tem como consequência a exposição do solo com o desmatamento e a degradação ambiental.

Figura 3 – Mapas temáticos do NDVI e imagens do Google Earth da área do estudo. a) NDVI Landsat-5 e imagem do Google Earth ano de 2010. b) NDVI Landsat-8 e imagem do Google Earth ano de 2016

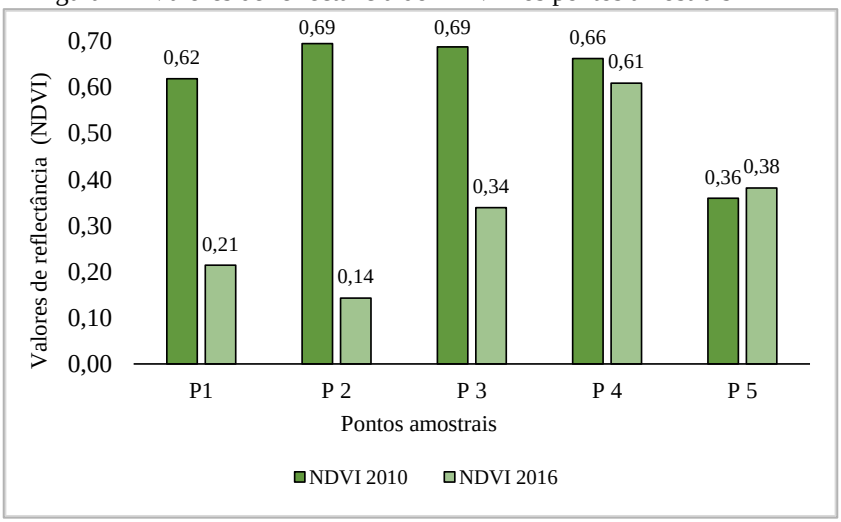


Fonte: Autor (2018)

Além disso, ao analisar os pontos amostrais nos mapas temáticos considerando o índice e comparando com as imagens do Google Earth, percebeu-se a supressão da vegetação no ano de 2016, como mostra os pontos 1, 2 e 3 (Figura 02b), em substituição a construção de empreendimentos residenciais e impermeabilização da superfície, impulsionado pelo processo de urbanização sofrido na região.

A Figura 4 detalha a distribuição dos valores de reflectância nos pontos amostrais para o índice NDVI entre os anos de 2010 e 2016.

Figura 4 – Valores de reflectância do NDVI nos pontos amostrais



Fonte: Autor (2018)

Considerando a distribuição dos valores de reflectância nos pontos amostrais para o índice entre os anos observados (Figura 4), notou-se que os valores do NDVI para o ano de 2010 nos pontos amostrais P1, P2, P3 e P4, prevaleceram superior em relação a 2016, cenário este associado a uma vegetação semidecídua e perenifólia preservada naquele ano, além da elevada contribuição pluviométrica que deixou a vegetação mais densa, influenciando em sua radiação fotossintética ativa , conforme apontam Bernardo et al. (2017), ao discorrerem que as informações pluviométricas são muito importantes para a análise e compreensão da distribuição espacial da cobertura vegetal por meio do NDVI, devido a sua relação direta com a atividade fotossintética e produção de biomassa vegetal, proporcionando compreender o comportamento e dinâmica fenológica da vegetação. Já o ponto P5 está associado aos valores (0,36 e 0,38), devido corresponderem a uma área urbanizada de um loteamento, para ambos os anos.

No entanto, os valores de reflectância menores do NDVI nos pontos amostrais P1, P2 e P3 para o ano de 2016, representam a diminuição da vegetação em virtude da supressão vegetal, como também a menor caracterização do vigor vegetativo por meio do estresse hídrico, algo relacionado com o baixo regime chuvoso e prolongamento da estação seca verificado naquele ano.

4 CONCLUSOES

Nessa pesquisa, a análise espaço-temporal do NDVI por meio dos mapas temáticos mostrou a ocorrência de mudanças da cobertura vegetal entre os 2010 a 2016 na área do estudo, evidenciando uma diminuição da cobertura vegetal para a implantação de empreendimentos residenciais visto no ano de 2016. Além disso, o gráfico com os valores de reflectância dos pontos amostrais também revelaram a dinâmica da vegetação, no qual em 2010 são registrados os maiores valores do NDVI para a maioria dos pontos, inferindo a existência de um maior vigor vegetativo e cobertura vegetal preservada. Contudo, o ano de 2016 apresentou menores valores do índice, evidenciando uma menor expressão no vigor fotossintético da vegetação, como também um decréscimo de cobertura da mesma, em decorrência da supressão vegetal por meio das atividades antrópicas, a exemplo da construção de empreendimentos habitacionais.

Portanto, as imagens de Sensoriamento Remoto mostraram a compatibilidade entre o monitoramento e mapeamento das mudanças da superfície vegetal em áreas urbanas, tornando-se assim uma ferramenta importante nos indicadores da dinâmica desses recursos naturais e alteração da paisagem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao United States Geological Survey (USGS) pelo banco de imagens dos satélites Landsat, Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pelo banco de dados hidrológico e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo incentivo a pesquisa e concessão de bolsas Pós-Graduação do terceiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, S. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering,** 2007.

ABREU, G. S. **Análise têmporo-espacial da relação entre a cobertura do solo e a temperatura de superfície na cidade de Teresina (PI) mediante o uso de geoprocessamento.** 152 p. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2016.

ARIZZA, A. 2013. **Descripción y Corrección de Productos LandSat 8 LDCM (LandSat Data ContinuityMission), versión 1.0.** Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica (CIAF): Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Colombia. Disponível em <http://www.un-spider.org/sites/default/files/ LDCM-L8.R1.pdf> Acesso em 10 outubro 2017.

BARBOSA, A. H.; CARVALHO, R.; CAMACHO, R. 2017. Aplicação do NDVI para a análise da distribuição espacial da cobertura vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte. **Revista do Departamento de Geografia USP** (Online), São Paulo, v. 33, p. 128-143, 2017.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. 2009. Summay of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n. 5, p. 893-903.

FEITOSA, S. M. R.; GOMES, J. M. A.; NETO, J. M.; ANDRADE, C. S. P.; Consequências da Urbanização na Vegetação e na Temperatura da Superfícies de Teresina-Piauí. **SBAU; REVSBAU**, Piracicaba – SP, v.6, n.2, p.58-75, 2011.

Disponível em: <http://www.revsbau.esalq.usp.br/artigos_cientificos/artigo170-publicacao.pdf>. Acesso em 09 julho de 2018.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados Meteorológicos: estações automáticas: gráficos de pluviosidade 2010, 2016: Teresina- PI**. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/> Acesso em: 23 jul. 2018.

JENSEN, J. R. 2011. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução: José Carlos Neves Epiphanio. Sao Jose dos Campos, SP: Parentese.

LOPES, A.S.; SILVA, H.P.; ARAUJO, I.R.; ALENCAR, B.P.B.; MELO, A.L. 2010. Utilização de imagens de satélites e dados meteorológicos visando o monitoramento de mudanças climáticas. **In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, PE, 2010**. Resumos expandidos, Recife, PE, UFPE p. 001-004.

MARKHAM, B.L.; BARKER, L.L.1987. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing,** v.8, n.3, p.517- 523.

MOREIRA, E.B.M.; GALVÍNCIO, J. D. 2007. Distribuição Espacial das Temperaturas à Superfície na cidade do Recife, utilizando imagens TM Landsat – 7. **Revista de Geografia**, v.24, n.3, p.122-135.

OLIVEIRA, T.H. **Mudança espaço temporal do uso e cobertura do solo e estimative do balanço de energia e evapotranspiração diária no município do Recife-PE.** 155p. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

OLIVEIRA, T.H.; OLIVEIRA, J.S.E.S.; LUZ, E.B.; GALVINCIO, J.D.; PIMENTEL, R.M.M.; SILVA, B.B. 2013. Evolução espaço-temporal da cobertura vegetal e do processo de urbanização no município do Recife PE utilizando o Índice de Vegetação Ajustado. **In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, **Foz do Iguaçu, 2013.** Anais, São José dos Campos, SP, INPE p. 1814-1821.

OLIVEIRA, M. M. DE; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B. DA; MOURA, A. E. S. S. DE; GUSMÃO, A. C. V. E L.; SALGUEIRO, J. H. P. DE. B. 2013. Índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do rio Tapacurá – PE. **In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Bento Gonçalves, RS, 2013. Anais, ABRH.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. & KUPLICH, T.M. 2012. **Sensoriamento Remoto da vegetação.** 2 Ed. São Paulo, Oficina de Textos. 164p.

SILVA, B.B.; BRAGA, A.C.; OLIVEIRA, L.M.M.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; BARBOSA JUNIOR, B. 2016. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.1, p.3- 8.

ROUSE, J.W., JR.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A. & DEERING, D.W. 1973 Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **In: PROCEEDINGS OF THE THIRD EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3,** Washington, D.C., 1973.

USGS. United States Geologic Survery, 2014. **Using the USGS Landsat 8 Product.** Disponível em < https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php> Acesso 02 julho 2018.

USGS. United States Geologic Survery, 2016. **Landsat 8 (L8) Data Users Handbook, 2015, LSDS-1574, version 1.0**. Sioux Falls, USA: USGS EROS. Disponível em <https://landsat.usgs.gov/documents/ Landsat8DataUsersHandbook.pdf> Acesso em 29 junho 2018.

USGS. United States Geologic Survery, 2017. **Catálogo USGS.** Disponível em < https://earthexplorer.usgs.gov> Acesso em 30 junho 2018.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

DISCRIMINAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL UTILIZANDO ÍNDICES DERIVADOS DO SENTINEL 2A - MSI

TALES CAMARGOS ABRANTES*
RIENE FILGUEIRAS DE OLIVEIRA
PÂMELA AUDE PITHAN

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CEPSRM
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Porto Alegre - RS - Brasil
{*abrantales, rienefilgueiras}@hotmail.com; pamelapithann@gmail.com

RESUMO - O uso de índices de vegetação derivados de dados espectrais pode ser viável para se avaliar qualitativa e quantitativamente diferentes classes de cobertura vegetativa. O objetivo geral deste estudo foi avaliar o potencial de cinco índices vegetativos, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), três Índices de Vegetação *Red Edge* ($NDRE_{705}$, $NDRE_{740}$ e $NDRE_{783}$) e o Índice da Reflectância Fotoquímica Modificado (MPRI) derivados de dados Sentinel 2A - MSI para discriminar a cultura do café de outras classes de cobertura vegetal (Mata nativa e Eucalipto). O NDVI e o $NDRE_{705}$ foram mais favoráveis na discriminação das três classes em relação aos demais IVs avaliados. O agrupamento dos valores de ambos os índices nas classes Cafe e Mata Nativa foi mais dispersos em relação às suas medianas comparativamente à classe Eucalipto. Os índices derivados das bandas *Red Edge* B6 (740 nm) e B7 (783 nm) não indicaram boa performance na discriminação das classes. Já o MPRI, que apresentou padrão de distribuição oposto ao dos outros quatro índices avaliados, separou a classe Cafe e confundiu Eucalipto com Mata Nativa. O MPRI indicou ter boa sensibilidade ao status fenológico do cafeeiro.
Palavras-chave: *Café; Borda vermelha; Índice de vegetação.*

ABSTRACT - The use of vegetation indices derived from spectral data may be practicable to evaluate qualitatively and quantitatively different classes of vegetative cover. The overall objective of this study was to evaluate the potential of five vegetative indices, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), three Red Edge Vegetation Indices ($NDRE_{705}$, $NDRE_{740}$ and $NDRE_{783}$) and the Modified Photochemical Reflectance Index (MPRI) derived from Sentinel 2A - MSI data to discriminate coffee crop from other classes of vegetation cover (Mata Nativa and Eucalipto). NDVI and $NDRE_{705}$ were more favorable in discriminating the three classes in relation to the other IVs evaluated. The grouping of the values of both indices in the classes Cafe and Mata Nativa was more dispersed in relation to their medians compared to the Eucalipto class. Indices derived from the Red Edge bands B6 (740 nm) and B7 (783 nm) did not indicate good performance in class discrimination. Otherwise, the MPRI, which presented an opposite distribution pattern to the other four evaluated indices, separated the Cafe class and confused Eucalipto with Mata Nativa. The MPRI indicated to have a good sensitivity to the phenological status of the coffee crop.
Key-words: *Coffee; Red Edge; Vegetation index.*

1 INTRODUÇÃO

Com base nas suas propriedades e características, as diferentes coberturas vegetativas podem ser distinguidas de acordo com seu comportamento espectral em relação aos elementos gerais do solo (TUCKER, 1979).

A feição da cobertura vegetal em determinado produto de SR é resultado de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais. O que é efetivamente medido por um sensor remotamente situado, oriundo de determinada vegetação, não pode ser explicado somente pelas características intrínsecas dessa vegetação, inclui também a interferência de vários outros parâmetros e fatores. A resposta espectral das áreas vegetadas apresenta uma mistura complexa de vegetação, brilho do solo, característica do dossel, efeitos ambientais, sombra, umidade, cor do solo, que apresentam propriedades de reflexão própria, contribuindo no processo de medição para a modulação das

propriedades de reflexão da vegetação (PONZONI, 2001). A cultura cafeeira, não obstante, apresenta uma resposta espectral complexa, o que torna esse desafio muito maior (CARVALHO et al., 2004).

Para superar os problemas devido à heterogeneidade de pixels e às variabilidades causadas pelos fatores externos, cientistas desenvolveram Índices de Vegetação (IVs) para avaliação qualitativa e quantitativa de coberturas vegetativas usando medidas espectrais. Além disso, o IV é afetado por variações espaço-temporais da atmosfera. Mais de quarenta IVs foram desenvolvidos durante as duas últimas décadas com a finalidade de maximizar a resposta da vegetação e minimizar os efeitos dos fatores descritos acima (BANNARI et al., 1995). Em geral, o comportamento espectral da vegetação é realçado por estes IVs, que se correlacionam com parâmetros biofísicos, como biomassa, Índice de Área Foliar (IAF) e percentagem de cobertura vegetal, por exemplo. Os IVs também possuem elevado grau de correlação com o vigor da vegetação verde, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética, produtividade e status fenológico.

A fim de facilitar a interpretação visual e computacional, são aplicadas técnicas de realce de imagem por meio de IVs que aumentam o brilho das áreas vegetadas, melhorando a aparência da distribuição espacial de informações das imagens. Dessa forma, uma imagem orbital pode ser entendida como uma ferramenta valiosa, e é cada vez mais comum a utilização de imagens de satélite que apresentam bons conjuntos de resolução espacial, espectral e radiométrica no estudo da discriminação de coberturas vegetais. A missão Sentinel 2A, portanto, representou um avanço no que diz respeito ao fornecimento de dados para o monitoramento de ambientes por sensores remotamente alocados. Neste sentido, o objetivo geral deste estudo foi analisar o potencial de índices vegetativos utilizando dados Sentinel 2A - MSI para discriminar a cultura cafeeira de diferentes tipos de coberturas vegetais.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Área de estudo

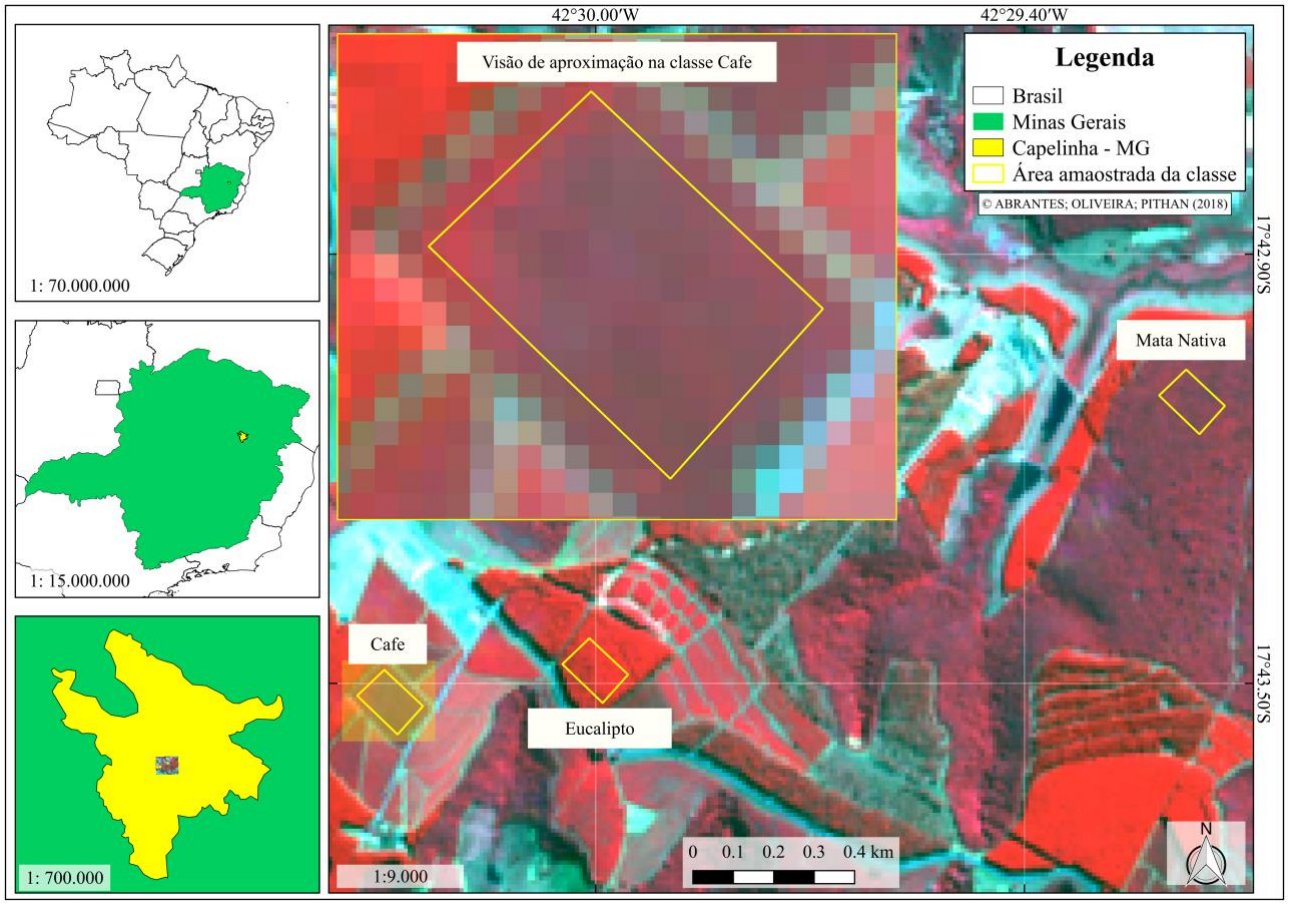
A área de estudo está situada no município de Capelinha, localizado no vale do Jequitinhonha, nordeste do Estado de Minas Gerais, nas coordenadas 17º45'18" de latitude sul e 42º28'15" de longitude em relação ao Meridiano de Greenwich, numa altitude de 840 metros (Figura 1). Capelinha dista-se 286 Km em linha reta da capital do estado, Belo Horizonte. Sua área total é de 956,37 km^2, com população de cerca de 38.000 habitantes, segundo dados do IBGE (2010). O município se destaca no cenário agrícola sendo esta escolhida para o estudo por ser uma área que compreende diferentes grupos de paisagens nativas e antrópicas: agricultura consolidada com o plantio de café e eucalipto, e cobertura vegetal nativa.

O clima da região é tropical de altitude (*Cwa*), segundo classificação climática de Koppen, com aproximadamente seis meses secos (de abril a setembro) e com o período de precipitação máxima ocorrendo durante os meses de novembro, dezembro e janeiro. A temperatura média anual da situa-se em torno dos 25 ºC, com uma pluviosidade média anual de 1200 mm.

2.2 Aquisição dos dados

Foram utilizados dados da missão Sentinel 2 da Agência Espacial Europeia (ESA, do inglês *European Space Agency*), sensor *MultiSpectral Instrument* (MSI), órbita relativa 065. A cena escolhida data de 17 de agosto de 2017, que corresponde ao inverno no hemisfério sul, época de menor incidência de nuvens na região. Os dados foram adquiridos gratuitamente através do portal de distribuição de dados de SR EarthExplorer (http://earthexplorer.usgs.gov/), uma parceria entre o Serviço Geológico Norte-Americano (USGS; do inglês *United States Geological Survey*) em parceria com a NASA. O sensor MSI opera nas regiões do visível (VIS) e infravermelho (IV) do espectro eletromagnético, com objetivo de produzir imagens de média resolução espacial, essencialmente dedicadas à monitorização do ambiente terrestre. O MSI adquire imagens baseado no princípio de varredura (*push-broom*) com cada cena cobrindo uma faixa de 290 km, dispondo de 13 bandas espectrais com 10, 20 e 60 m de resolução espacial. Por se constituir numa constelação de dois satélites (Sentinel 2A e Sentinel 2B), a missão Sentinel é capaz de prover dados com resolução temporal de 5 dias, sendo 10 dias por satélite operacional (MEER et al, 2014). Para o desenvolvimento deste estudo, no entanto, foram utilizadas apenas as bandas do VIS (azul (B2), verde (B3) e vermelho (B4)), as 3 bandas do *Red Edge* (B4, B5 e B6) e uma banda do IVP (B8).

Figura 1. Mapas de localização da área de estudo (à esquerda) e classes de vegetação avaliadas em composição colorida falsa-cor do tipo 8R3G2B (à direita).



2.3 Processamento de Imagem Digital (PDI)

Inicialmente, foram realizadas conversões radiométricas das imagens MSI nível 1-C (MSI L1-C) de reflectância ao Topo da Atmosfera (TOA; do inglês *Top of Atmosphere*) para reflectância de superfície (BOA; do inglês *Bottom of Atmosphere*) aplicando-se o algoritmo de correção atmosférica Sen2Cor nas bandas de B2 a B8. O Sen2Cor utiliza como base o modelo de transferência radiativa LibRADTRAN (MAYER; KYLLING, 2005). Ainda, as bandas do *Red Edge*, que possuem 20 m de resolução espacial, foram reamostradas para 10 m ao produto final.

Para realização das análises, foram amostradas na cena três classes de vegetação conhecidas contendo 400 pixels cada, as quais: Cafe, Eucalipto e Mata Nativa, compostas essencialmente por café, eucalipto e vegetação natural. Em seguida, realizou-se cálculos de aritmética de bandas para derivação de cinco IVs normalizados, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), três Índices de Vegetação *Red Edge* ($NDRE_{705}$, $NDRE_{740}$ e $NDRE_{783}$) e o Índice da Reflectância Fotoquímica Modificado (MPRI) (Tabela 1). Os resultados foram avaliados utilizando-se estatística descritiva com o intuito de entender o comportamento da distribuição das classes em cada índice, assim, contribuindo para se optar pela escolha de um ou outro IV para a discriminação das classes.

Por último, foram plotadas as respostas espectrais de cada uma das classes num gráfico de linhas, ilustrando a assinatura espectral das mesmas. O valor da reflectância em cada banda espectral foi obtido pelo cálculo da média da reflectância dos pixels dentro da área abrangida por cada classe de interesse.

Todas as etapas de pré-processamento (conversões radiométricas) foram executadas no ambiente do *software* SNAP (distribuição ESA). Os IVs foram derivados no ambiente do *software* QGIS Las Palmas, versão 2.18-20, e as análises estatísticas executadas no R. É importante destacar que todos os *softwares* usados são de domínio público (*open source*).

Tabela 1. Sumário dos índices de vegetação derivados no estudo.

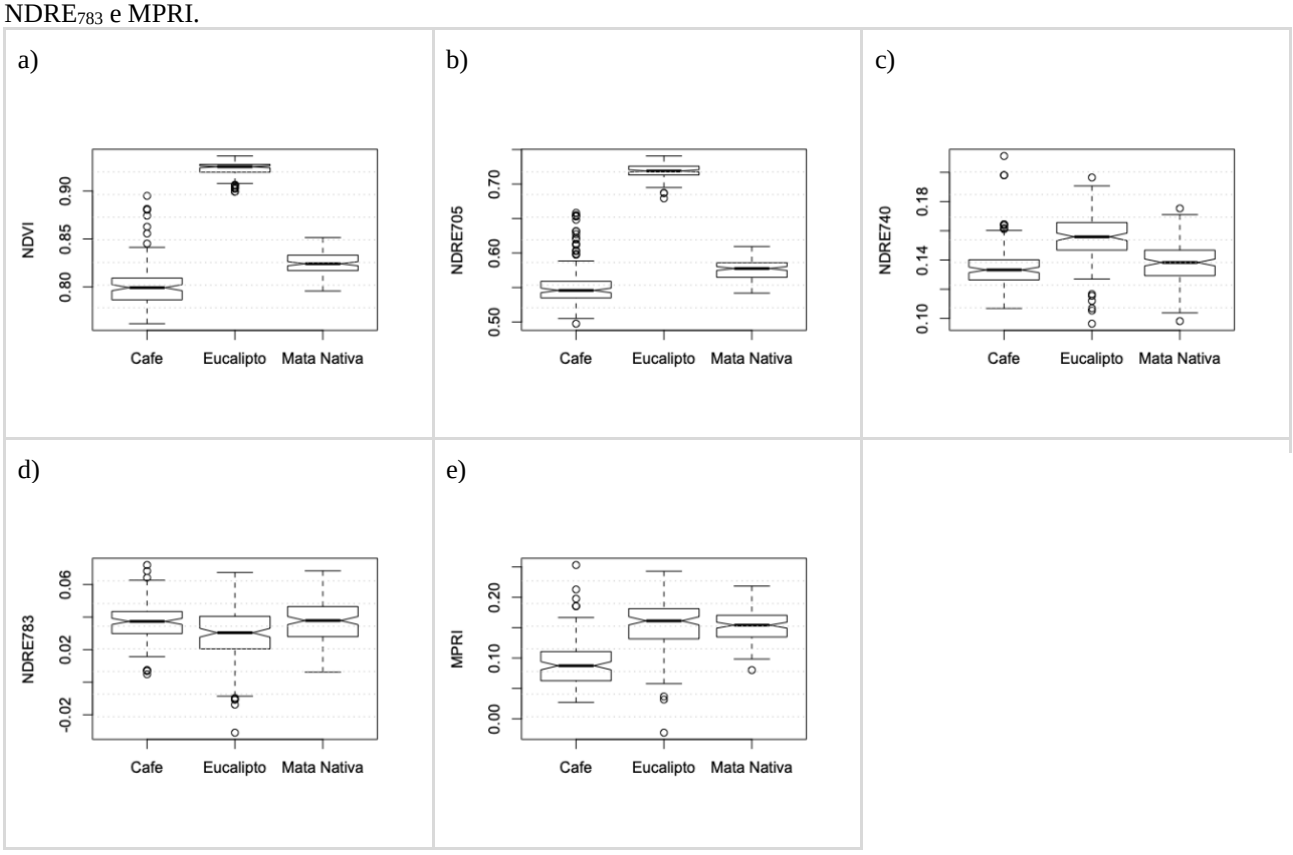
Índice de Vegetação	Equação	Referências
Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	$NDVI = \frac{\rho NIR - \rho R}{\rho NIR + \rho R}$	(ROUSE et al., 1973)
Índice de Vegetação *Red Edge*	$NDRE = \frac{\rho RE - \rho R}{\rho RE + \rho R}$	(BARNES et al., 2000)
Índice da Reflectância Fotoquímica Modificado	$MPRI = \frac{\rho G - \rho R}{\rho G + \rho R}$	(YANG et al., 2008)

ρNIR é a reflectância no IVP; ρG é a reflectância no Verde, ρR a reflectância no Vermelho, e ρRE é a reflectância no *Red Edge* (bandas 5, 6 e 7).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 estão ilustrados os resultados dos respectivos IVs derivados do Sentinel 2A – MSI, incluindo o NDVI, $NDRE_{705}$, $NDRE_{740}$ e $NDRE_{783}$ e MPRI, que foram utilizados para discriminação do cafeeiro de diferentes classes de cobertura vegetal.

Figura 2. Boxplots dos dados obtidos a partir dos índices de vegetação avaliados: a) NDVI; b) $NDRE_{705}$; c) $NDRE_{740}$; d) $NDRE_{783}$ e MPRI.

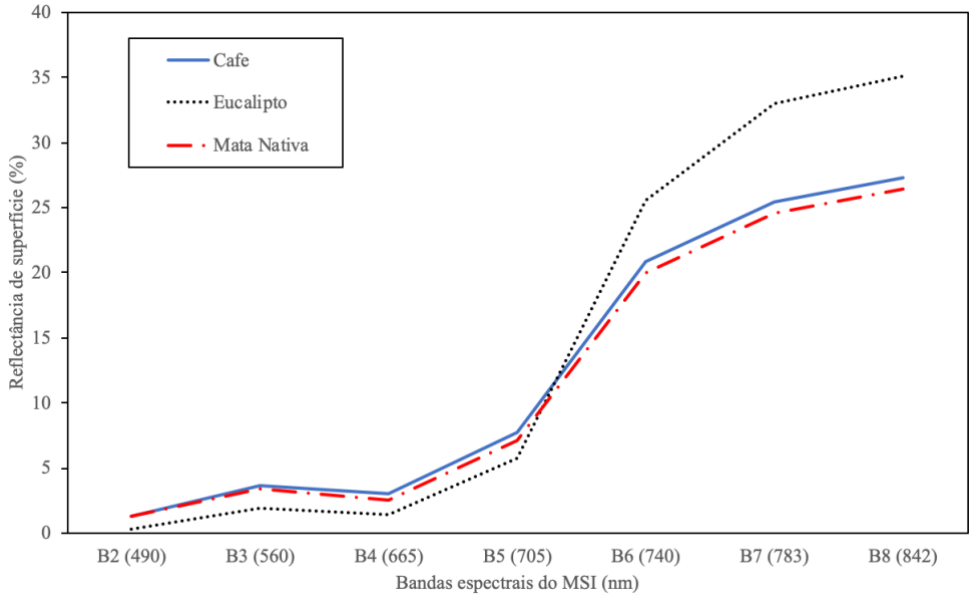


Comparativamente, o NDVI e o $NDRE_{705}$ foram mais favoráveis na discriminação das três classes em relação aos demais IVs avaliados. A distribuição dos valores das classes foi visualmente similar em ambos os índices, com a classe Eucalipto apresentando-se mais separável em relação às classes Cafe e Mata Nativa. Analisando-se as curvas da resposta espectral na Figura 3, observou-se também que as classes Cafe e Mata Nativa indicaram ter comportamento

espectral similar, corroborando com a afirmação de Martínez-Verduzco, Galeana-Pizaña e Cruz-Bello (2012) de que a resposta espectral do cafeeiro e da vegetação natural são muito semelhantes.

Notou-se que o agrupamento dos valores de NDVI e $NDRE_{705}$ das classes Cafe e Mata Nativa foram mais dispersos em relação às suas medianas comparativamente à classe Eucalipto. Isso pode ser explicado dada a heterogeneidade de tipos e formas das folhas, altura das árvores, e presença de galhos e sombra, que atenuam a reflectância no canal do IVP e aumentam na região do visível; caso da classe Mata Nativa. Assim como, variações no comportamento espectral do cafeeiro podem ser ocasionadas por diferença de espaçamento, que aumenta ou diminui a participação da superfície de fundo, e também condições fitossanitárias da cultura (MOREIRA *et al.*, 2010). Por outro lado, altas densidades de biomassa (> IAF) podem influenciar diretamente na resposta espectral da vegetação, aumentando a taxa de absortância no espectro do Vermelho e reflectância no IVP, respectivamente (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012); caso da classe Eucalipto (Figura 3).

Figura 3. Resposta espectral média das classes Cafe, Eucalipto e Mata Nativa das bandas de 2 a 8 do Sentinel 2A - MSI.



Os demais índices que incluíram as bandas *Red Edge* no sentido crescente de comprimentos de onda ($NDRE_{740}$ e $NDRE_{783}$) não indicaram boa performance na discriminação das classes. Essa característica, segundo Schlemmer *et al*. (2013), pode estar associada à maior sensibilidade a variações no conteúdo de clorofila na folha estar situada em torno dos 700 nm da região do espectro, que coincide com o comprimento de onda central da banda 5 (705 nm) do sensor MSI.

O MPRI apresentou padrão de distribuição oposto ao dos outros quatro índices avaliados, separando a classe Cafe e confundindo Eucalipto com Mata Nativa. Este IV tem boa relação com o conteúdo de pigmentos da vegetação, como clorofila (R^2 = 0,72) (LI; LI; SUN, 2014) e xantofilas (YANG; WILLIS; MUELLER, 2008; PALAIOLOGOU; KALABOKIDIS; KYRIAKIDIS, 2013). Assim sendo, valores mais baixos do MPRI podem estar relacionados ao status senescente do cafeeiro. Os resultados explicam a fase fenológica do cafeeiro correspondente à data de aquisição da imagem avaliada, que corresponde à época mais seca do ano na região (inverno no hemisfério sul) (CAMARGO, 1985; CAMARGO; CAMARGO, 2001). De acordo com Camargo e Camargo (2001), de julho a agosto, os ramos produtivos não-primários do cafeeiro secam e morrem, constituindo-se a fase de senescência da cultura nas latitudes correspondentes à área do estudo. Além disso, o solo exerceu maior influência na reflectância da classe devido ao espaçamento do cultivo, conduzindo a maiores valores de reflectância na região do VIS (Figura 3).

A partir dessas constatações no estudo, sugere-se uma próxima etapa de verificação da acurácia dos três índices que indicaram ser mais favoráveis à discriminação das classes de vegetação avaliadas nos diferentes estádios fenológicos do cafeeiro. Este tipo de informação pode ser útil para a determinação de limiares ótimos de segmentação, para sanar a deficiência de classificadores clássicos (baseados em métodos empíricos) no mapeamento e discriminação de classes de vegetação que possuem maior confusão espectral, como as classes avaliadas. Além disso, o uso de IVs em SR oferece outras vantagens, como capacidade de replicação com alta frequência e repetidas observações, minimização dos efeitos inerentes à variação de iluminação e topografia do relevo, e na estimativa de parâmetros químicos (e.g. conteúdo de *Chl*) e biofísicos da vegetação (e.g. IAF, teor de biomassa, estresse hídrico).

Para além das contribuições dos resultados obtidos e discutidos neste estudo, outra contribuição foi a constatação de que o uso de dados do Sentinel 2 – MSI ampliou o leque de possibilidades para o estudo do ambiente terrestre dadas suas melhorias em resoluções espacial, espectral e temporal, comparativamente a outros programas, ainda em funcionamento, que disponibilizam seus dados ao domínio público, como o Landsat 8 – OLI. O ganho em resolução espacial (10 m no VNIR – bandas do Visível e Infravermelho Próximo) viabilizou o uso do Sentinel 2 – MSI no estudo de ambientes de abrangências mais locais e que exijam certo grau de detalhamento. Por sua vez, a introdução das bandas do *Red Edge* possibilitou a derivação de índices, como o NDRE por exemplo, que podem vir a sanar deficiências de outros já consolidados como o NDVI.

4 CONCLUSÕES

O NDVI e o $NDRE_{705}$ foram os índices mais favoráveis na discriminação do cafeeiro em relação às outras duas classes de vegetação avaliadas, apresentando comportamento similares.

As bandas *Red Edge* B6 (740 nm) e B7 (783 nm) do MSI não foram adequadas na derivação do NDRE para fins de discriminação das classes avaliadas.

Sugere-se uma avaliação da performance dos IVs numa escala temporal que seja representativa para a identificação das fases fenológicas do cafeeiro.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM) e à NASA pela disponibilização dos dados utilizados no estudo.

Referências Bibliográficas

BANNARI, A.; MORIN, D.; BONN, F.; HUETE, A. R. A review of vegetation indices. **Remote Sensing Reviews**, v.13, n.1, p.95-120, 1995.

BARNES, E. M.; MORAN, M. S.; PINTER, JR., P. J.; CLARKE, T. R. Multispectral Remote Sensing and SiteSpecific Agriculture: Examples of Current Tecnology and Future Possibilities. In: Precision Agriculture: Proceedings of the **III International Conference on Precision Agriculture.** 1996. Robert, P.C., R.H. Rust and L.E. Larson (ed.). Minnesota, June 23-26, 1996. ASA,CSSA, SSSA, Madison,WI.

CAMARGO, Â. P. Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões (cafeeiras) do Brasil. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 20, n. 7, p. 831–839, 1985.

CAMARGO, Â. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e Esquematização das Fases Fenológicas do Cafeeiro Arábica nas Condições Tropicais do Brasil. **Bragantia**, v. 60, n. 1, p. 65–68, 2001.

CARVALHO, L. M. T. de; CLEVERS, J. G. P. W.; SKIDMORE, A. K.; JONG, S. M. de. Selection of imagery data and classifiers for mapping Brazilian semideciduous Atlantic forests. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,** v. 5, n. 3, p. 176-186, 2004.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama: Capelinha, Minas Gerais, Brasil. 2010. Disponível em: < https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/capelinha/panorama>. Acesso em: 23 Jul. 2018.

LI, S.; LI, M.; SUN, H. A novel vegetation index (MPRI) of corn canopy by vehicle-borne dynamic prediction. **Guang pu xue yu guang pu fen xi = Guang pu**, v. 34, n. 6, p. 1605–1609, jun. 2014.

MARTÍNEZ-VERDUZCO, G. C.; GALEANA-PIZAÑA, J. M.; CRUZ-BELLO, G. M. Coupling community mapping and supervised classification to discriminate shade coffee from natural vegetation. **Applied Geography**, v. 34, p. 1–9, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.10.001>.

MAYER, B.; KYLLING, A. Technical note: The libRadtran software package for radiative transfer calculations – description and examples of use. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 1319–1381, 2005. Disponível em: <http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/5/1319/2005/>

MEER, F. D.; WERFF, H. M. A.; RUITENBEEK, F. J. A. Potential of ESA's Sentinel-2 for geological applications. **Remote Sensing of Environment**, v. 148, n. 1, p. 124-133, 2014. MOREIRA, M. A. *et al.* Geotecnologias para mapear lavouras de café nos estados de Minas Gerais e São Paulo. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 1123–1135, 2010.

PALAIOLOGOU, P.; KALABOKIDIS, K.; KYRIAKIDIS, P. Forest mapping by geoinformatics for landscape fire behaviour modelling in coastal forests, Greece. **International Journal of Remote Sensing**, v. 34, n. 12, p. 4466–4490, 2013.

PONZONI, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M. (org) **Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais**. Brasília – DF: Editora Universidade de Brasília - UNB, Embrapa Cerrados, p 157-199, 2001.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. 2. ed. [S.l.]: Oficina de Textos, 2012. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=wcPJNAEACAAJ>.

ROUSE, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Third ERTS Symposium, **Proceedings**, NASA SP-351, NASA, Washignton, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.

SCHLEMMER, M. *et al.* Remote estimation of nitrogen and chlorophyll contents in maize at leaf and canopy levels. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 25, n. 1, p. 47–54, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2013.04.003>.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, n.8, p.127-150, 1979.

YANG, Z.; WILLIS, P.; MUELLER, R. Impact of Band-Ratio Enhanced AWIFS Image to Crop Classification Accuracy. In: **Proceedings of the Pecora 17**, Remote Sensing Symposium, Denver, CO, USA, 18-20 Novembro 2008.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

EMPREGO DO SENSORIAMENTO REMOTO ÓTICO PARA ESTIMATIVA DO ASSOREAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA

FELIPE CATÃO MESQUITA SANTOS
ITALO OLIVEIRA FERREIRA
LETÍCIA CARDOSO ANASTÁCIO
JULIO CESAR DE OLIVEIRA

Universidade Federal de Viçosa - UFV
Setor de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica - EAM
Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, MG
felipe.mesquita@ufv.br, italo.ferreira@ufv.br, leticia.anastácio@ufv.br, oliveirajc@ufv.br

RESUMO - A escassez de água é uma realidade em todo o planeta. Para uma melhor gestão dos recursos hídricos é necessário compreender e ter conhecimento do relevo submerso. Através do levantamento batimétrico tradicional, isto é, empregando ecobatímetros e receptores de sinais de satélite, pode-se estimar as profundidade com muita acurácia e precisão, porém é um processo moroso e dispendioso. Nos últimos tempos surgiram técnicas alternativas, das quais destaca-se, pelo relativo baixo custo, a extração da batimetria por sensoriamento remoto ótico. Diante disso, este trabalho objetivou o cálculo do assoreamento de uma das lagoas compreendidas na Universidade Federal de Viçosa, Campus Viçosa, através de técnicas de sensoriamento remoto ótico. Empregando imagens RapidEye respectivas aos anos de 2011 e 2015, pôde-se quantificar o assoreamento do reservatório no período considerado.

ABSTRACT - Water shortage is a reality all over the planet. In order to have a better management of the water resources, it is necessary to understand and have knowledge of the submerged relief. Through the traditional bathymetric survey, that is to say, using eco-meters and receivers of satellite signals, depth can be estimated with great accuracy and precision, but it is a time-consuming and expensive process. In recent times, alternative techniques have appeared, of which the extraction of bathymetry by optical remote sensing stands out for the relatively low cost. Therefore, the objective of this study aimed at calculating the silting of one of the lagoons included at the Federal University of Viçosa, Campus Viçosa, through optical remote sensing techniques. Using respective RapidEye images for the years 2011 and 2015, it is possible to quantify the silting of the reservoir during the considered period.

1 INTRODUÇÃO

A escassez de água é uma realidade em todo o planeta, devido, principalmente, ao crescente aumento populacional, aliados ao desperdício excessivo e a má gestão. O gerencimento dos recursos hídricos do planeta é um dos maiores desafios globais, tendo a falta de informações, ou o monitoramento um fator complicador perante uma crise hídrica. Nos últimos ano diversas regiões brasileiras tem enfrentado por situações de escassez, principalmente por causa do contraste na distribuição dos recursos hídricos (ANA, 2017). Desta forma, torna-se importante o desenvolvimento de ferramentas para a gestão adequada destes recursos.

Para a gestão dos recursos hídricos, num primeiro momento, é necessário o conhecimento da morfologia do relevo submerso. Este conhecimento é obtido através da realização de levantamentos batimétricos, que tem por finalidade realizar medições de profundidades associadas a uma posição na superfície d'água, informações necessárias em diversas outras áreas, como por exemplo: obras civis (pontes, portos, píeres), a locação de cabos e dutos, a prospecção de recursos minerais e o monitoramento de assoreamento de reservatórios (abastecimento ou geração de energia) (Ferreira et al., 2016a). A partir do conhecimento das profundidades é possível gerar modelos batimétricos representados por superfícies tridimensionais do relevo submerso, também chamadas de Modelos Digitais de Profundidade (MDP). A partir deste modelos é possível representar as linhas isobatimétricas, as quais permitirão a visualização da topografia submersa. Diversos instrumentos podem ser empregados na medição de profundidades, dentre eles o prumo de mão, as estádias e os ecobatímetros (IHO, 2005).

Historicamente, o levantamento batimétrico era realizado com o uso de fio-de-prumo e varas de sondar para uma medição direta da profundidade. Na atualidade, observa-se o emprego de ecobatímetros monofeixe e multifeixe. Comparativamente a medição direta, o sensoriamento remoto acústico produz dados mais acurados (AYRES NETO,

2000). A adoção dos Sistemas de sondagem laser aerotransportados, conhecidos como LiDAR (*Light Detection And Ranging*) batimétricos, apesar de serem de alto custo, também vem sendo utilizados. É uma tecnologia em ascensão no mercado, destacando-se, principalmente, pela alta produtividade em relação ao levantamento com ecobatímetros. (GUENTHER et al., 1996; IHO, 2005; ATHEARN et al., 2010; PASTOL, 2011; ELLMER et al., 2014).

A Batimetria realizada por meio de ecobatímetros apresenta resultados com alta acurácia, porém é dispendiosa e demorada. Alternativamente, nos últimos tempos, têm-se visto um grande empenho da comunidade acadêmica no desenvolvimento de metodologias que empregam o sensoriamento remoto ótico para obtenção da batimetria de águas opticamente rasas (LYZENGA, 1978; PHILPOT, 1989; KRUG & NOERNBERG, 2007; LIMA, 2013; MALLICK, 2014; COLLISCHONN, 2016; FERREIRA, 2016b). Por meio do sensoriamento remoto ótico é possível obter informações de um determinado elemento terrestre através de análises dos dados adquiridos por um sensor sem contato físico com o mesmo (ROTUNNO FILHO & ZEILHOFER, 2003). Deve-se destacar que nos levantamentos batimétricos tradicionais, também se utiliza o sensoriamento remoto, porém, o sensoriamento remoto acústico.

Assim, o sensoriamento remoto ótico torna-se uma ferramenta de baixo custo para criação de mapas batimétricos de águas rasas. Percebe-se também, que esta metodologia pode ser bastante útil para estimativa de profundidades em áreas inóspitas e de difícil acesso, locais em que o uso da batimetria convencional é inviável. Complementando, há uma série de problemas que pode surgir ao empregar equipamentos desse tipo – tal como, o ecobatímetro - em águas muito rasas, incluindo desde restrições operacionais à navegação (obstáculos em geral) até a difícil aquisição de dados, devido à dificuldade de propagação de som nestes ambientes (reverberação de sinal). Diversas outras vantagens como a rápida atualização da carta náutica e obter um volume maior de dados levantados em relação ao levantamento batimétrico tradicional (TEDESCO, 2003, FERREIRA et al., 2016b). Ainda sobre as vantagens, podem ser observadas, em estudos e pesquisas já realizadas, em que foram obtidos resultados fiéis dentro do limite de profundidade aos quais se pretendem, conseguindo uma contribuição valorosa no conhecimento do relevo subaquático (KRUG & NOERNBERG, 2007).

Ferreira et al. (2016b), desenvolveram uma metodologia baseada no Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI, do Inglês: *Normalized Difference Water Index*), para extração da batimetria das lagoas compreendidas no Campus da Universidade Federal de Viçosa, município de Viçosa-MG. Neste estudo, foi utilizada uma imagem do sensor REIS do satélite RapidEye, com resolução espacial de 5 m. As profundidades calculadas com base na metodologia foram comparadas com profundidades obtidas através de uma sondagem batimétrica tradicional. Os resultados deste estudo mostraram que a metodologia proposta, de custo relativamente baixo e reduzido tempo de execução, pode ser empregada para a elaboração preliminar de projetos na área de gestão de recursos hídricos. Os autores concluíram ainda, que o sensoriamento remoto ótico mostra-se confiável para a determinação da batimetria de águas rasas e parcialmente turvas, porém o índice NDWI ainda requer testes a serem realizados em locais com diferentes características da água.

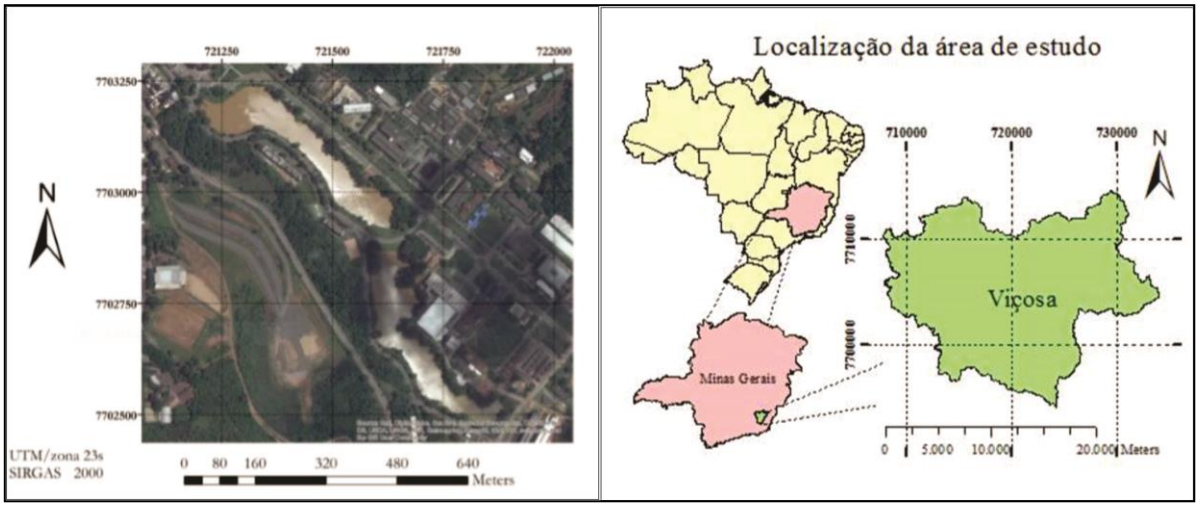
Diante do exposto, este estudo objetiva a aplicação da metodologia desenvolvida por Ferreira et al. (2016b) para a extração da batimetria, bem como a estimativa do seu atual estado de assoreamento, de uma lagoa compreendidas no Campus da Universidade Federal de Viçosa, munício de Viçosa-MG. Os modelos batimétricos construídos com recurso ao sensoriamento remoto ótico foram avaliados estatisticamente por meio de pontos de controle (posição e profundidade) coletados na época do imageamento.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para a realização deste estudo, selecionou-se um dos represamentos do Ribeirão São Bartolomeu (Figura 1) localizados dentro do campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), munícipio de Viçosa - Minas Gerais (Figura 1), entre as latitudes 20º45’04”S e 20º45’51”S e as longitudes 42º52’15”O e 42º52’89”O. Este reservatório artificial vem sofrendo nos últimos anos com o assoreamento, devido, principalmente, ao uso e ocupação do solo na bacia a montante, incluindo lançamento de águas residuárias procedentes de unidades de produção da instituição, lançamento de rede de drenagem pluvial e escoamento superficial de áreas sem cobertura vegetal. Além disso, é notório o avanço no processo de eutrofização do corpo d´água (Informação verbal)[1].

[1] Informação fornecida pela professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, Profª. Dsc. Ana Augusta Passos Rezende, em junho de 2018.

Figura 1 – Represamento do Ribeirão São Bartolomeu à esquerda; Localização da área de estudo.

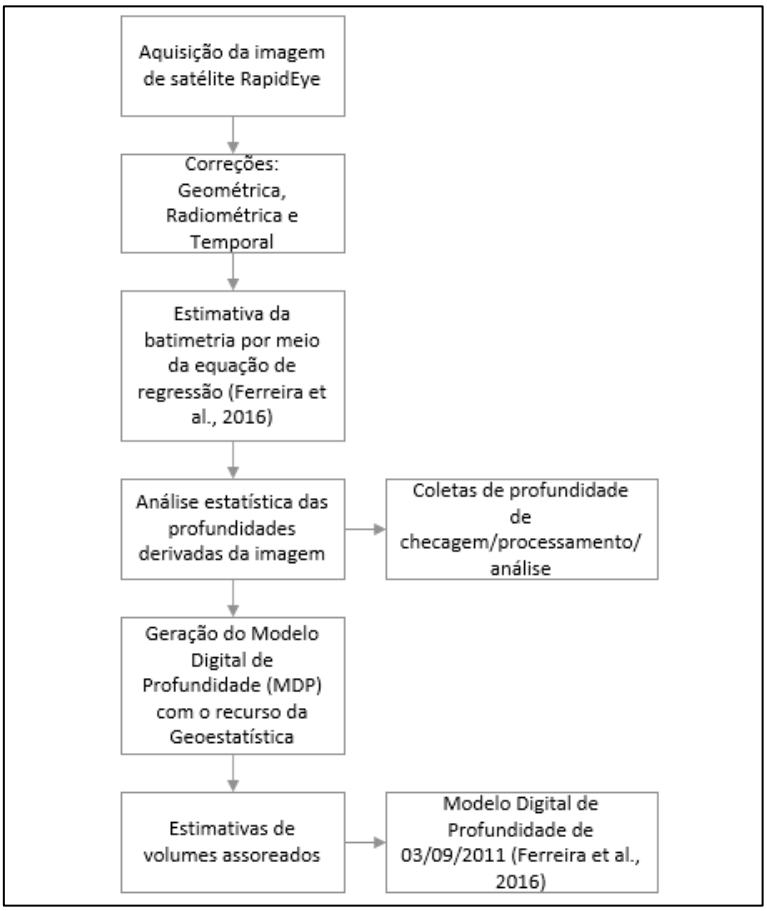


Fonte: Ferreira et al., (2016b).

3 METODOLOGIA

O fluxograma ilustrado na Figura 2 resume as principais etapas metodológicas desenvolvidas neste trabalho.

Figura 2 – Fluxograma da metodologia.



De acordo com (MENESES & ALMEIDA, 2012), as técnicas do pré-processamento são, essencialmente, funções operacionais para corrigir ou remover os erros e as distorções introduzidos nas imagens pelos sistemas sensores devidos também às interferências da atmosfera e à geometria de imageamento (distorções geométricas). Para a área de estudo, foi obtida uma imagem do satélite RapidEye referente a 06/10/2015, e realizadas as correções geométrica, atmosférica (pelo método do pixel escuro – Chavez Jr. (1988)) e temporal da mesma.
Em dezembro do mesmo ano, foram realizadas coletas de profundidades ao longo da lagoa, que serão empregados neste estudo como pontos de checagem para a análise estatística da qualidade dos dados de profundidades obtidos pela metodologia.

A correção geométrica é um processo de correção de erros sistemáticos, que ocorrem no momento de tomada das imagens, e que permite o relacionamento de coordenadas de um sistema de projeção cartográfica (Coordenadas UTM ou Geográficas) equivalentes às coordenadas de imagem referentes a seus pixels (MENESES & ALMEIDA, 2012). Na correção geométrica foram utilizados seis pontos de controle coletados através do sistema GNSS RTK da JAVAD, modelo TRIMPH-1. Adotou-se a projeção cartográfica UTM/zona 23S referenciada ao sistema geodésico SIRGAS 2000.

A correção atmosférica visa a correção da influência negativa do espalhamento atmosférico e da absorção sobre imagens adquiridas por satélites (POLIDORIO, 2005). A correção atmosférica, que corrige a distorção radiométrica, é essencial para o pré-processamento de imagens orbitais, buscando minimizar a influência dos fatores que compõe a atmosfera terrestre melhorando a qualidade das informações. As correções geométrica e atmosférica foram realizadas no *software* QGIS (QGIS, 2014).

A próxima etapa foi a extração da profundidade a partir do índice NDWI. Para isso utilizou da metodologia proposta por Ferreira et al. (2016b), onde os valores de NDWI foram correlacionados com os valores de profundidade resultados da sondagem batimétrica na época. Ferreira et al. (2016b) ilustra o modelo de regressão encontrado, bem como a equação que explica o modelo e o coeficiente de determinação no valor de 0,829, significando que aproximadamente 83% da variação de resposta pode ser explicada pelo modelo proposto. O presente estudo, foi realizado no mesmo corpo d'água da área de estudo de Ferreira et al. (2016b), usando-se assim, a mesma equação e metodologia de correlação para a profundidade extraída da imagem.

Para cada pixel extraiu-se um valor de profundidade, e esta foi atribuída a sua respectiva coordenada planimétrica, gerando ao final um arquivo XYZ_{2015}^{Imagem} com 1064 pontos. Os dados de profundidade foram obtidos a partir da Equação 1, onde Z corresponde a profundidade obtida com os pontos da imagem, DN_2 é o valor digital (*Digital Number)* do pixel correspondente à faixa verde do espectro visível (banda 2); DN_5, valor digital por pixel correspondente à região do infravermelho próximo (banda 5).

$$Z = 2{,}1435 \cdot \exp(1{,}2302) \cdot [(DN_2 - DN_5) / (DN_2 + DN_5)] \quad (1)$$

A acurácia das profundidades obtidas foi analisada a partir de 272 pontos batimétricos coletados a partir de um levantamento batimétrico tradicional. Com base em Ferreira (2018), foram geradas as respectivas discrepâncias e a incerteza vertical. Posteriormente, efetuou-se a modelagem Geoestatística para a geração do Modelo Digital de Profundidade da imagem. De acordo com Santos (2010), dentre os procedimentos existentes de interpolação de dados, a Krigagem Linear é vantajoso por apresentar valores esperados dos resíduos iguais a zero e também minimiza a variância dos mesmos.

A Krigagem Linear pode ser dividida em três tipos: Krigagem Simples (KS), Krigagem Ordinária (KO) e Krigagem Universal (KU). Em estudos realizados por Ferreira et al. (2013, 2017) e Andrade et al. (2018), concluiu-se que para dados coletados com ecobatímetro, a KU parece apresentar maior eficiência, uma vez que foi observada tendência nos dados. Carmo et al. (2015) concluíram que as médias das discrepâncias dos interpoladores de KO e KS não foram significativas, quando a partir de um *"as built"* foi gerado um modelo digital de elevação. Dessa forma, para o desenvolvimento do estudo em questão foi utilizado a KS, pois, segundo Bayley & Gatrell (1995), essa não é estimada a partir das observações, assumindo que a função média do processo estocástico é conhecida e sendo preferencialmente adotada quando não se constata tendência nos dados. De acordo com Ferreira et al., (2013), a KS não mostra grandes diferenças, porém, representa a profundidade de forma mais condizente com a realidade.

De acordo com Freitas et al. (2016), o modelo digital de profundidade consiste em uma representação numérica computacional da distribuição da profundidade que ocorre dentro de uma área de estudo pré-determinada. Tais modelos permitem desde a simples visualização tridimensional do relevo submerso até análises complexas, como calcular quantidade de material a ser dragado. Com a intenção de conferir as discrepâncias da profundidade da área levantada, o modelo digital de profundidade (MDP_{2015}) gerado com recurso a Geoestatística, foi estatisticamente avaliado através de pontos de validação.

Com a finalidade de avaliar a qualidade da metodologia empregada, foram coletadas profundidades, através de um levantamento batimétrico monofeixe realizado na área de estudo apresentada, seguindo recomendações de IHO (2005) e DHN (2014). Resultando em pontos de checagem para uma posterior comparação entre o resultado gerado pela

Equação 1 e a profundidade obtida através do levantamento batimétrico. Para que se possa estimar o grau de assoreamento na área de estudo, foi comparado o Modelo Digital de Profundidade da imagem de 2011 obtida no estudo realizado por Ferreira et al. (2016b), com o Modelo de 2015 do atual estudo.

Com base nos modelos batimétricos gerados pode-se realizar uma análise espacial comparativa, objetivando estimar o atual grau de assoreamento do reservatório.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

A Tabela 1 exemplifica a obtenção da profundidade (Z) para cada pixel da imagem adotada neste estudo.

Tabela 1 - Resultados da profundidade empregando a Equação 1.

Ponto	Coordenadas		NDWI	DN2	DN5	Z_{imagem}
	X	Y				
1	721424,391	7703172,245	0,029097239	4138	3904	2,221
2	721494,391	7703017,245	0,020302933	3166	3040	2,197
3	721509,391	7702987,245	0,114038389	2960	2354	2,466
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1064	721664,391	7702732,245	0,200617284	1945	1295	2,743

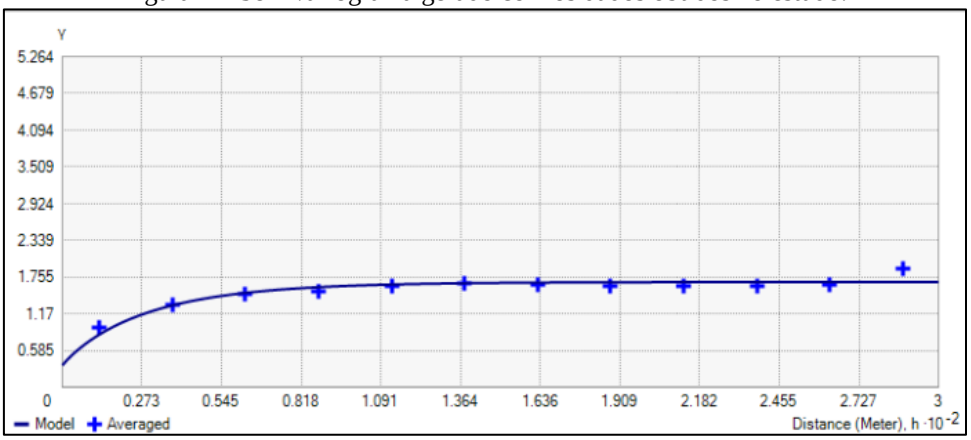
A avaliação estatística das profundidades geradas pela metodologia proposta foi realizada com base nas proposições de Ferreira (2018). Assim, realizou-se a análise de independência espacial das amostras de discrepâncias geradas, constando dependência espacial. Diante disso, optou-se por empregar a análise robusta, em que obteve-se um $\emptyset_{Robusto}$ igual a 0,092 metros e intervalo de confiança, ao nível de 95%, de [0,080; 0,102].

Para tratar dados dependentes espacialmente, Santos (2015) sugere o uso da Geoestatística. Tendo em vista que, com a presença de autocorrelação, a variabilidade espacial não pode ser definida por simples funções matemáticas (FERREIRA et al., 2013).

De acordo com Ferreira (2018), uma ferramenta básica de suporte às técnicas geoestatísticas é o semivariograma, uma vez que ele permite modelar a dependência espacial entre as amostras.

A construção e modelagem do semivariograma (Figura 4) foi realizada com recurso ao *software* ArcGIS.

Figura 4 – Semivariograma gerado com os dados obtidos no estudo.



Fonte: O autor (2018).

Após a construção do semivariograma, o passo seguinte é a realização da validação cruzada. Segundo Ferreira et al., (2013), a validação cruzada é o procedimento que quantifica a incerteza obtida. Tendo em vista que, segundo Santos (2010) em qualquer método de estimação haverá sempre incertezas inerentes ao processo.

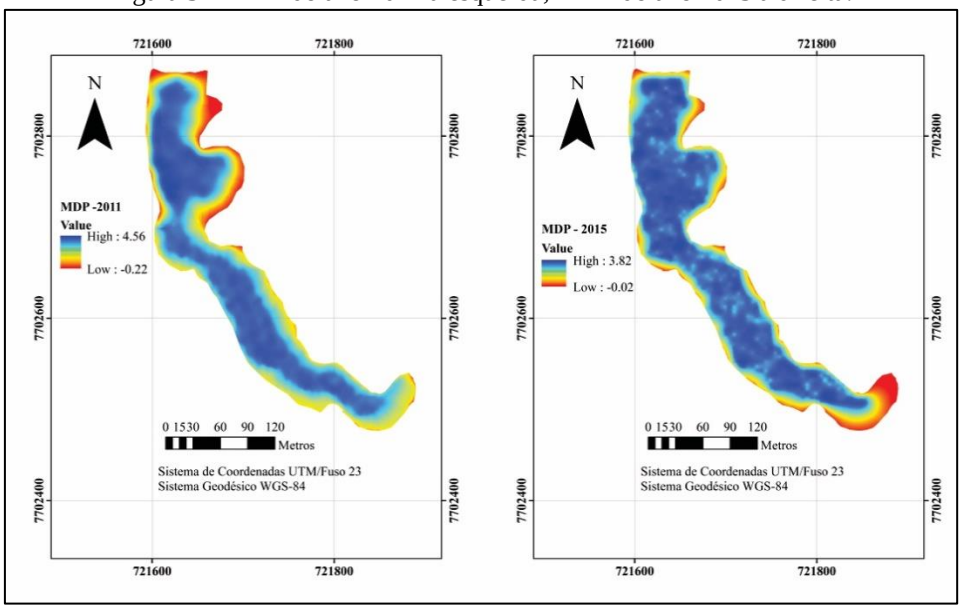
Segundo VIEIRA (2000), através da validação cruzada pode-se obter vários indicadores estatísticos, tais como: erro padrão, soma dos quadrados dos resíduos e coeficiente de determinação (R^2). Neste estudo foram consideradas as estimativas do erro quadrático médio (RMS), do erro médio (EM), e dos parâmetros da regressão linear simples entre os valores observados e os preditos, coeficiente angular (a) e linear (b). Os parâmetros da modelagem do semivariograma, bem como as estatísticas da validação cruzada estão exibidos na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados resultados utilizando a Krigagem Universal.

	Parâmetros do Semivariograma					Validação do Modelo			
Krigagem	**Modelo teórico**	**Patamar**	**Alcance**	**Contribuição**	**Efeito pepita**	**a**	**b**	**RMSE**	**EM**
KU	*Stable*	1,3289	95,0419	0,9819	0,3470	0,4706	1,6035	0,8626	0,0349

Finalmente, foi gerado o MDP_{2015} para a área de estudo, e comparado com o MDP_{2011} obtido por Ferreira et al. (2016b), objetivando estimar o estado de assoreamento do reservatório (Figura 5). Ambas as imagens geradas pelo *software* ArcGis.

Figura 5 – MDP do ano 2011 à esquerda; MDP do ano 2015 à direita.



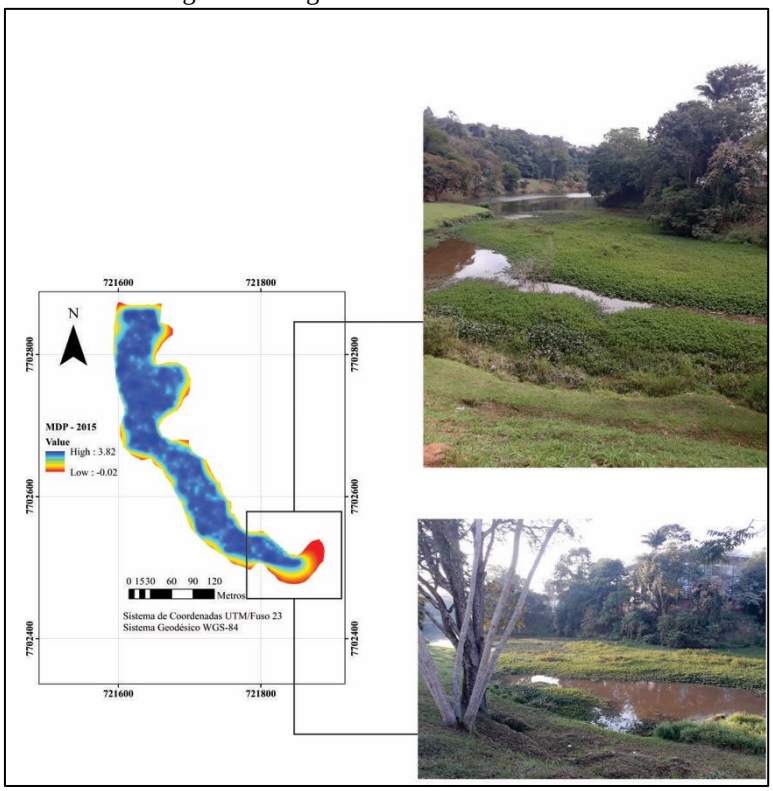
Fonte: O autor (2018).

Comparando os volumes de água do reservatório, para o Nível Médio Normal, nota-se que entre os anos de 2011(volume 92.122,767 m³) e 2015 (volume 85.182,962 m³) o método adotado indica um assoreamento de aproximadamente 6.939m³.

Destaca-se a seguir o alto grau de assoreamento na parte sudeste do reservatório. Como já discutido no tópico Caracterização da Área de Estudo, essa área vem sofrendo com o acúmulo de sedimentos devido, principalmente, ao lançamento de águas residuárias procedentes de unidades de produção da Universidade, lançamento de rede de drenagem pluvial e escoamento superficial de áreas sem cobertura vegetal. É notável a cobertura vegetal formada sobre a superfície da água (Figura 6), devido ao avanço no processo de eutrofização do corpo d´água. (Informação verbal)[2]

[2] Informação fornecida pela professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, Profª. Dsc. Ana Augusta Passos Rezende, em junho de 2018.

Figura 6 – Região sudeste do reservatório.



Fonte: O autor (2018).

Desta forma é possível fazer a análise visual sobre a mudança do relevo submerso do corpo d'água nesse período de 4 anos. Na parte inferior do modelo de 2015 é visível uma diferença de nível em relação ao modelo gerado em 2011, ocasionado pelo aumento no grau de assoreamento.

6 CONCLUSÃO

Em levantamentos batimétricos tradicionais, como já citado, são obtidos resultados com alta acurácia. Entretanto, em sua maioria, são processos dispendiosos e morosos.

Métodos de sensoriamento remoto vem sendo aplicados para conseguir informações batimétricas a baixo custo. Com a metodologia que foi utilizada, obteve-se resultados confiáveis, possibilitando ter o conhecimento do volume e do corpo d'água que está sendo estudado. Para tais resultados satisfatórios, a área que está foi realizado o levantamento, encontra-se em águas rasas e límpidas e/ou área de difícil acesso, para que mapas batimétricos sejam gerados.

Com as informações da pesquisa, foi feito um comparativo com o MDP_{2011}, e obteve-se o grau de assoreamento do reservatório. A metodologia empregada é válida principalmente para estudos preliminares e estudos ambientais. Entretanto, para demais finalidades e trabalhos com o nível de acurácia maior, é necessário estudos mais detalhados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao grupo de Grupo de Estudo e Pesquisa em Levantamentos Hidrográficos – GEPLH e a UFV por permitir a realização dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agencia Nacional de Águas. **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil.** 2017. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf>

ANDRADE, L.C.; FERREIRA, Í.O.; SANTOS, F.C.M.; ANASTÁCIO, L.C. **Comparação entre métodos de interpolação probabilísticos para melhor gestão hídrica de corpos d'água**. 2018 (Em desenvolvimento).

ATHEARN, N.D., TAKEKAWA, J.Y., JAFFE, B., HATTENBACH, B.J., FOXGROVER, A.C. **Mapping bathymetry of tidal wetland restoration sites in San Francisco Bay: comparing accuracy of aerial LiDAR with a single beam echosounder.** J. Coast. Res. 26, 312–319, 2010.

AYRES NETO, A. **Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina.** Brazilian Journal of Geophysics, v. 18, n. 3, p. 241256, 2000.

BAILEY, T. C., & GATRELL, A. C. **Interactive spatial data analysis** (Vol. 413). Essex: Longman Scientific & Technical. 1995.

CARMO, E.J., RODRIGUES, D. D., SANTOS, G. R. **Avaliação dos interpoladores Krigagem e Topo to Raster para geração de modelos digitais de elevação a partir de um "as built".** Boletim de Ciências Geodésicas [online] 21, 674-690. 2015. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982- 21702015000400039>.

CHAVEZ JR., P.S**. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectraldat**a. Remote Sensing of Environment, v. 24, p. 459-479, 1988.

COLLISCHONN, B.; CLARKE, R. T. **Estimativa e incerteza de curvas cota-volume por meio de sensoriamento remoto.** RBRH, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2016.

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação. **NORMAM 25 – Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos.** Marinha do Brasil. Brazil, 2014.

ELLMER, W.; ANDERSEN, R. C.; FLATMAN, A.; MONONEN, J.; OLSSON, U.; ÖIÅS, H. **Feasibility of Laser Bathymetry for Hydrographic Surveys on the Baltic Sea**. The International Hydrographic Review, n. 12, p. 33-50, 2014.

FERREIRA, Í. O.; NETO,A.A.; MONTEIRO, C. S.; O uso de embarcações não tripuladas em levantamentos batimétricos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 68, p. 1885-1903, 2012.

FERREIRA, Í. O. ; SANTOS, G. R. ; RODRIGUES, D. D. **Estudo sobre a utilização adequada da krigagem na representação computacional de superfícies batimétricas**. Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, v. 65, n.5, p. 831-842, 2013.

FERREIRA, Í. O.; RODRIGUES, D. D.; NETO, A. A.; MONTEIRO, C. S. **Modelo de incerteza para sondadores de feixe simples**. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 5, p. 863-881, 2016a

FERREIRA, Í. O.; ZANETTI, J.; GRIPP, J. S.; MEDEIROS, N. G**. Viabilidade do uso de imagens do sistema Rapideye na determinação da batimetria de águas rasas**. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 7, p. 1331-1340, 2016b.

FERREIRA, Í. O.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, G. R.; ROSA, L. M. F. **In bathymetric surfaces: IDW or Kriging?** Boletim de Ciências Geodésicas, v. 23, n. 3, p. 493-508, 2017.

FERREIRA, I. O. **Controle de Qualidade em Levantamentos Hidrográficos**. Tese (Doutorado). Programa de PósGraduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 216f., 2018.

FREITAS, É. L., DE BRITO, M. A. N., BEZERRA, L. M., & SILVA, W. T. M. **Representação do relevo submerso e identificação de elementos sob a ponte JK por aquisição e processamento de dados em levantamento batimétrico monofeixe**. Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia-RIPE, v.2, n.11, p. 01-09, 2016.

GUENTHER, G. C.; THOMAS, R. W. L. ; LAROCQUE, P. E. **Design considerations for achieving high accuracy with the Shoals bathymetric Lidar system. In: CIS Selected Papers: Laser Remote Sensing of Natural Waters-From Theory to Practice.** International Society for Optics and Photonics, p. 54-71, 1996.

IHO. **Manual on Hydrography**. Mônaco: International Hydrographic Bureau, 2005. 540p

KRUG, L. & NOERNBERG, M. **O sensoriamento remoto como ferramenta para determinação de batimetria de baixios na Baía das Laranjeiras, Paranaguá – PR.** Revista Brasileira de Geofísica, v. 25, p. 101-105, 2007.

LIMA, J. R. C., SHINOZAKI, R., Almeida, A. Q., RODRIGUES, C. T. A**. ESTIMATIVA DA BATIMETRIA DO AÇUDE DO SACO-PE COM DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**. Revista Engenharia Agrícola, v. 33, n.5, 2013.

LYZENGA DR. **Passive Remote Sensing Techniques for Mapping Water Depth and Bottom Features.** Applied Optics, 17(3): 379–383, 1978.

MALLICK, J.; HASAN, M.A.; ALASHKER, Y.; AHMED, M. **Bathymetric and geochemical analysis of lake al-saad, abha, kingdom of saudi arabia using geoinformatics technology**. J. Geograph. Inform. Syst. 2014.

MENESES, P; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. 1 ed. Brasília: UnB/CNPq, v.1, 266p., 2012.

PASTOL, Y**. Use of Airborne lidar Bathymetry for Coastal Hydrographic Surveying: The French Experience.** Journal of Coastal Research, n. 62, p. 6-18, 2011.

PHILPOT WD**. Bathymetric Mapping with Passive Multispectral Imagery**. Applied Optics, 28(8): 1569–1578, 1989.

POLIDORIO, A. M., IMAI, N. N., TOMMASELLI, A. M. G. E GALO, M. L. T. **Correção radiométrica de imagens multiespectrais CBERS e Landsat ETM usando atributos de reflectância e de cor**. 2005. Artigo submetido ao XII SBSR/2005

QGIS Development Team, (2014). '**QGIS Geographic Information System**'. Open Source Geospatial Foundation. Projeto disponível em: https://www.osgeo.org/projects/qgis/

ROTUNNO FILHO, M; ZEILHOFER, P. **Modelagem da Poluição não Pontual na Bacia do Rio Cuiabá Baseada em Geoprocessamento**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8 n. 4, p. 115-135, 2003.

SANTOS, G. R. **Hierarquização geométrica dos preditores geoestatísticos**. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 200p., 2010.

SANTOS, A. P. **Controle de qualidade cartográfica: metodologias para avaliação da acurácia posicional em dados espaciais**. Tese (Doutorado). Programa de PósGraduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 172p., 2015.

TEDESCO A & CENTENO JAS**. Utilização de imagens Ikonos para estimativa de profundidades**. Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba, PR, 2013. Disponível em: <http://www.milenio.com.br/jed/inicio>.

VIEIRA, S. R**. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo.** In. NOVAES, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E G. R. Tópicos em ciências do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1. p. 2-54, 2000.

ESPACIALIZAÇÃO DO ÍNDICE NDWI POR MEIO DE IMAGENS MULTI-ESPECTRAIS NO MUNICÍPIO DE AFOGADOS DA INGAZEIRA – PE

DÉBORA NATÁLIA OLIVEIRA DE ALMEIDA
LEIDJANE MARIA MACIEL DE OLIVEIRA
ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS
ANTÔNIO CELSO DE SOUSA LEITE

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica e Departamento de Engenharia Civil, Recife, PE
debora.nathalia21@gmail.com, leidjaneoliveira@hotmail.com, ana.lucia@ufpe.br, antonio.celso@ifpi.edu.br

RESUMO – As características espectrais têm sido utilizadas para o monitoramento e avaliação de feições naturais e artificiais da superfície terrestre por meio de imagens de satélites. Desta maneira, torna-se viável identificar as alterações no manejo do solo e identificação de recursos hídricos, em especial as bacias hidrográficas. Neste cenário, o presente trabalho investigou as variações na cobertura do uso do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú, especificamente no município de Afogados da Ingazeira através do índice NDWI utilizando imagens do TM Landsat 5 de 19/07/2007 e do OLI Landsat 8 de 30/07/2018. Os valores de NDWI apresentaram valores médios em 2007 e 2018, respectivamente 0,010 e – 0,064. Os maiores valores correspondem a áreas com maior presença de água em sua estrutura denotando em áreas de cursos hídricos e vegetação com alto teor de água, a exemplo perímetros irrigados e mata ciliar. Sobretudo, os menores valores compreendem regiões concentradas de vegetação seca, solo exposto e centros urbanos.

ABSTRAT- The spectral characteristics have been used for the monitoring and evaluation of natural and artificial features of the terrestrial surface through satellite images. In this way, it is feasible to identify changes in soil management and identification of water resources, especially in river basins. In this scenario, the present work investigated the variations in the land use coverage in the Pajeú river basin, specifically in the municipality of Afogados da Ingazeira through the NDWI index using images from TM Landsat 5 of 07/19/2007 and OLI Landsat 8 of 07/30/2018. The NDWI values presented average values in 2007 and 2018, respectively 0.010 and - 0.064. The highest valuescorrespond to areas with greater water presence in its structure denoting in areas of watercourses and vegetation with high water content, such as irrigated perimeters and riparian forest. Above all, the lowest values include concentrated regions of dry vegetation, exposed soil and urban centers.

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento do comportamento hídrico associado a variação da cobertura vegetal através do sensoriamento remoto encontra-se cada vez mais recorrente no cenário mundial. A principal motivação dos estudos envolvendo a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto fundamenta-se na compreensão do comportamento espectral que uma dada cobertura assume em um determinado produto de sensoriamento remoto. Esse produto é fruto de um processamento de imagens de satélite que pode envolver muitos parâmetros e fatores ambientais (PONZONI, 2002).

Conforme Moreira (2003), o sensoriamento remoto é uma ferramenta de obtenção de dados da superfície terrestre, que constitui importante técnica para o monitoramento sistemático ambiental. Essa ferramenta assume um papel importante no monitoramento e na estimativa dos diversos fenômenos meteorológicos e ambientais, auxiliando para monitoramento das mudanças climáticas e possibilitando a tomada de decisão para preservação ambiental.

O Sensoriamento Remoto (SR) vem contribuindo expressivamente em pesquisas para avaliações das alterações do uso e ocupação da cobertura do solo. Através de suas técnicas, os resultados proporcionam confiabilidade, eficácia e baixos custos para devidas análises espaço-temporal (NOVAIS et al., 2011).

O controle nas análises de parâmetros biofísicos de bacias hidrográficas pode promover condições de uso e ocupação sustentáveis. Com o monitoramento, é exequível detectar alterações antrópicas e naturais na paisagem, e direcionar o estabelecimento de políticas reversas de um cenário de degradação ambiental (CUNHA et al., 2012).

O Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI), de acordo com Oliveira et al. (2010) tem se destacado no monitoramento do estresse hídrico em ambiente semiárido, pois as bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio são altamente correlacionadas com o conteúdo de água do dossel vegetal, conseguindo acompanhar melhor a estimativa da quantidade de água em culturas agrícolas. Por essas características esses dois índices se destacam nas análises, espaciais e temporais, de vegetação e recursos hídricos.

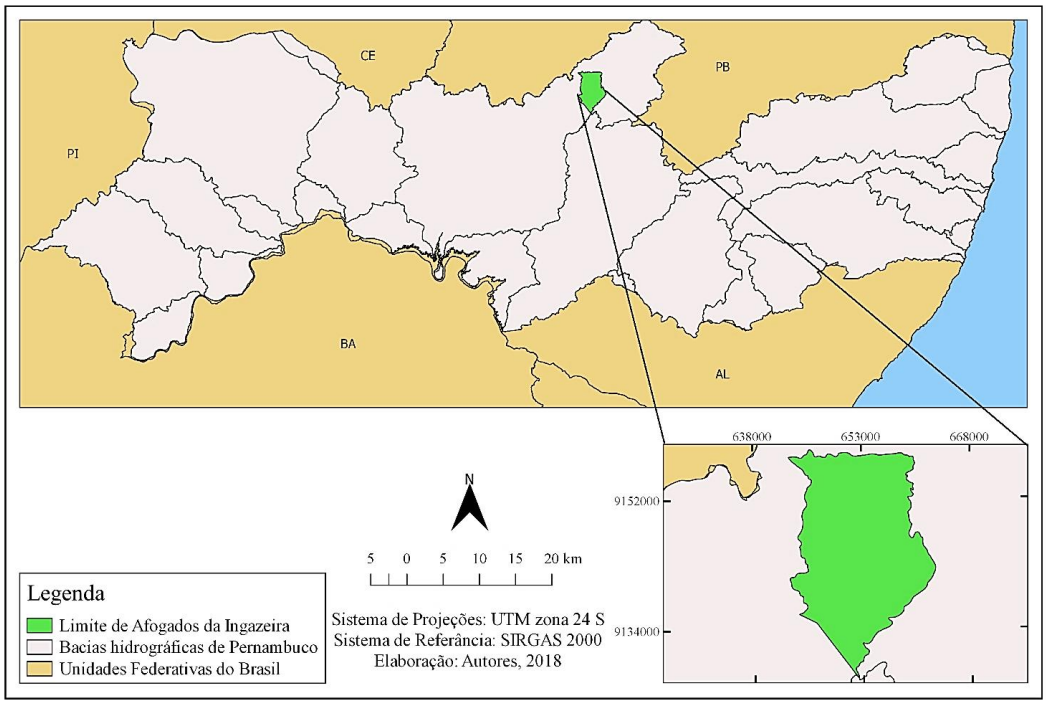
O objetivo deste estudo foi investigar mudanças do índice NDWI, para detectar a variabilidade da cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú, especificamente no município de Afogados da Ingazeira no estado de Pernambuco.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

A bacia do rio Pajeú é a maior bacia do Estado de Pernambuco, com uma área de 16.685,63 km², que corresponde a 16,97% da área do Estado. O rio Pajeú nasce no município de Brejinho e percorre uma extensão de aproximadamente 353 km. E ao longo do seu curso, margeia as cidades de Itapetim, Tuparetama, Ingazeira, Afogados da Ingazeira, Carnaíba, Flores, Calumbi, Serra Talhada e Floresta. A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Pajeú, especificamente no município de Afogados da Ingazeira no estado de Pernambuco (APAC,2018).

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Autores (2018)

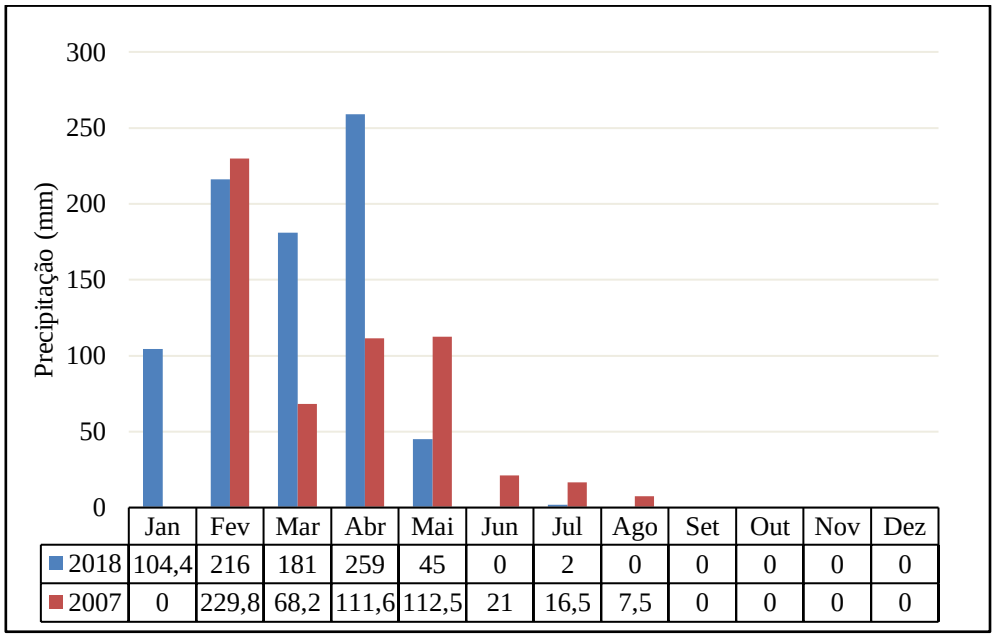
2.2. Pesquisa em sites específicos e aquisição de imagens com incidência de nuvens para o processamento do NDWI

Foram utilizadas as imagens dos satélites Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI, através do catálogo de imagens do *United States Geological Survey* (USGS). As imagens do satélite utilizadas para o projeto foram de 19/07/2007 e 30/07/2018 do Ponto 65 e Órbita 215 na área da Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú, correspondendo o município de Afogados da Ingazeira. Para a realização das etapas utilizou-se o software gratuito QGIS versão 2.18.16.

2.3. Pesquisa de banco de dados hidrológicos

Para identificação dos índices pluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Pajeú utilizaram-se dados da Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC) para os anos de 2007 e 2018, conforme Figura 2.

Figura 2 - Precipitação mensal no município de Afogados da Ingazeira-PE



	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2018	104,4	216	181	259	45	0	2	0	0	0	0	0
2007	0	229,8	68,2	111,6	112,5	21	16,5	7,5	0	0	0	0

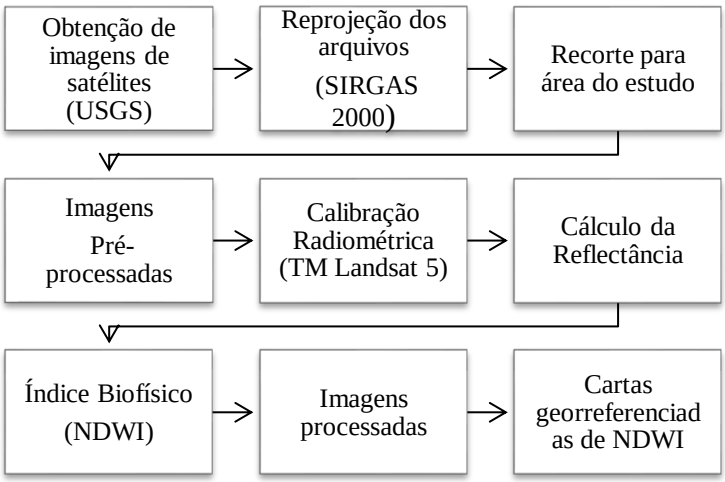
Fonte: APAC (2018)

Observou-se que no decorrer do ano de 2007, totalizaram-se respectivamente 576,1 mm. Para a o ano 2018 o mês de abril apresentou índice pluviométrico com maior magnitude de 258,3 mm. Na Figura 2 demonstra que no mês de julho, mês onde ocorreu o imageamento da área de estudo, no ano 2007 precipitou aproximadamente 16,5 mm, enquanto no ano 2018 a precipitação alcançou 2 mm.

2.4. Processamento digital de imagens (empilhamento, reamostragem e recorte)

No ambiente do QGIS versão 2.18.16 foram processadas as imagens de satélites e realizado o empilhamento para a geração da composição coloridas (RGB) que corresponde a utilização das bandas 4 e 5 para o sensor TM do satélite Landsat 5 e o OLI Landsat 8 as bandas 6 e 5.

Figura 3 – Fluxograma das etapas realizadas para determinação das cartas georreferenciadas de NDWI



Fonte: Autores (2018)

2.5. Processamento de cartas georreferenciadas do NDWI

A primeira etapa do processamento digital das imagens de satélite, corresponde a calibração radiométrica representada pela equação:

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

em que: "a" e "b" são radiâncias espectrais mínimas e máximas (Wm^{-2} sr^{-1} μm^{-1}) obtidos em Chander e Markham (2007); ND é a intensidade do pixel (número inteiro entre 0 e 255) e; "i" cada banda do satélite Landsat 5.

Tabela 1 - Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) Landsat5

Bandas	**Comprimento de onda**	**Coeficientes de Calibração ($Wm^{-2}\mu m^{-1}$)**		**Irradiância espectral no Topo da Atmosfera $k\lambda_i$ ($Wm^{-2}\mu m^{-1}$)**
		a	b	
4 (IV – próximo)	0,776 – 0,904	-1,51	221,0	1031
5 (IV – médio)	1,567 – 1,784	-0,37	30,2	220

Fonte: Adaptado de Chander *et al.* (2009)

Com a radiância de cada banda calculada, efetivou-se a determinação das reflectâncias para ambas bandas citadas acima. A reflectância corresponde a seguinte equação:

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi L \lambda_i}{k_{\lambda i} \cos Z d_r} \quad (2)$$

em que: $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda; $k_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera (Wm^{-2} μm^{-1}) obtidos em Allen et al. (2007); Z é o ângulo zenital solar e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_o) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DSA).

O quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_o) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DSA), ou seja, o d_r é definido por:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{DSA 2\pi}{365}\right) \quad (3)$$

em que o argumento em função do cosseno está em radianos. O valor médio anual de d_r é igual a 1 e o mesmo varia entre 0,97 e 1,03, aproximadamente.

Quando a área de estudo tem declividade pequena ou nula, o cosseno do ângulo de incidência da radiação solar é simplesmente obtido a partir do ângulo de elevação do Sol (E), que se encontra no cabeçalho da imagem, definido por:

$$\cos Z = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) \quad (4)$$

em que o argumento em função do cosseno está em radianos.

Para o NDWI proposto por Gao (1996), apresenta a relação entre as bandas 4 e 5 do TM Landsat 5 (Equação 5), que corresponde respectivamente às bandas do infravermelho próximo (ρ_4) e infravermelho médio (ρ_5):

$$NDWI = \frac{\rho 4 - \rho 5}{\rho 4 + \rho 5} \quad (5)$$

O processamento das imagens Landsat 8 OLI se deu em conformidade com Ruhoff, Silva & Rocha (2015): para conversão dos valores quantizados e calibrados (ND) do sistema sensor Landsat 8 OLI para reflectância espectral, utilizou-se coeficientes radiométricos disponibilizados no arquivo de metadados das imagens USGS (2018).

A reflectância planetária no topo da atmosfera ($\rho'\lambda$) foi calculada a partir da Equação 6.

$$\rho'\lambda = M\rho * Qcal + A\rho \quad (6)$$

em que $\rho'\lambda$ não apresenta correção para o ângulo solar. $M\rho$ corresponde ao fator multiplicativo de reescalonamento para cada banda (disponível nos metadados da imagem), $Qcal$ o número digital para cada pixel e $A\rho$ corresponde ao fator aditivo de reescalonamento para cada banda (disponível nos metadados da imagem). Para correção da reflectância em função do ângulo solar e da distância astronômica Terra-Sol (d) foi usada a Equação 7.

$$\rho\lambda = \frac{\rho'\lambda}{\cos(\theta\ sz)\frac{1}{d^2}} = \frac{\rho'\lambda}{\sin(\theta se)\frac{1}{d^2}} \quad (7)$$

em que $\rho\lambda$ corresponde a reflectância planetária no topo da atmosfera corrigida, θse corresponde ao ângulo de elevação solar (disponível nos metadados da imagem) e θsz corresponde ao ângulo zenital solar local (calculado a partir de θsz = 90° - θse).

Tabela 2 - Descrição das bandas do OLI Landsat8

Bandas	**Comprimento de onda**	**Resolução espacial (m)**
5 (IV – próximo)	0,850 – 0,88	30
6 (mir – médio)	1,570 – 1,650	30

Fonte: USGS (2018)

Para o cálculo do NDWI se deu de forma análoga com a Equação 5 utilizando as bandas do infravermelho próximo (ρ_{IV})e infravermelho médio (ρ_{mir}) da reflectância corrigida que para OLI Landsat 8 correspondem as bandas 5 e 6 como detalha a Equação 8.

$$NDWI = \frac{\rho 5 - \rho 6}{\rho 5 + \rho 6} \quad (8)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados obtidos de NDWI, destacou-se a região central que compreende o Rio Pajeú com valores acima de 0,20, conforme os intervalos detalhados na Figura 2. Esta classe (> 0,20) foi evidenciada nos estudos realizados por Oliveira *et al.* (2013), quando utilizaram o índice NDWI na bacia hidrográfica do rio Tapacurá-PE, constataram-se que os valores mais elevados de NDWI representam a vegetação com maior quantidade de água em sua estrutura interna.

Nos estudos elaborados por Albuquerque et al. (2014), investigaram nas áreas existentes de cultivo irrigado, este índice apresentou valores altos (0,20 a 0,80) indicando a presença de maior quantidade de água na vegetação, o que comprova as análises do presente estudo.

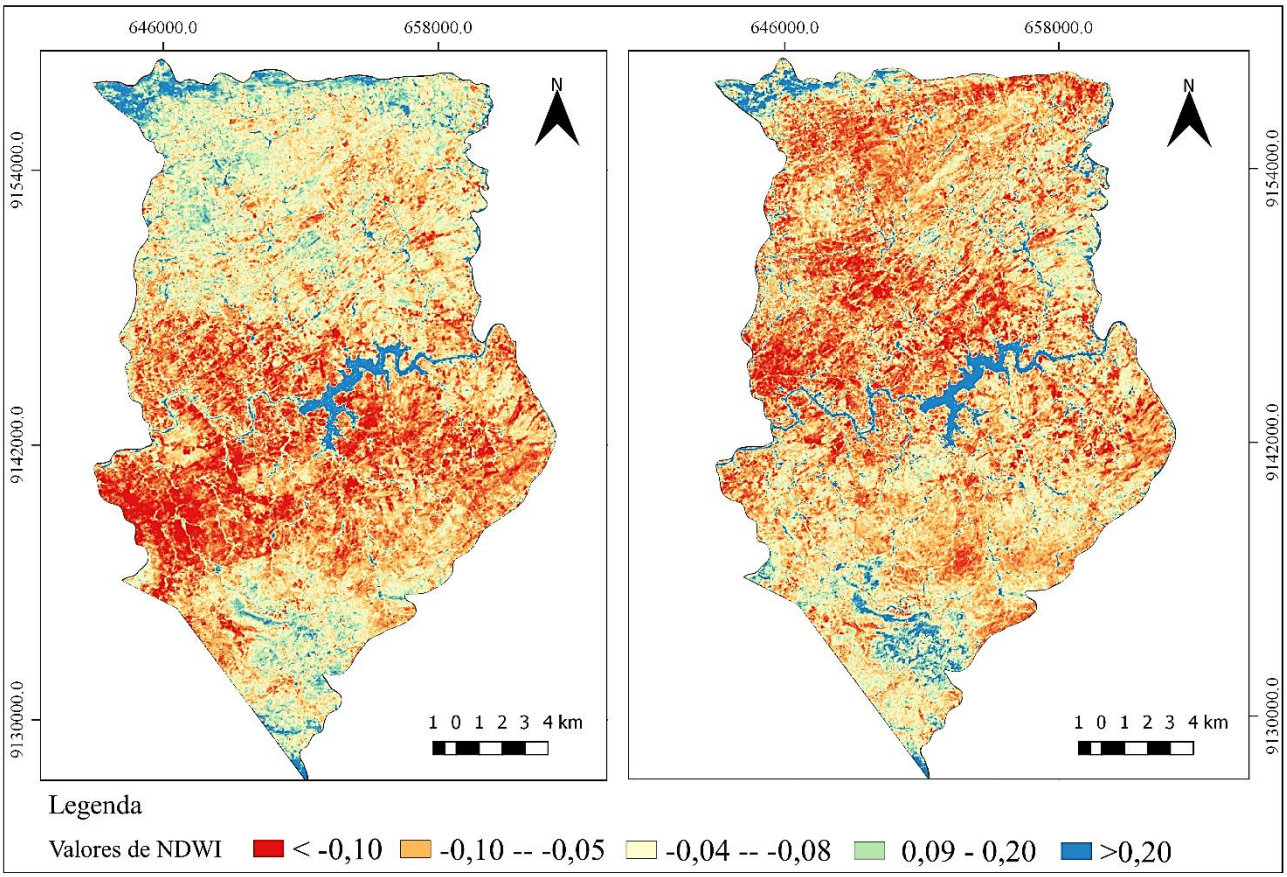
Pesquisas realizadas por Rodrigues et al. (2017), constataram que áreas no intervalo (0,20 a 0,45) detectaram presença de água nos perímetros irrigados e cursos hídricos quando analisaram o NDWI na região sul do município de Petrolina nos anos 2003 e 2011, o que valida os resultados nesta presente análise.

Segundo Oliveira et al. (2013), no NDWI, a mata ciliar é representada com valores mais elevados que os solos expostos ou área urbana, pois apresenta a característica de ser fotossinteticamente ativa além de possuir alta taxa de umidade devido ao fato de se encontrar nas imediações dos corpos hídricos, o que corrobora para o presente estudo.

Observou-se que há uma forte presença de números negativos, correspondendo a um baixo teor de umidade, representada prioritariamente pelas áreas em tons vermelhos que compreende a classe (< -0,10) na Figura 4.

Ferreira *et al.* (2012) observaram que para valores de NDWI negativo existe uma correspondência com vegetação seca, solo exposto e áreas urbanas. E diante da presente pesquisa, a área constituída pelo centro urbano de Afogados da Ingazeira corresponde em valores negativos.

Figura 4 - Cartas georreferenciadas do município de Afogados de Ingazeira-PE datadas respectivamente em 19/07/2007 e 30/07/2018



Fonte: Autores (2018)

A Tabela 3 detalha os dados estatísticos do NDWI nos anos 2007 e 2018, notou-se uma diminuição evidenciados nos valores máximos, médios e mínimos referentes as datas das imagens.

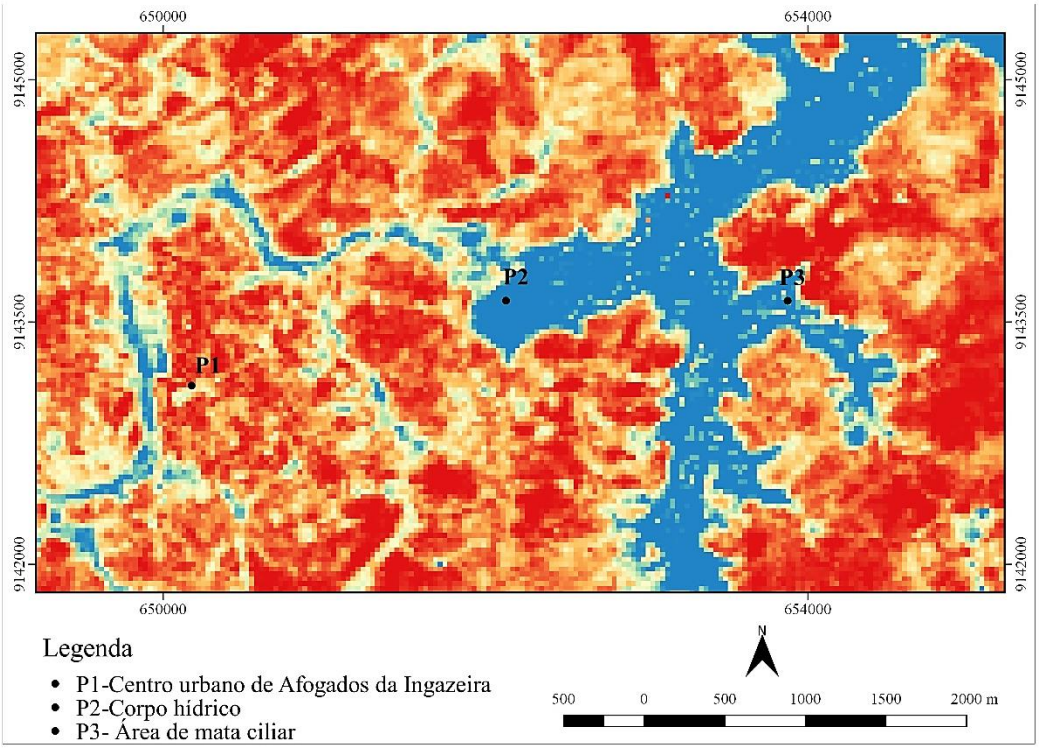
Tabela 3- Dados estatísticos dos valores de NDWI para os anos 2007 e 2018

Imagem	Máximo	Média	Mínimo	Desvio Padrão (σ)
TM Landsat 5 (19/07/2007)	0,634	0,010	-0,272	0,118
OLI Landsat 8 (30/07/2018)	0,553	-0,064	-0,259	0,095

Fonte: Autores (2018)

Para verificação da geoespacialização das classes atribuídas no NDWI, foram utilizados três pontos em áreas características distintas para validação destas classes. Os pontos foram inseridos em área urbana (P1), área no rio Pajeú (P2) e área com presença de mata ciliar (P3) que fica entorno do rio como detalha a Figura 5.

Figura 5 - Imagem do NDW em 2018 com pontos de controle entorno do rio Pajeú em Afogados da Ingazeira-PE



Fonte: Autores (2018)

Figura 6 – Imagem do Google Earth em 2018 evidenciando os pontos de controle

Fonte: Google Earth (2018)

Os valores de NDWI constataram que os pontos P1, P2 e P3 coincidem com suas respectivas geolocalizações em coerência com as classes e também evidenciaram a detecção de feições naturais e artificiais corretamente como pode ser observado na Figura 6.

Os histogramas referentes aos valores de NDWI constataram que dentre os anos, a maior frequência que compreende no intervalo (-0,2 a 0) ocorreu em 30/07/2018 (Figura 7.b) em comparação a outra data em 19/07/2007 (Figura 7.a), contribuindo para maior compreensão que houve uma diminuição do NDWI e aumento de áreas constituídas em vegetação seca, solo exposto e áreas urbanas.

Figura 7 (a) - Histograma referente aos valores de NDWI para a 19/07/2007

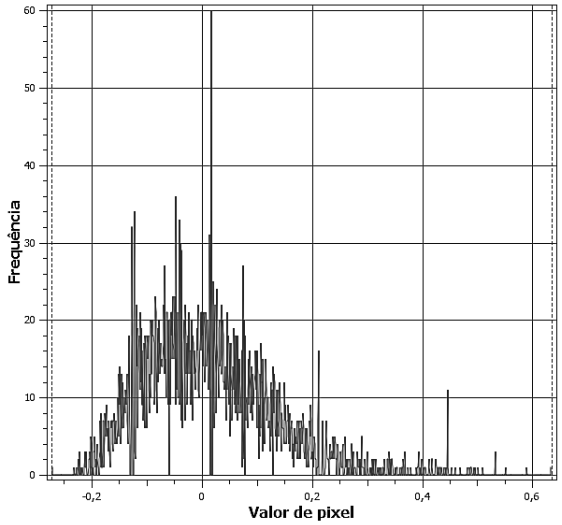
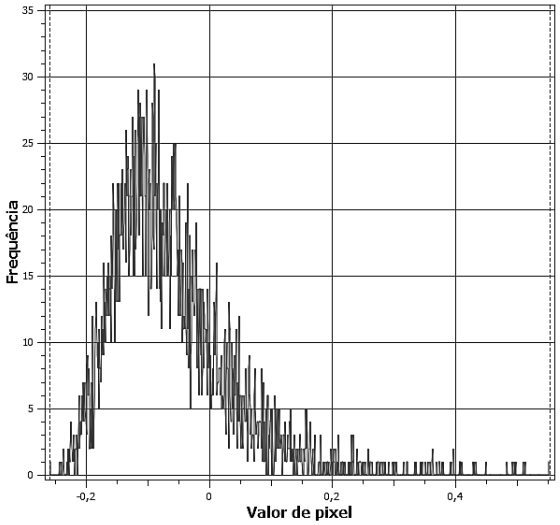


Figura 7 (b) - Histograma referente aos valores de NDWI para a 30/07/2018



4. CONCLUSÃO

Os resultados do NDWI nos anos 2007 e 2018 contribuíram para a compreensão das variações do comportamento espaço-temporal analisado na bacia hidrográfica do rio Pajeú, especialmente no município de Afogados da Ingazeira, que atestaram a eficácia das técnicas do Sensoriamento Remoto.

As técnicas de SR permitem auxiliar na tomada de decisões para gestão, planejamento e monitoramento nos recursos hídricos, a exemplo do rio Pajeú que se localiza a barragem de Brotas que contribui para o abastecimento de água para os municípios de Afogados de Ingazeira e Tabira pertencentes ao estado pernambucano.

As cartas georreferenciadas permitiram analisar que houve uma diminuição de áreas com presença de água em sua estrutura. A maior frequência do valor de pixel ocorreu na classe (-0,2 a 0), contribuindo no aumento de regiões enquadradas nas classes solo exposto, vegetação seca e áreas urbanas ao longo dos anos 2007 e 2018.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (*CNPq*) pela bolsa de Iniciação Científica do primeiro autor (PIBIC/CNPq/UFPE/2017-2018), a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) e ao *United States Geological Survey (USGS)* pela aquisição da imagem de satélite.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBURQUERQUE, E. M.; ANDRADE, S. C. P.; MORAIS, H. F. ; DINIZ, J. M. T ; SANTOS, C. A. C. Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no município de Sousa-PB**. Revista Estudos Geoambientais – Revista eletrônica (Online)**, v. 1, n. 1, 2014.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.. Satellite- based energy balance for mapping evatranspiration with internalized calibration (Metric). **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 2007.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Climas. **Sistema de Informação Geográfica**. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/sighpe/>. Acesso: agosto de 2018.

CHANDER, G.; MARKHAM, B.L.; HELDER, D.L. Summay of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, n.5, p. 893-903, 2009.

CUNHA, J.E. de B.L.; RUFINO, I.A.A.; SILVA, B.B. da; CHAVES, I. de B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.539-548, 2012.

FERREIRA, J. M. S.; FERREIRA, H. DOS S.; SILVA, H. A. DA; SANTOS, A. M. DOS; GALVÍNCIO, J. D. Análise Espaço-Temporal da Dinâmica da Vegetação da Caatinga no Município de Petrolina- PE. **Revista Brasileira de Geografia Física,** pp. 904-922, 2012.

GAO, B.C**.** NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, n°. 3, p. 257-266, 1996.

GOOGLE EARTH. Disponível em:< https://www.google.com/earth/>. Acesso: agosto, 2018

MARKHAM, B.L.; BARKER, L.L. (1987). "Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances". **International Journal of Remote Sensing,** v.8, n.3, pp.517-523.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação.** Viçosa: Ed. UFV, 307 p, 2003.

NOVAIS, L. R.; LIMA, A. C.; RODRIGUES, J. A.; COSTA, A. M. dos S.; BORGES, E. F.; ANJOS, C. S. Análise da vegetação da Área de Preservação Ambiental de São Desidério - BA, a partir do NDVI e NDWI. **In Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), INPE**, pp. 1888 – 1894, 2011.

OLIVEIRA, T. H.; SILVA, J.S.; MACHADO, C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D.; NÓBREGA, R. S.; PIMENTEL, R. M. M. Detecção espaço-temporal de estresse hídrico na vegetação do semiárido do nordeste do Brasil utilizando NDVI e NDWI – Estudo de caso Serra da Capivara e Serra do Congo – PI, **in Anais do VI Semiárido Latino Americano de Geografia Física**, Coimbra, 2010.

OLIVEIRA, L. M. M. de; MONTENEGRO, S. M. G. L. ; SILVA, B. B. ; MOURA, A. E. S. S. ; GUSMAO, A. C. V. E. L. ; SALGUEIRO, J. H. P. B. . Índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do rio Tapacurá - PE. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves - RS. **In : Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos,** 2013.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica.** São José dos Campos: INPE, 2002 8-8p, 2002.

RODRIGUES, A. B., CAVALCANTI, M. E. A, GOUVEIA, J. F. M. ALMEIDA, D. N. O, Variabilidade da cobertura do solo por índices de vegetação no sertão de Pernambuco utilizando geoprocessamento**. In anais: VI Encontro Nacional de Engenharia Civil- ENEC**, 2017.

RUHOFF, A. L.; NOVO, B.B. da S.; ROCHA, H.R. da. Determinação da irradiância solar no topo da atmosfera para cálculo do albedo e balanço de energia a partir de imagens LANDSAT 8 OLI. **In: Anais Online XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, INPE**, p. 4496-4502, 2015.

USGS. UNITED STATES GEOLOGIC SURVERY. **Catálogo USGS.** Disponível em: https://earthexplorer.usgs.gov/ Acesso em: agosto de 2018.

ESTIMATIVA DE CLOROFILA DA CULTURA CAFEEIRA A PARTIR DE IMAGENS SENTINEL 2

LAURA CRISTINA MOURA XAVIER[1]
CARLOS ALBERTO MATIAS DE ABREU JÚNIOR[2]
GEORGE DEROCO MARTINS[3]
CINARA XAVIER DE ALMEIDA[4]

Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Instituto de Geografia[1,2]
Faculdade de Engenharia Civil[3]
Instituto de Ciências Agrárias[4]
xavier.lauramoura@gmail.com[1], carlosalberto0103@hotmail.com[2], deroco@ufu.br[3], cinara@ufu.br[4]

RESUMO – Este estudo teve como objetivo avaliar o potencial de imagens Sentinel 2 para a estimativa de clorofila da cultura de café, utilizando um medidor de clorofila portátil. O clorofilômetro SPAD-502 comporta a mensuração do índice de clorofila relativo da folha, através da magnitude da tonalidade de verde das folhas. A alta correlação entre a resposta espectral da vegetação e de plantações tais como as culturas cafeeiras, no conjunto de bandas do vermelho, tem contribuído fortemente para o uso de sensores orbitais na agricultura cada vez mais. Dessa forma, através da leitura de clorofila, juntamente com os pontos de coordenadas conhecidas na área de estudo, buscou-se estimar um modelo para generalizar o teor relativo de clorofila (TRC) nas bandas do infravermelho próximo e vermelho limítrofe do satélite Sentinel 2, as quais apresentam resolução espacial de 10 e 20 metros respectivamente. Para a validação da equação e do modelo foi calculado o erro médio quadrático (RMSE), utilizando uma amostra aleatória mensurada em campo. Os modelos apontam que TRC foi estimado com maior acurácia pela banda do vermelho limítrofe 2, onde o RMSE foi 17%.

ABSTRACT – The objective of this study was to evaluate the potential of Sentinel 2 images for the estimation of chlorophyll in the coffee crop using a portable chlorophyll meter. The chlorophyllometer SPAD-502 involves the measurement of the relative chlorophyll index of the leaf, through the magnitude of the green tonality of the leaves. The high correlation between the spectral response of vegetation and plantations such as coffee crops, in the set of red bands, has contributed strongly to the use of orbital sensors in agriculture more and more. Thus, through the chlorophyll reading along with the known coordinate points in the study area, we tried to estimate a model to generalize the relative chlorophyll content (CRT) in the near infrared and red border bands of the Sentinel 2 satellite, which present spatial resolution of 10 and 20 meters respectively. For the validation of the equation and the model the mean square error (RMSE) was calculated using a random sample measured in the field. The models indicate that TRC was estimated with greater accuracy by the border red band 2, where RMSE was 17%.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de café no mundo, sendo que só a região sul do estado de Minas Gerais concentra cerca de 50% da produção nacional de café. Segundo a CONAB (2018), o café brasileiro tem produtividade estimada de 28,41 a 30,54 sacas por hectare para o ano de 2018, desempenho que representa um novo recorde histórico das lavouras de café. Até então a maior produtividade verificada no País havia sido 26,33 sacas por hectare, registrada em 2016. O volume de produção de café esperado para 2018 varia de 54,44 a 58,51 milhões de sacas, assim, para que o Brasil conserve sua fatia de mercado é necessário que a produção nacional aumente por volta de 16,17 milhões de sacas até 2030 (Embrapa, 2018). Porém, com o aumento da produtividade aliado à tecnologia, existem diversos fatores que podem causar a redução da produtividade e consequente redução da área plantada de café.

É possível identificar a variação espaço temporal existente na cultura cafeeira por meio de agricultura de precisão, identificando áreas com potencial para maiores e menores produtividades e até mesmo favorecer o entendimento dos fatores agronômicos que determinam esta característica, como o teor de clorofila. (LIMA et al., 2014). A geoestatística tem sido um dos métodos mais utilizados no estudo da variabilidade espacial e temporal dos fenômenos em estudo, compreendendo amplo pacote matemático que visa definir relações de dependência entre

amostras separadas pelo espaço e ou tempo, envolvendo processos de estimativa não viesada e com mínima variância de valores regionalizados (KERRY; OLIVER, 2008).

Além do mais, em atividades agrícolas, o sensoriamento remoto orbital também tem-se um devido destaque, pois as imagens multiespectrais possuem forte correlação com variáveis agrícolas, tendo em consideração as deficiências nutricionais das folhas, pode-se inferir informações associadas com o teor de clorofila, índices de área foliar e biomassa, além da dispersão geográfica das doenças ao longo dos talhões. (MULLA, 2012). O comportamento da reflectância sofre variações quando a planta está sob senescência ou algum estresse ambiental. A ausência da clorofila faz com que a planta absorva menor quantidade de energia nas bandas da região espectral do visível, ocasionam uma maior reflectância, principalmente no verde e no vermelho, fazendo com que apareçam amareladas ou cloróticas (CARTER, 1993). Em estudos como de Ferreira et al. (2009), foi apresentada a caracterização espacial da concentração de pigmentos totais por meio de inferências realizadas com o uso de imagens multiespectral TM/Landsat e CCD/Cbers 2B, para avaliar o potencial dos sistemas sensores na identificação desses componentes opticamente ativos. Souto et al. (2005), realizaram uma análise comparativa de medições radiométricas *in situ* e dados obtidos pelo sensor SeaWiFS na estimativa de concentração de clorofila-a na costa sudeste brasileira. Estudo recentes de Ramoelo et al. (2015), utilizaram a espectrorradiometria para estimar o teor de clorofila de culturas atacadas por pragas. Nesses estudos, os autores encontraram uma alta correlação entre as bandas de absorção da clorofila a e b, centradas no espectro do vermelho, com a deficiência nutricional (nitrogênio) nas folhas das plantas.

Constatada a importância de se estudar o comportamento do teor de clorofila no cafeeiro, o sensoriamento remoto aplicado a agricultura de precisão se torna uma ferramenta de grande eficácia. O objetivo deste trabalho foi avaliar potencial das imagens do Satélite Sentinel 2 para a estimativa do teor de clorofila na cultura cafeeira.

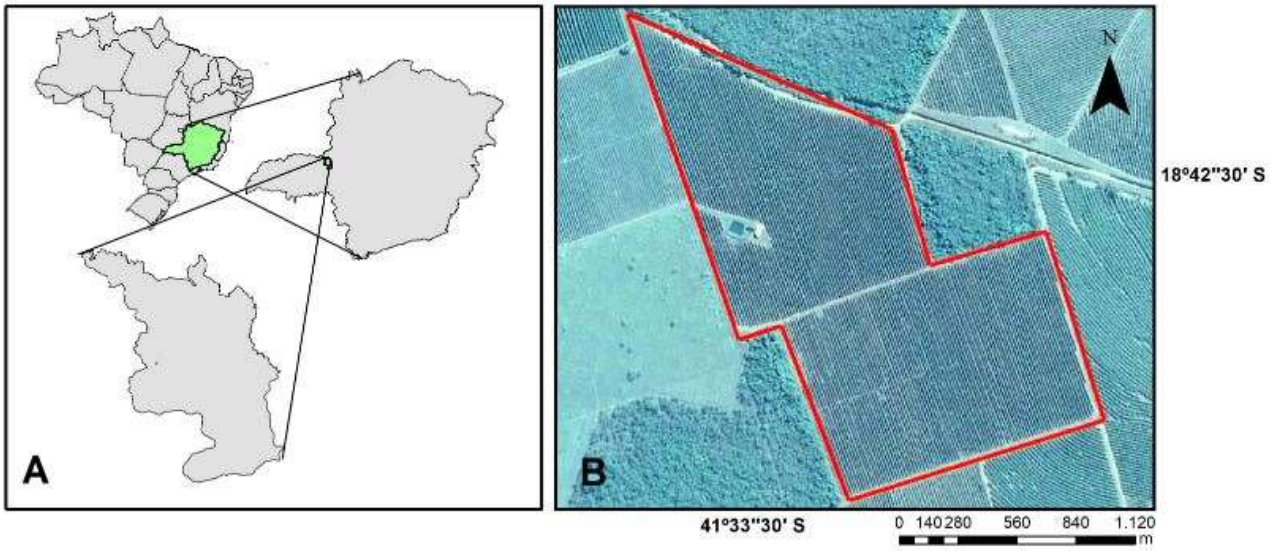
Deve-se ressaltar que este trabalho e justifica visto que estas imagens Sentinel 2 possuem uma moderada resolução espacial e contam com uma banda centrada no infravermelho próximo e quatro bandas vermelho limítrofe, a qual são capazes de detectar variações sutis de clorofila nas folhas e fornecer informações sobre estrutura e a condição sanitária da vegetação, além da vantagem de serem adquiridas de forma gratuita.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Área de Estudo e Materiais

Na figura 1 é apresenta a área de estudo, localizada no estado de Minas Gerais, no município de Monte Carmelo em uma área de cultivo de café.

Figura 1 - Mapa de Localização: (A) Município de Monte Carmelo em destaque no mapa de Minas Gerais e Brasil. (B) Talhões de café destacando a área de estudo em uma composição cor natural RGB a partir da imagem Sentinel 2.



Fonte: o autor (2018).

Os materiais utilizados para o estudo foram:

- Receptor GPS de navegação Garmin E-trex para georreferenciamento do local;

- SPAD-502 Medidor de Clorofila;
- Imagens multiespectrais do sistema Sentinel 2. São satélites administrados pela Agência Espacial Europeia, para observação da terra, realizando coleta de dados sobre a vegetação, solos e humidade, rios e áreas costeiras, e dados para correção atmosférica. Possui câmera multiespectral regular, com resolução espacial de 10 metros nas bandas azul, verde, vermelho e infravermelho próximo (IVP), e resolução espacial de 20 metros em quatro bandas centradas no intervalo do *red edge*. Os dois satélites juntos fazem revista a cada 5 dias, com resolução radiométrica de 12 bits por pixel e largura da faixa imageadora de 290 km. Suas imagens podem ser adquiridas de forma gratuita pelo site https://earthexplorer.usgs.gov/. Na tabela 1 são apresentadas as especificações das bandas Sentinel 2.

Tabela 1 – Especificações das bandas Sentinel 2

Resolução (m)	Número da banda	Nome da Banda	Comprimento de Onda Médio (λ) (nm)
10	B02	Azul	490
	B03	Verde	560
	B04	Vermelho	665
	B08	Infravermelho próximo	842
20	B05	Vermelho limítrofe 1	705
	B06	Vermelho limítrofe 2	740
	B07	Vermelho limítrofe 3	783
	B08A	Vermelho limítrofe 4	865
	B11	Infravermelho médio 1	1610
	B12	Infravermelho médio 2	2190
60	B01	Aerossol	443
	B09	Vapor de Água	940
	B10	Cirrus	1375

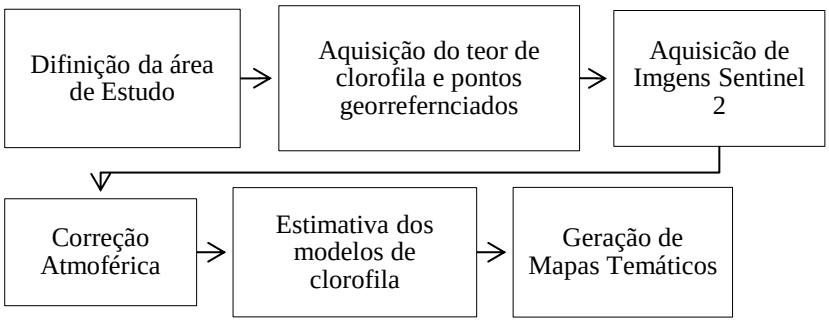
Para o desenvolvimento desse trabalho, foram utilizadas bandas do satélite multiespectral Sentinel-2B de resolução espacial de 10 (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo) e 20 metros (vermelho limítrofe 1, 2, 3, 4, SWIR 1 e 2), tomadas em 05/04/2017, juntamente com os dados de navegação do satélite.

- Software SNAP (*Sentinel Application Platform*), desenvolvido pela Agência Espacial Europeia, para conversão do formato das bandas da imagem Sentinel 2.
- Software ENVI (*Envioronment for Visualizing Images*), versão 5.1, para correção atmosférica das imagens e aplicação de equações nas bandas da imagem.
- Software Minitab para cálculos de correlação e regressão linear, e geração de modelos matemáticos.
- Software ArcMap, componente do ArcGis 10, utilizado para confecção dos mapas temáticos.

2.2 Métodos

O trabalho segue o desenvolvimento do método de acordo com o fluxograma da Figura 2.

Figura 2 – Desenvolvimento Metodológico



Fonte: o autor (2018).

Inicialmente foi definida a área de estudo e coletado o teor de clorofila das folhas do cafeeiro em 50 pontos espalhados no talhão em 28 de março de 2017 e, também, foi coletada, com o receptor GPS, a informação georreferenciada destes pontos de amostragem. Posteriormente, foram adquiridas imagens Sentinel 2 tomadas na data de 05 de abril de 2017 e os dados de navegação do sensor. Antes do processamento digital de imagens, as imagens adquiridas foram transformadas do formato JPEG2000 para o formato *Tagged Image File Format* (TIFF) no software SNAP, pois as mesmas são adquiridas em formato compactado que não é compatível com os softwares utilizados.

As bandas de mesma resolução espacial foram anexadas, no software ENVI pela ferramenta *staking layer*, formando um conjunto de imagens de resolução espacial de 10 metros (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo) e outro de resolução espacial de 20 metros (vermelho limítrofe 1, 2, 3 e 4 e SWIR 1 e 2). Visto que as imagens são disponíveis em Level-1C, onde têm a sua refletância ortorretificada na atmosfera (TOA), não houve a necessidade de calibração radiométrica das cenas.

Dado ao fato que os dados não possuíam qualquer tipo de tratamento atmosférico para os efeitos da absorção e do espalhamento da radiação eletromagnética foi realizada a correção atmosférica em cada uma das junções de bandas no software ENVI. Previamente, foi necessário informar os valores dos comprimentos de onda médio de cada banda utilizada e a conversão para o formato *Band Inteleaved by Line* (BIL). Então, utilizado o módulo de correção *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Sprectral Hypercubes* (FLAASH) baseado no modelo atmosférico MODTRAN 4 proposto por Kaufman (1997). FLAASH é um dos mais sofisticados modelos de transferência radiativa, trata-se de uma função que está no código de transferência radiativa MODTRAN4+. Sua capacidade para correção atmosférica é elevada, tanto de imagens multiespectrais quanto hiperespectrais, possibilitando correção de vários aspectos como vapor d'água, oxigênio, dióxido de carbono, metano, ozônio, espalhamento de aerossol e outros efeitos adjacentes (RUDJORD; TRIER,2012). Além do mais, a correção no módulo FLAASH requisita alguns dos parâmetros de navegação do sensor no momento de aquisição da cena, os quais são obtidos no arquivo de navegação da imagem, como hora e data de obtenção da cena, altitude, fator de escala, modelo atmosférico, modelo aerossol, absorção de água, entre outras.

Após a correção atmosférica, foi gerado um arquivo *shapefile* com as coordenadas mensuradas em campo, para que fossem extraídos das imagens os valores de espectrais associados àqueles pontos, referentes a cada uma das bandas aqui estudadas. Estes valores de reflectância foram usados para medir a correlação existente entre as clorofilas a e b e as bandas do visível, infravermelho próximo, vermelho limítrofe (2,3 e 4) e infravermelho médio (1 e 2), a fim de identificar quais seriam mais propicias para geração do modelo. Os modelos foram gerados através de uma regressão linear, utilizando uma amostra aleatória de 35 pontos. Foram gerados dois modelos para estimar o valor de SPAD, sendo um para as imagens com resolução espacial de 10m , e outro para as imagens com resolução espacial de 20m. Para verificar a acurácia dos modelos gerados, foi utilizada uma amostra aleatória com 10 elementos mensurados em campo, para calcular o RMSE (Root Mean Square Error) e o RMSE(%) das duas equações, através da seguinte formula:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(x_o - x_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSE(\%) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(x_o - x_i)^2}{n}} * \frac{(100*n)}{(\sum_{i=1}^{n} x_o)} \quad (2)$$

Onde x_o é o valor original ou de referência, x_i é o valor calculado pela equação e n é o tamanho da amostra aleatória retirada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra os resultados para os valores de correlação entre o SPAD e as bandas azul, verde, vermelho, infravermelho próximo, vermelho limítrofe (1, 2, 3, 4), infravermelho médio 1 e infravermelho médio 2.

Tabela 2 – Correlações das bandas Sentinel 2

Resolução (m)	Número da banda	Nome da Banda	Correlação
10	B02	Azul	-0,370
	B03	Verde	-0,412
	B04	Vermelho	-0,408
	B08	Infravermelho próximo	0,644
20	B05	Vermelho limítrofe 1	-0,051
	B06	Vermelho limítrofe 2	0,286
	B07	Vermelho limítrofe 3	0,211
	B08A	Vermelho limítrofe 4	0,186
	B11	Infravermelho médio 1	0,048
	B12	Infravermelho médio 2	0,034

A banda que apresentou maior correlação com o SPAD foi o infravermelho próximo (0,644). Esse resultado pode ser explicado devido a baixa absorção da radiação eletromagnética (REM) neste espectro, o que infere num espalhamento interno maior devido a estrutura lacunosa interna da folha, e resulta numa reflectância maior **(**PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012). Ao passo que a menor correlação foi da banda do verde (-0,412), justamente por a região do visível apresentar baixa reflectância, devido a absorção da radiação pelos pigmentos da folha, tais como a clorofila, carotenos e xantofilas **(**PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012). Dessa forma, para geração dos modelos foram selecionadas as bandas do infravermelho próximo e vermelho limítrofe 2, que resultaram nas seguintes:

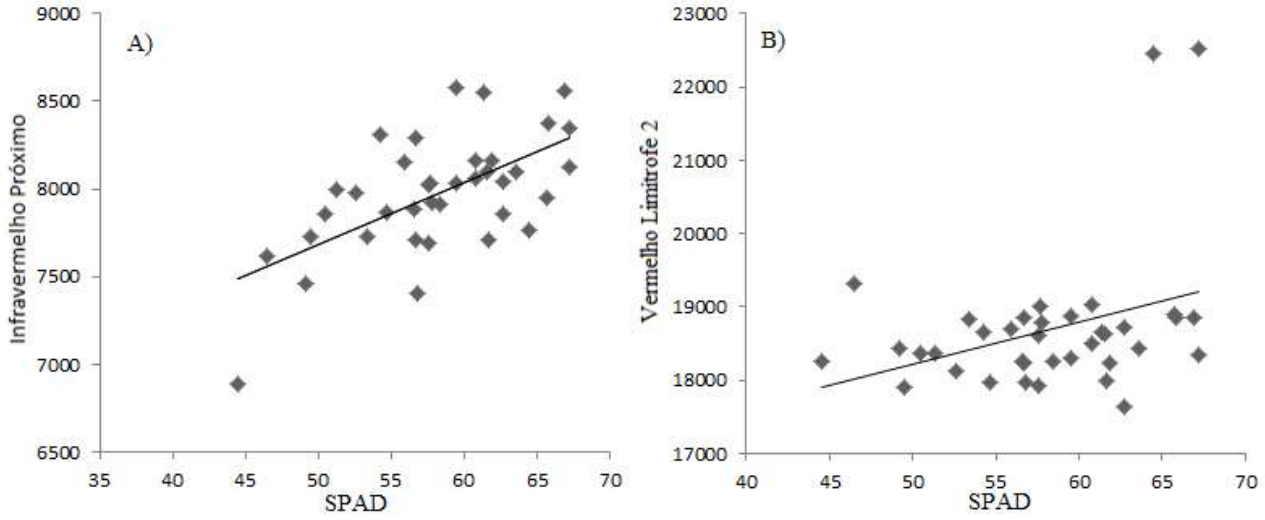
$$\boldsymbol{SPAD = -29,70 + 0,01099 * InfravemelhoPróximo} \quad (2)$$

Onde SPAD é o valor estimado de clorofila e InfravermelhoPróximo é a banda do infravermelho próximo.

$$\boldsymbol{SPAD = 18,28 + 0,002135 * VermelhoLimitrofe2} \quad (3)$$

Onde SPAD é o valor estimado de clorofila, e VermelhoLimítrofe 2 é a banda do vermelho limítrofe 2. As Figuras 2 A e B mostram os gráficos de dispersão com a reta de regressão linear para gerar as equações 1 e 2. Na Figura 2 o eixo das ordenadas representa os valores espectrais da banda do infravermelho próximo e o eixo das abcissas representa os valores de SPAD recolhidos para cada ponto.

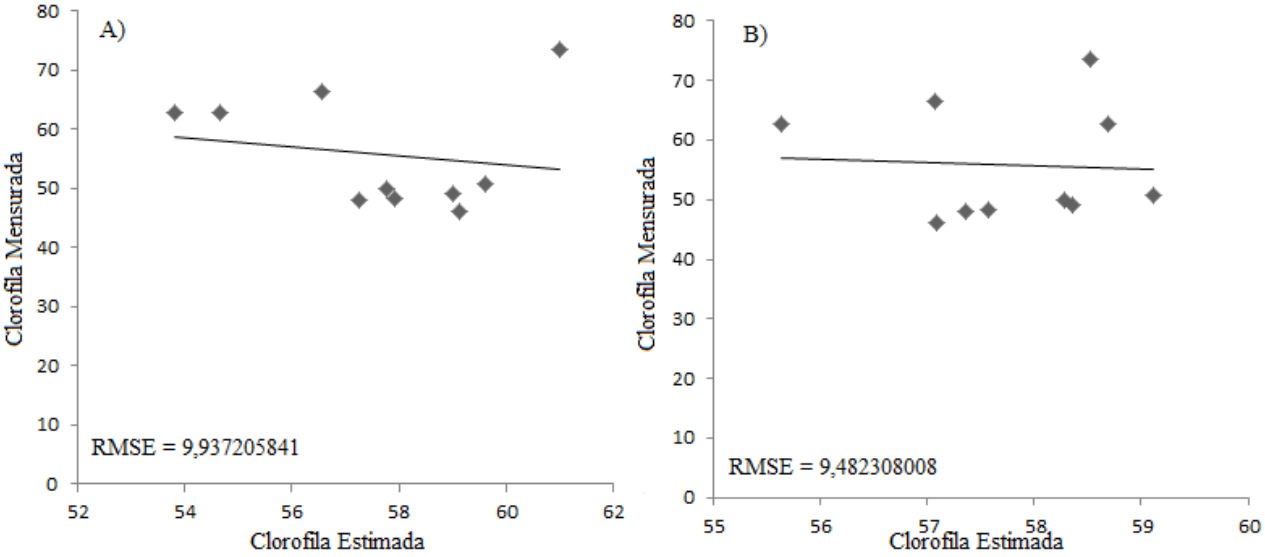
Figura 2 – Gráfico de Dispersão com regressão linear para a Equação 1 a esquerda (A) e para Equação 2 a direita (B)



Fonte: o autor (2018).

No Gráfico da Figura 2-A, os pontos apresentados mostraram uma tendência e distribuição continua, ou seja, próximos a linha. Na Figura 2-B os pontos plotados apresentam uma menor aderência em relação o gráfico 2A. As principais diferenças entre as duas equações são atribuídas, sobretudo pela resolução espacial da imagem. As Figuras 4 e 5 mostram os gráficos de RMSE para as equações 1 e 2.

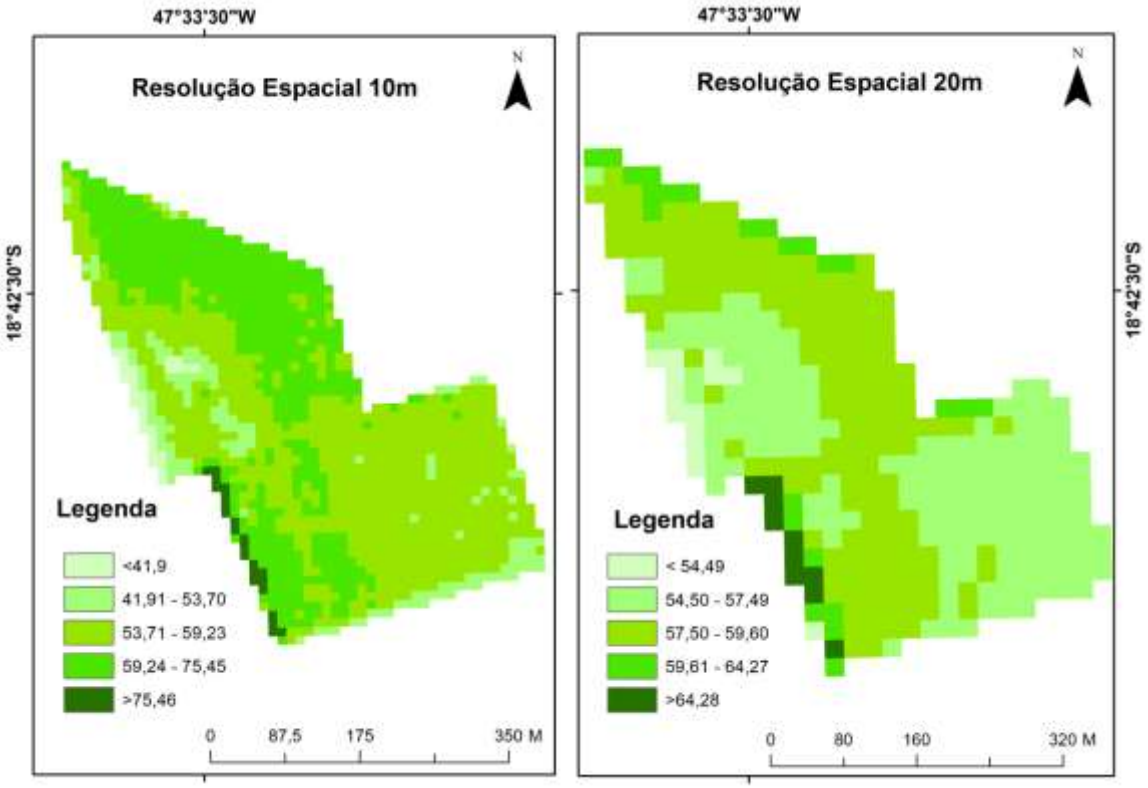
Figura 3 – Gráfico RMSE para a Equação 1 a esquerda (A) e para Equação 2 a direita (B)



Fonte: o autor (2018).

Os gráficos de RMSE (Figuras 3 e 4) apresentam os pontos plotados referentes aos valores mensurados em campo, no eixo das ordenadas, e valores estimados pelo modelo, no eixo das abcissas. As retas do gráfico transcrevem o comportamento das variações entre cada valor, calculado e mensurado em campo. Os valores de RMSE representam aproximadamente um erro de 17,81% para equação 1 e 17,00% para equação 2. Os gráficos apresentam algumas similaridades, embora a reta da Figura 5 seja mais perpendicular do que a da Figura 6. A Figura 7 mostra o resultado da variação do teor de clorofila, resultante da aplicação dos modelos gerados.

Figura 7 – Mapa do Teor Relativo de Clorofila nas Imagens de Resolução Espacial de 10 metros e 20 metros



Fonte: O autor (2018).

Pode-se observar que a carta 3A descreve melhor a distribuição de clorofila na área de estudo do que o segundo, uma vez que este apresenta algumas variações. As principais diferenças entre eles se dão pela diferença da distribuição espacial das imagens. Nos mapas os valores predominantes ficaram entre 53,71 e 59,23, no primeiro mapa e 57,50 e 59,60, ao passo que os valores menores que 41,9 ficaram estritamente restritos na primeira imagem e os valores menores que 54,49 apresentaram uma área significativa na segunda imagem. Entretanto, nos dois mapas a maioria dos valores de SPAD ficaram agrupados, mostrando uma tendência dos valores de não ficarem dispersos. Para Jesus e Marenco (2008), os valores de SPAD obtidos pelo clorofilômetro, apenas obterão a máxima precisão quando o instrumento for calibrado, antes das medidas em uma nova cultura.

4 CONCLUSÕES

As bandas do sensor MSI do satélite Sentinel 2, apresentam grandes variações em sua correlação com TRC, de tal forma que a mais significativa foi a do infravermelho próximo, devido a baixa absorção de REM desse espectro pela folha. Dessa forma, o modelo gerado para estimar clorofila através da banda do infravermelho próximo apresentou resultados melhores que o vermelho limítrofe, sendo assim mais recomendado o seu uso para estimar o TRC.

Os RMSEs calculados apresentaram um erro de aproximadamente 17% quando comparados com os valores mensurados em campo. Portanto, a aplicabilidade do modelo dependera dos fins para qual se deseja estimar clorofila, uma vez que este valor precisa ser considerado durante o experimento. Todavia, deve-se considerar que esta metodologia fornece os valores de clorofila para cultura cafeeira através de imagens orbitais de media resolução espacial.

Os mapas apresentaram algumas diferenças, sendo que as principais delas podem ser atribuídas a resolução espacial das imagens e a diferença de correlação entre elas. Por esse motivo, recomenda-se utilizar a banda do infravermelho próximo para estimar os valores de clorofila, já que o vermelho limítrofe 2 apresentou resultados inferiores as infravermelho. Portanto, é possível destacar o potencial do satélite Sentinel 2 para analises do teor de clorofila, contudo, é importante ressaltar que os modelos gerados ainda podem ser aprofundados, utilizando mais variáveis em sua estimação.

REFERÊNCIAS

BOECHAT, Lorena Temponi. **TÉCNICA DE SENSORIAMENTO REMOTO NA DETECÇÃO DO MOFO BRANCO E DA MANCHA-ANGULAR NO FEIJOEIRO.** 2012. 128 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa, 2012.

CARTER, G. A. Primary and Secondary effects of the water content of the spectral reflectance of leaves. **America Journal of Botany**, e.74, c.7, p.916-924, 1993.

CONAB. **1° Levantamento da Safra de Café de 2018. 2018.** Disponível em: <http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/levantamento/conab_safra2018_n1.pdf>. Acesso em jul.2018.

EMBRAPA. **Estudos socioeconômicos e ambientais. 2018**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/31412007/produtividade-media-da-cafeicultura-brasileira-em-2018-devera-ser-a-maior-ja-registrada-com-2947-sacas-por-hectare>. Acesso em jul.2018.

KERRY, R.; OLIVER, M.A. Determining nugget:sill ratios of standardized variograms from aerial photographs to krige sparse soil data. **Precision Agriculture**, v. 9, p. 33–56, 2008.

FERREIRA, Monique Sacardo et al. **Um estudo da distribuição espacial de pigmentos totais na planície de inundação do Alto Rio Paraná a partir de imagens multiespectrais**. Anais Xiv Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, p.5211-5218, abr. 2009.

LIMA, J.S.S. et al. Spatial and temporal variability of the productivity of coffee canephora. **Coffee Science**, v. 9, n. 3, p. 400-407, 2014

MULLA, D. J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. **Biosystems Engineering**, p. 1-14, 2012.

RAMOELO, Abel et al. Potential to monitor plant stress using remote sensing tools. **Journal Arid Environments**, v. 115, n. 1, p.134-144, 2015.

SOUTO, Roberto Pinto et al. **Análise comparativa de medições in situ e orbital de de radiâncias do oceano na estimativa de concentração de clorofila-a.** Anais Xii Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, p.3679-3686, abr. 2005.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; KUPLICH, Tatiana Mora. **Sensoriamento Remoto No Estudo da Vegetação.** 2. ed. São José dos Campos: Oficina de Textos, 2012. 164 p.

JESUS, Simone Verdes de; MARENCO, Ricardo Antonio. O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. **Acta Amazonica**, Manaus - Am, v. 38, n. 4, p.815-818, jun. 2008**.**

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA APLICAÇÃO DE ÍNDICES FÍSICOS ATRAVÉS DE IMAGENS ORBITAIS NO MUNICÍPIO DE RECIFE, PERNAMBUCO

TAYNÃ MARIA PINTO LINS[1]
ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS[2]

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
Autor 1: taynalins7@gmail.com, autor2: alcandeias@yahoo.com.br

RESUMO - O uso do Sensoriamento Remoto para monitoramento espaço-temporal tem sido amplamente empregado para identificação de possíveis variações no espaço urbano, com auxílio de imagens de satélites, sendo assim elemento de subsídios para vários estudos como gestão territorial, hidrologia e mapeamento dos recursos naturais. No que se refere-se ao monitoramento dos recursos naturais, aplica-se alguns índices biofísicos, com a finalidade de classificações por meio das respostas espectrais dos alvos. Nos referidos métodos de classificações por meio de índices biofísicos, o presente trabalho foram utilizados os índices de NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), temperatura da Superfície e saldo de radiação, utilizando as imagens do satélite Landsat5/TM nas datas de 04/08/1998 e 26/08/2006. Desse modo, esse trabalho objetivou avaliar as variações espaciais do uso do solo para o para o município de Recife, PE, assim como a relação entre a disponibilidade hídrica, a partir de condições meteorológicas. A partir da análise das imagens de 98 e 2006 no mês de Agosto, é notável a partir do índice de vegetação por diferença normalizada a mitigação da vegetação, assim como a elevação da temperatura da superfície em analogia entre o ano de 1998 e 2006. Concluirmos que o referido estudo, no qual a influência dos agentes meteorológicos, e como ação antrópica, seriam agentes primordiais de variação espacial do município.

ABSTRACT - The use of remote sensing for space-temporal monitoring has been widely used to identify possible variations in urban space, with the assistance of satellite imagery, thus being an element of grants for various studies as management territorial, Hydrology and mapping of natural resources. With regard to the monitoring of natural resources, some biophysical indices apply, for the purpose of classifications by means of the spectral responses of the Targets. In these classification methods by means of biophysical indices, the present work was used the indices of NDVI (vegetation index by standard difference), surface temperature and radiation balance, using the satellite images Landsat5/TM on dates 04/08/1998 and 26/08/2006. thus, this work aimed to evaluate the spatial variations of the use of the soil for the municipality of Recife, PE, as well as the relationship between the water availability, from the weather conditions. From the analysis of the images of 98 and 2006 in the month of august, it is notable from the vegetation index by standard difference The mitigation of the vegetation, as well as the elevation of the surface temperature in analogy between the year of 1998 and 2006. We conclude that this study, in which the influence of the meteorological agents, and as Anthropic action, would be primordial agents of spatial variation of the Municipality.

1. INTRODUÇÃO

As técnicas de Sensoriamento Remoto têm sido muito utilizadas para monitoramento e mapeamento dos recursos naturais, permitindo assim, uma visão ampla da área mapeada e servindo como instrumento de análise na alteração dinâmica da paisagem em escala temporal. Na região Nordeste do Brasil, o Sensoriamento Remoto vem sendo empregado em diversos estudos, devido ao conjunto de informações que podem ser extraídas das imagens de satélites, como a exemplo dos índices de vegetação, que indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde e radiação fotossinteticamente absorvida, como afirma Jensen (2011).

Grimmond *et al.*, (2007) afirma que, o intenso crescimento de áreas antropizadas, a redução de corpos hídricos e vegetação, atrelado a elevada circulação de veículos e emissão de poluentes emitidos pelas indústrias, colaboram para a formação de um clima com características distintas ao comparado com zonas rurais.

Nos últimos anos, o Sensoriamento Remoto (SR) tem sido cada vez mais importante no monitoramento de diversos fenômenos meteorológicos e ambientais, tornando-se ferramenta poderosa para a obtenção de informações necessárias ao manejo, gerenciamento e gestão de recursos naturais (Bezerra et al., 2011; Gómez et al., 2011; Cunha et al., 2012)

Dentre as informações provenientes do Sensoriamento, Albuquerque et al. (2014) afirma em que o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (sigla em inglês, Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), quando aplicado, evidencia a biomassa, área foliar em relação a sua dinâmica fisiológica, fenológica e a detecção de mudanças tanto naturais como antrópicas.

A extração dos parâmetros biofísicos por meio dos índices de vegetação, quando quantificados através de instrumentos convencionais em escalas regionais, representam uma despesa de recursos materiais e humanos. Porém, o sensoriamento remoto orbital desponta como uma opção viável em termos de grandes áreas destacando-se como instrumento de monitoramento espacial e temporal (OLIVEIRA et al., 2012).

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar a espacialização das condições de uso do solo para o município de Recife, PE, a partir das análises espectrais das imagens do satélite Landsat-5 TM, aplicando a índices de vegetação assim como a disponibilidade hídrica, a partir de condições climáticas.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1- Área de estudo

A área estudada compreende o município do Recife, localizado no litoral leste do Nordeste brasileiro, cujo clima é influenciado pela Massa Equatorial do Atlântico Sul (MEAS), Massa Tropical Atlântica (MTA) e Massa Polar Atlântica (MPA). Segundo Moreira e Galvincio (2007) A região estudada, por estar situada em Zona de baixas latitudes, apresenta temperaturas médias mensais em torno de 25ºC amplitude térmica anual nunca superior a 5ºC, e umidade relativa do ar com valores médios anuais de 84%. Devido à sua baixa latitude a radiação solar é alta, onde a incidência dos raios solares é mais intensa e quase que constante o ano inteiro, e, também devido à baixa altitude, o que aumenta a concentração de partículas sólidas na atmosfera absorvedoras de calor.

2.2- Aquisição e Processamento de dados

Inicialmente, foram coletadas as imagens do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 5 referente ás data de 04/08/1998 e de 28/08/2006, ambas imagens de órbita 214, ponto 66, correspondentes à época chuvosa no município e disponibilizadas para download no site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Para o processamento das imagens e determinação dos índices, foi utilizado o software QGIS versão 2.14.18, sendo o mesmo de acesso livre. Além disso as imagens orbitais e os arquivos vetoriais, foram reprojetados para o Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), UTM fuso 25 Sul, considerando a legislação vigente.
Logo após a aquisição das imagens, foi realizado o processamento das mesmas, para aquisição do índice de vegetação (NDVI), temperatura da superfície e saldo de radiação, a partir do modelador do software Qgis. Fora utilizados dados climáticos de Temperatura e precipitação dos respectivos anos das imagens. Os dados foram oriundos dos sites da APAC (Estação da Várzea) e INMET, ambos disponibilizam os dados gratuitamente.

2.3. Processamento de Imagens

2.3.1 NDVI

Os procedimentos para o cálculo do NDVI para as imagens provenientes dos sensores TM e OLI são distintos. Para as imagens do TM geralmente é realizada a calibração radiométrica para conversão de número digital (ND) para radiância espectral (Lλi), por meio da Equação 1 proposta por Markham e Baker (1987):

$$L\lambda i = ai + \frac{bi - ai}{255} ND \qquad (1)$$

Onde: ai e bi são as radiâncias mínima e máxima, respectivamente, obtidas de acordo com Chander et al (2007), expressas em $Wm^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$ para o sensor da banda em questão; ND é o número digital do pixel na banda e varia de 0 a 255; e i representa a banda do Mapeador Temático (TM) Landsat 5.
A descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do Landsat 5 está na Tabela 1, com os intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – a; radiância máxima - b) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA). Sendo os valores de "a" e "b" retirados da referida tabela para o cálculo da calibração radiométrica considerando as bandas e os anos das imagens orbitais que compreende o estudo.

Tabela 1. Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) Landsat5.

Banda	**Coeficientes de Calibração (Wm-²µm-¹)**				
	Comprimento de Onda (µm)	**a (desde 1994)**	**b 05/05/2003 a 01/04/2007**	**b depois de 02/04/2007**	**Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera – Kλi (Wm-² µm-¹)**
1 (azul)	0,452-0,518	-1,52	193,0	169,0	1983
2 (verde)	0,528-0,609	-2,84	365,0	333,0	1796
3 (vermelho)	0,626-0,693	-1,17	264,0	264,0	1536
4 (Infravermelho próximo)	0,776-0,904	-1,51	221,0	221,0	1031
5 (Infravermelho médio)	1,567-1,784	-0,37	30,2	30,2	220
6 (Infravermelho termal)	10,450 -12,420	1,2378	15,303	15,303	-
7 (Infravermelho médio)	2,097 – 2,349	-0,15	16,5	16,5	83,44

Fonte: Adaptado de Chander et al. (2009).

Em seguida, foi determinado a reflectância espectral monocromática de cada banda ($\rho\lambda i$) (Equação 2), que é definida como a razão entre o fluxo de radiação solar refletida pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, obtida através da equação proposta por Allen et al. (2007).

$$\rho\lambda i = \frac{\pi . L\lambda i}{K\lambda i . CosZ . dr} \quad (2)$$

Onde: Lλi a radiância espectral de cada banda obtida na Equação 1; $K\lambda i$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera (TOA) descrito na Tabela 1; Z é o ângulo zenital solar; e dr é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (ro) e a distância terra do Sol (r) em dado dia do ano (DAS); e E se refere ao ângulo de elevação do sol disponível no metadados da imagem.

Ainda Allen et al. (2007), para determinação do dr e Z , os autores propõem as equações para tal finalidade (Equações 3 e 4).

$$dr = 1 + 0{,}033\cos\left(\frac{DSA . 2\pi}{365}\right) \quad (3)$$

$$CosZ = \cos\left(\frac{\pi}{2} - E\right) \quad (4)$$

Para o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), realiza-se a razão entre a banda do infravermelho próximo (ρIV) e a banda do vermelho (ρV), conforme mostra a Equação 6 (ROUSE, 1973; HUETE, 1988):

$$NDVI = \frac{\rho IV - \rho V}{\rho IV + \rho V} \quad (5)$$

2.2. Temperatura da superfície

Para a obtenção da temperatura da superfície (Ts) são utilizados a radiância espectral da banda termal Lλ6 e a emissividade εNB obtida na etapa anterior. Dessa forma, obtém-se a temperatura da superfície.

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda 6}} + 1\right)} \quad (6)$$

Onde K2 = 1260,56K e k1 = 607,76Wm-2 .sr -1.μm -1 são constantes de calibração da banda termal do TM – Landsat- 7 (ALLEN et al., 2002).

2.3. Saldo de Radiação

O saldo de radiação instantâneo à superfície foi obtido através da expressão (Bastiaanssen,1995; Morse et al., 2001; Allen et al., 2002; Silva et al., 2002):

$$R_n = (1 - r_o)K^{\downarrow} + L^{\downarrow} - \varepsilon_o \sigma T_o^4 - (1 - \varepsilon_o)L^{\downarrow} \quad (7)$$

Em que RS corresponde a radiação de onda curta incidente, é o albedo corrigido de cada pixel, RL é a radiação de onda longa emitida pela a atmosfera na direção de cada pixel, RL é a radiação de onda longa emitida por cada pixel e 0 é a emissividade de cada pixel. As densidades dos fluxos são expressas em W m -2 .

3.2.1. Balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather, 1955

A metodologia de balanço hídrico de Thornthwaite e Mather, é definida como a diferença entre a quantidade que entra no sistema e a que sai do mesmo sistema é igual à variação do armazenamento de água neste sistema". Sob a forma analítica, escreve-se:

E – S = VA (8)

Em que,
E = entrada de água no sistema;
S = saída de água do sistema;
VA = variação do armazenamento de água neste sistema.

Se considerarmos apenas o movimento vertical da água, o que entra neste sistema é apenas a água devida à precipitação (P), enquanto o que sai é devido à evapotranspiração (ETR) e à água que percola abaixo do alcance do sistema radicular da cultura (EXC). Assim, pode-se reescrever a eq.2 na forma:

P – (ETR + EXC) = ALT (9)

ou

P = ETR + EXC + ALT

E P = precipitação média mensal (mm);
ETR = evapotranspiração real média mensal (mm);
EXC = excessos hídricos, representando a percolação abaixo do sistema radicular (mm);
ALT = alteração da umidade do solo (ARM), do último dia do mês anterior para o último dia do mês em questão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A vegetação apresenta comportamento diferente de acordo com seu aspecto e vigor. Uma vegetação saudável por exemplo, apresenta uma grande absorção da faixa do vermelho, em decorrência da forte presença da clorofila, xantofila e carotenos, que são responsáveis pela coloração esverdeada da folha, sendo assim, têm alta reflexão da banda verde. Ao mesmo momento em que esta apresenta uma alta reflexão nos comprimentos de onda do infravermelho, decorrente da interação da radiação com a estrutura celular superficial da folha, e está relacionada com os aspectos fisiológicos da folha e varia com o seu conteúdo de água na estrutura celular superficial. Portanto, o comportamento espectral das folhas depende da sua composição química e de sua estrutura interna.

Ao analisar a figura 1, referente ao índice de vegetação normalizada (NDVI), e notável em que o ano de 2006 apresentou uma variação em relação ao período de 1998. Isso pode ser justificável em decorrência do acelerado processo de urbanização, sendo assim perda de vegetação para a impermeabilização do solo. A partir da análise de dados diários de precipitação, as respectivas datas de passagem do satélite Landsat 5 TM, o ano de 1998, apresentou apenas 1,6 mm enquanto o ano na data de 26 de Agosto de 2016, houve a ausência da precipitação nessa data. Sendo assim um índice

sensível ao comportamento espectral dos alvos. Ao analisar a figura 1, referente ao NDVI do município de Recife, é notável a mitigação de cobertura vegetacional, ao fazer uma analogia dos referidos anos das imagens, ou seja, o ano de 2006 apresentou áreas com elevada concentração espacial, para a modificação de uma vegetação classificada como densa para uma vegetação de transição e solo exposto, sendo a vegetação um elemento de relevante papel no processo de troca de energias em um sistema superfície-atmosfera, que será culminante na manutenção da qualidade de vida da população.

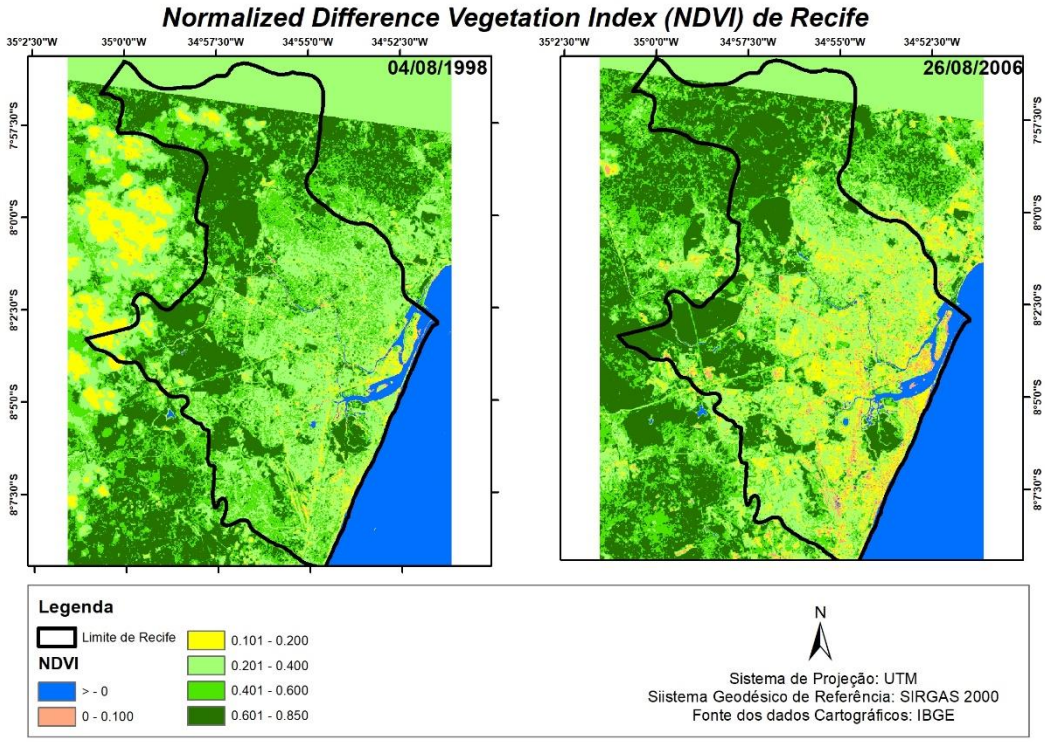


Figura 1 – Índice de Vegetação Normalizada no município de Recife, PE.

A temperatura de superfície é mais um parâmetro de análise para estudos ambientais, e também, classificação de imagens. Herb et al. (2008) desenvolveram um modelo para determinação da temperatura da superfície visando a identificação dos diversos usos e cobertura da superfície, o qual pode ser usado para diferenciar mudanças na superfície. Essa variável é bastante influenciada pela precipitação, sendo assim, torna-se relevante a sua associação à dados meteorológicos, como forma de obtenção de informações mais fieis acerca dos alvos da superfície.

De acordo com Handcock (2012), a temperatura superficial assume importante papel para a distinção dos alvos, pois cada alvo exibe comportamentos térmicos distinto, baseados em seu potencial de calor. Em termos simplistas, o potencial de calor resulta da energia sendo absorvida, transmitida e refletida, às vezes, por várias vezes. Por exemplo, a água tem uma alta inércia térmica, o que significa que ela muda a temperatura lentamente quando a energia térmica é adicionada, e tem uma baixa condutividade térmica, ou seja, o calor passa através dela lentamente, e uma alta capacidade térmica, pois tem alta capacidade de armazenamento de calor. Já os alvos terrestres apresentam comportamentos distintos de acordo com o tipo de alvo e seus componentes predominantes.

Ao analisar a figura 2, referente a temperatura da superfície, é notável a elevação da temperatura ao se fazer uma analogia dos períodos das imagens, assim uma das explicações para a elevação dos índices, estaria associada a modificações na cobertura vegetacional do município, no qual estaria associada ao processo de urbanização do município, assim como variações meteorológicas, pois o mês de Agosto das imagens, trata-se de um período de chuvas, ao que se refere ao clima do município, que estaria inserido em um regime de As' (Tropical quente e úmido, com chuvas de outono inverno). O processo de urbanização do município atrelou na modificação dos elementos da paisagem urbana, ou seja, a introdução da impermeabilização do solo, assim como na estrutura das residências, serve de elementos que estaria associado a elevação da temperatura da superfície, porém não seria um elemento isolado, pois assim como foi afirmado anteriormente, as condições meteorológicas, tal como a temperatura do ar e precipitação, em contrapartida a sensibilidade do sensor do satélite na captura dos alvos para a classificação do índice.

No que se refere a figura 3, saldo de radiação do município do Recife, e notável em que o ano de 2006, exibiu espacialmente valores que refletem o processo de urbanização acelerado, em decorrência da perda da vegetação, assim como correspondência final de resultado. Sendo assim o saldo de radiação apresentou uma variação entre <350.00 a >750.00, em relação ao período das amostras.

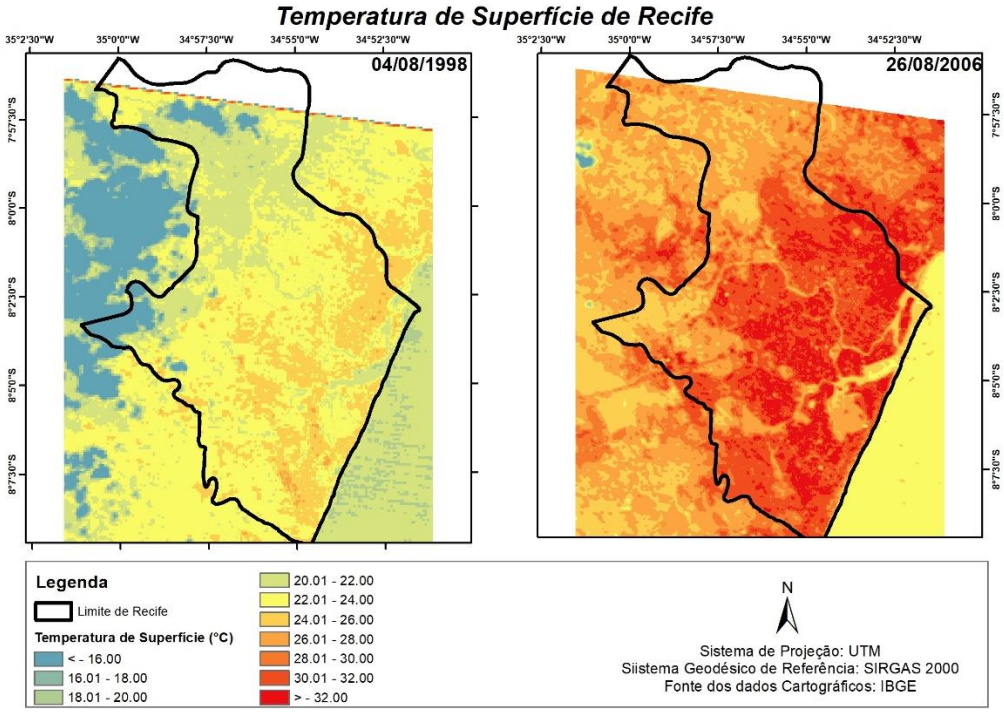


Figura 2 – Temperatura da superfície no município de Recife, PE.

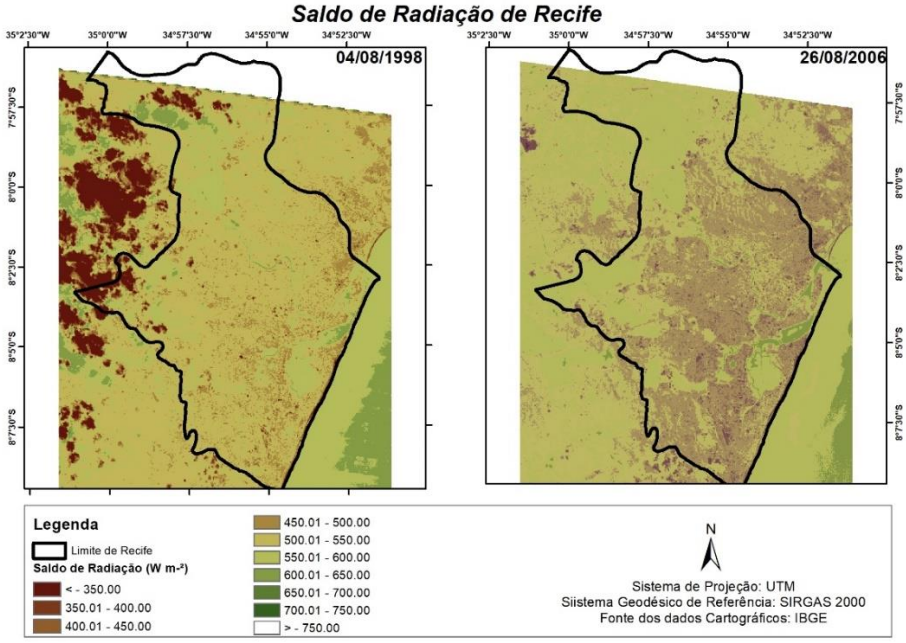


Figura 3– Saldo de Radiação no município de Recife, PE.

De acordo com Douglas (1983), a ocupação do espaço aéreo, devido à verticalização da cidade, de forma desorganizada, também gera problemas relacionados com a qualidade ambiental. A verticalização aumenta a superfície de absorção do calor, assim como consequência a elevação da superfície impermeabilizada fazendo com que a água escoe mais rapidamente diminuindo a umidade do ar, a evaporação, a transpiração, o que faz sobrar energia para o aquecimento, com a verticalização o tráfego aumenta e com isso a poluição também aumenta.

Segundo Galvincio et al (2016), afirma em que não só o solo tem influência na vegetação, pois a precipitação tem peso talvez até maior com relação ao desenvolvimento das plantas. O nordeste brasileiro é afetado periodicamente pela presença do evento climático chamado El Niño. Tal fenômeno é resultado de um anômalo aquecimento das águas equatoriais do oceano Pacífico. Este aquecimento provoca mudanças na circulação de grande escala da atmosfera,

causando anomalias climáticas em várias regiões do globo, (ALVES e REPELLI, 1992). O El Niño tende a acentuar os períodos secos, pois ele dificulta a ação da ZCIT (Zona de convergência inter-tropical) que traz umidade do oceano Atlântico para o nordeste.

Somando a influência do solo com as condições climáticas, são geradas condições para o desenvolvimento da vegetação. Esta é um importante receptor e armazenador de radiação solar, o que ocorre devido à absorção de energia incidente pelo sistema solo-planta, e é dependente do albedo da superfície (JARVIS et al., 1997). O albedo de superfície, ou poder refletor da superfície é a fração incidente que é devolvida à atmosfera. Este é um parâmetro muito importante no balanço de radiação e de energia de uma superfície, (LEIVAS et al., 2007).

Segundo o boletim climático do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos(CPTEC,2016), no mês de Agosto de 1998, as precipitações ocorreram em praticamente toda a Região, principalmente no centro-leste. As maiores precipitações ocorreram na faixa leste dos Estados de Pernambuco e da Paraíba, devido a distúrbios de leste, com valores superiores a 250 mm. Os menores valores de precipitação total ocorreram no sul do Ceará, extremo oeste de Pernambuco e no centro-oeste dos Estados do Piauí e da Bahia, onde foram registrados valores inferiores a 1 mm. Nas demais áreas da Região, as precipitações ficaram entre 10 mm (área central) e acima de 250 mm (na faixa litorânea leste). No norte e leste da Bahia ocorreu precipitação acima de 50 mm. Ao analisar a figura 4, referente a precipitação diária do mês de Agosto da 1998, é notável em no dia da passagem do satélite, a precipitação no município apresentou 1,6mm, sendo assim possível a obtenção da imagem, pois o município está localizado em uma faixa de alta nebulosidade, no qual dificultaria a obtenção da índices biofísicos, porém serviu de identificação de modificações de cobertura vegetacional, assim como de temperatura da superfície, assim como é observável na imagem 5, referente a distribuição diária da precipitação no mês de Agosto de 2018.

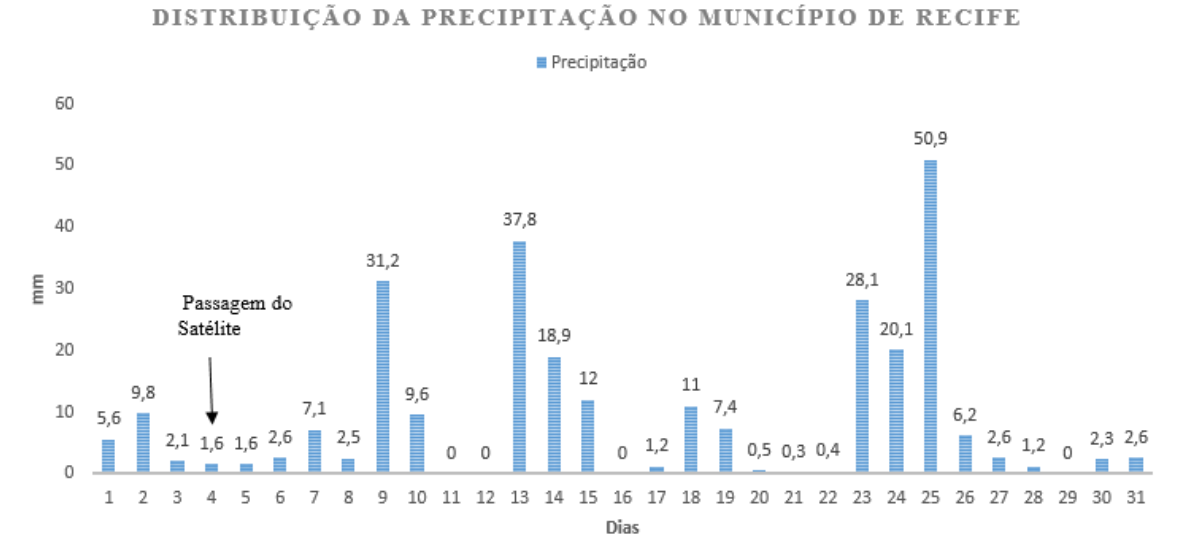


Figura 4 – Distribuição da Precipitação diária no mês de Agosto do ano de 1998, município de Recife- PE.

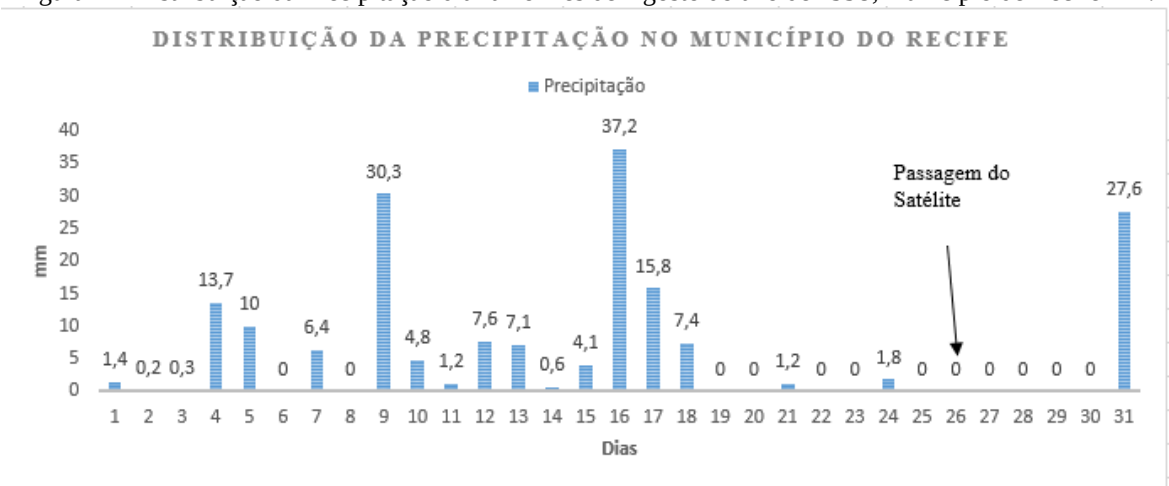


Figura 5 – Distribuição da Precipitação diária no mês de Agosto do ano de 2006, município de Recife- PE.

Ao analisar a figura 6, referente ao balanço hídrico do ano de 1998, o extrato hídrico na distribuição mensal do ano de 1998, apresentou valores excedentes nos respectivos meses de Maio a Setembro, enquanto os demais meses do ano apresentaram déficit hídrico. No que se refere ao balanço hídrico normal, o ano apresentou índices com elevada correspondência a evapotranspiração potencial, sendo no período de Maio-Agosto, valores aproximados em relação a Evapotranspiração Real. Ao analisar a figura 7, referente ao BH do ano de 2006, para o município do Recife, é notável a extrato hídrico com um excedente ao logo do ano, assim como uma precipitação excedendo a evapotranspiração real e potencial. Ao se fazer uma analogia entre a figura 6 e 7, dos respectivos extratos hídricos, foram observados que o potencial de variação entre a evapotranspiração potencial e a real, ou seja, as condições meteorológicas seriam um dos elementos no período da amostra, assim como a precipitação excedente no período, teria uma elevada probabilidade em inclusão no processo de escoamento superficial.

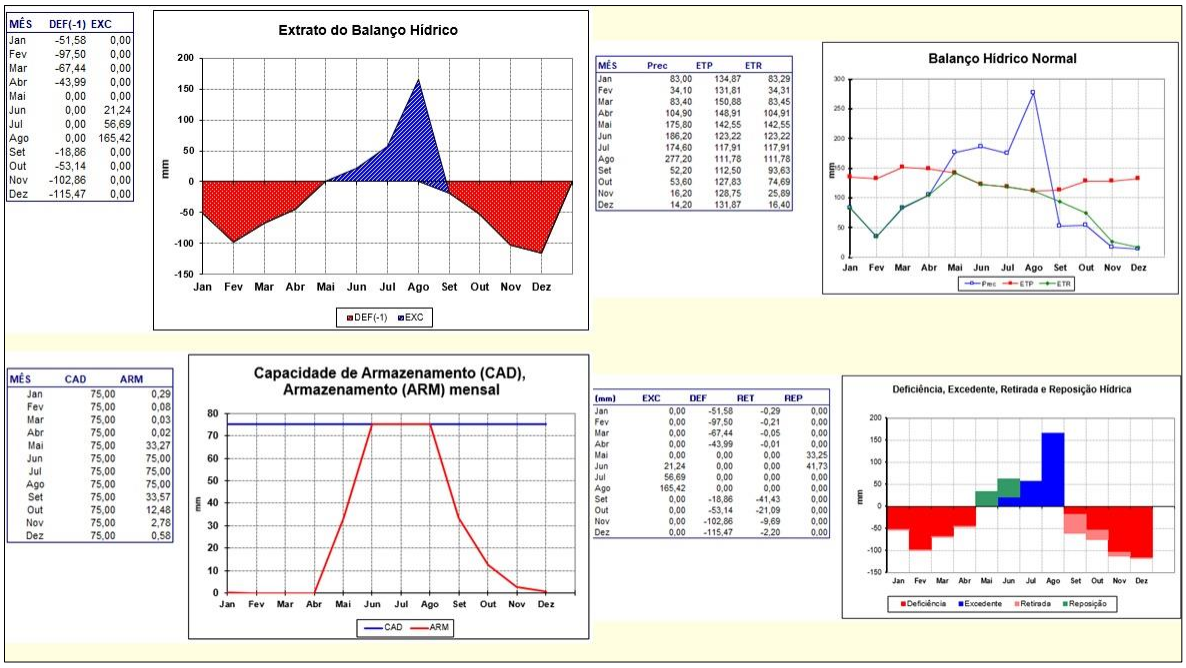


Figura 6 – Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather, para o ano de 1998 no município de Recife, PE.

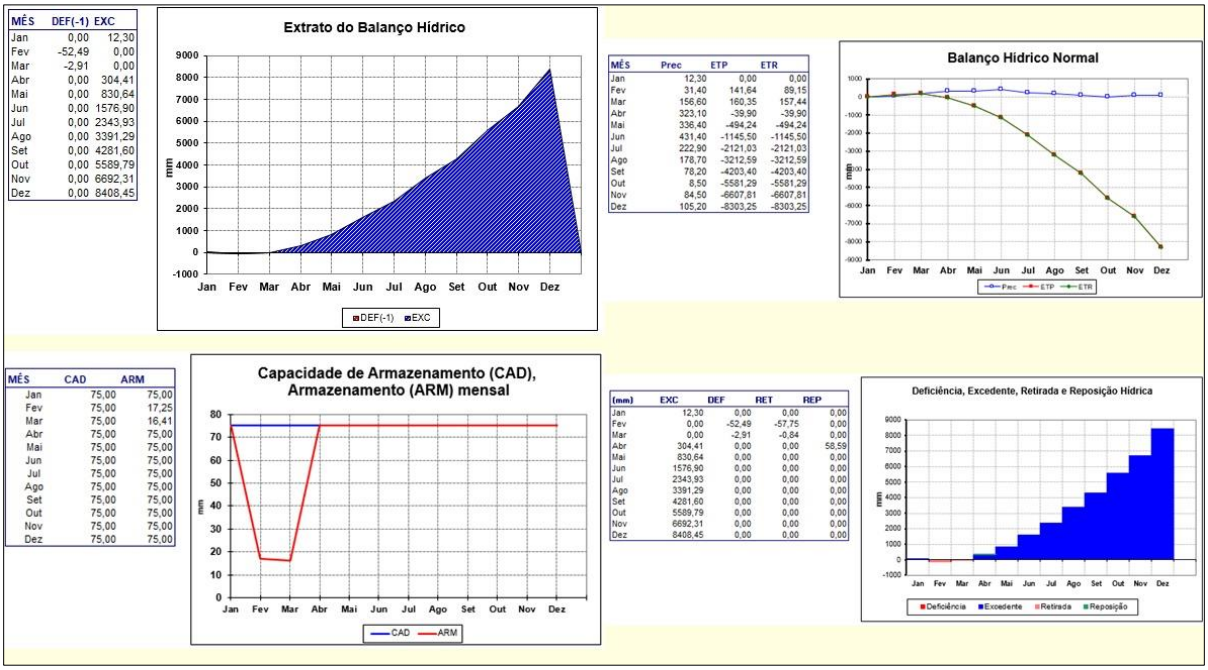


Figura 7 – Balanço Hídrico de Thornthwaite e Mather, para o ano de 2006 no município de Recife, PE.

4. CONCLUSÃO

Concluímos que, através do uso dos índices biofísicos é viável no monitoramento espaço-temporal, com auxílio das técnicas de sensoriamento remoto.

O NDVI, e viável o monitoramento da variabilidade da cobertura vegetacional. a modificação de drenagem hídrica do solo, em decorrência da atividade antrópica, em vigência do acelerado processo de urbanização, como através do saldo de radiação e temperatura da superfície, e perceptível a sensibilidade dos índices a condições meteorológicas, em decorrência do processo atmosfera-superfície.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), assim como Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pela disponibilização dos referidos dados e imagens do estudo.

REFERÊNCIAS

ALBURQUERQUE, E. M.; ANDRADE, S. C. P.; MORAIS, H. F.; DINIZ, J. M. T; SANTOS, C. A. C. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO NDVI E NDWI SOBDIFERENTES INTENSIDADES PLUVIOMÉTRICAS NO MUNICÍPIO DE SOUSA-PB. Estudos Geoambientais – revista eletrônica (Online), v. 1, n. 1, 2014.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. (2007). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. Journal of Irrigation and Drainage Engineering.

ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A.; A variabilidade pluviométrica no setor norte do nordeste e os eventos El Niño-oscilação sul (ENOS). Revista Brasileira de Meteorologia; Vol. 7(2), 583-592, 1992.

BEZERRA, M. V. C.; Silva, B. B. da; BEZERRA, B. B. Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, p.709-717, 2011.

CUNHA, J. E. de B. L.; RUFINO, I. A. A.; SILVA, B. B. da; CHAVES, I. de B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, p.539-548, 2012.

GALVÍCIO, J.D.; PEREIRA, J.A.S.; FRANÇA, L.M.A.; LINS, T.M.P.; ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA VEGETAÇÃO DOS PERÍODOS SECOS E CHUVOSOS ATRAVÉS DO SAVI E ALBEDO DE SUPERFÍCIE NO MUNICÍPIO DE BELO JARDIM – PE . REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA Fortaleza, Brasil, v. 10, n. 2, p.133-146, jul./dez. 2016. ISSN: 1982-5528

GÓMEZ, C.; WHITE, J. C.; WULDER, M. A. Characterizing the state and processes of change in a dynamic forest environment using hierarchical spatio-temporal segmentation. Remote Sensing of Environment, v.115, p.1665-1679, 2011.

GRIMMOND, C. S. B.; KUTTLER, W.; LINDQVIST, S.; ROTH, M. Urban Climatology ICUC6. International Journal of Climatology, v.27, p.1847-1848, 2007.

HANDCOCK, R. N.; et al. **Thermal Infrared Remote Sensing of Water Temperature in Riverine Landscapes.** Fluvial Remote Sensing for Science and Management, First Edition, 2012.

HERB, W. R.; Janke, B; Mohseni, O.; Stefan, H. G. **Ground surfasse temperature simulation for different land covers**. Journal of Hydrology, v.356, p.327-343, 2008.

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução: José Carlos Neves Epiphanio. Sao Jose dos Campos, SP: Parentese, 2011.

LAMBERTS, R., GHISI, E., PAPST, A. L.. Desempenho Térmico de Edificações. Apostila. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

LEIVAS, J., FONTANA, D., BERLATO, M., CARDOSO, L., Variação Diária do Albedo sobre uma superfície vegetada e sobre um lago na estação experimental da UFRGS-RS. XV Congresso Brasileiro de Agrometereologia – 02 a 05 de julho de 2007.

MOREIRA, E.B.M; GALVINCIO, J.D. Espacialização das Temperaturas da Superfície na cidade do Recife, Utilizando Imagens TM- Landsat 7. Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 24, no 3, set/dez. 2007

OLIVEIRA, Leidjane Maria Maciel de; MONTENEGRO, S. M. G. L. ; SILVA, B. B. ; MOURA, A. E. S. S. ; GUSMAO, A. C. V. E. L. ; SALGUEIRO, J. H. P. B. . ÍNDICES DE VEGETAÇÃO POR SENSORIAMENTO REMOTO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAPACURÁ - PE. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves - RS. Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013.

PENMAN, H.L. Evaporation: na introductory survey. Netherlands. Journal of Agricultural Science, Cambridge, v.4, p.9-29, 1996.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL DO MUNICÍPIO DE CORRENTES - PE

UBIRATAN JOAQUIM DA SILVA JUNIOR
LEIDJANE MARIA MACIEL DE OLIVEIRA
RAYANE CAVALCANTI DA FONSECA
RÔMULO ALEXANDRINO SILVA

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica e Departamento de Engenharia Civil, Recife, PE
ubiratanjoaquim@yahoo.com.br, leidjaneoliveira@hotmail.com, rayanec.fonseca@outlook.com, romulo_alex_silva@hotmail.com

RESUMO - O semiárido nordestino é caracterizado pela presença de elevadas altitudes e uma irregularidade de pluviosidade no tempo e espaço. Seu bioma caatinga de grande importância possui considerável biodiversidade, porém detêm reduzidos dados de campo para o monitoramento espaço-temporal do seu comportamento biótico. Pesquisas com sensoriamento remoto permitem compreender o comportamento de parâmetros biofísicos, em eventos como a análise do comportamento vegetal de um bioma. Em virtude disto, este trabalho teve como objetivo avaliar a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal de Correntes, município do agreste Pernambucano, no período chuvoso, por meio de técnicas e produtos de Sensoriamento Remoto. Utilizaram-se três imagens orbitais do TM LANDSAT 5, órbita 230 e ponto 66, no período de 1998, 2006 e 2011. Com auxílio da ferramenta Sistema de Informação Geográfica implementou-se uma modelagem para geração das cartas temáticas expressando a variabilidade dos parâmetros de NDBI, NDVI e SAVI. Os resultados obtidos indicam a presença crescente de ação antrópica na região proveniente do crescimento regiões de cultura agrícola.
.

ABSTRACT - The northeastern semi-arid region is characterized by the presence of high altitudes and an irregularity of rainfall in time and space. Its caatinga biome of great importance has considerable biodiversity, but it has reduced field data for the spatio-temporal monitoring of its biotic behavior. Remote sensing research allows understanding the behavior of biophysical parameters, in events such as the analysis of the biome vegetal behavior. As a result of this, this work had as objective to evaluate the spatial-temporal dynamics of the vegetation cover of Correntes, municipality of the agreste Pernambucano, in the rainy season, through techniques and products of Remote Sensing. Three orbital images of the TM LANDSAT 5, orbit 230 and point 66 were used in the period of 1998, 2006 and 2011. With the help of the Geographic Information System tool, a modeling was developed to generate thematic charts expressing the variability of the parameters of NDBI, NDVI and SAVI. The results indicate the increasing presence of anthropic action in the region from the growing regions of agricultural culture.

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas, o uso inadequado dos recursos naturais, a presença antrópica associada ao manejo e ocupação do solo, são fatores que vem modificando a paisagem e os ecossistemas que a compõe. Estudos ambientais têm se tornado cada vez mais importante neste cenário, a partir da compreensão ao longo prazo da evolução dos fatores constituintes como: a vegetação, o solo e a expansão da malha urbana (BOTELHO & SILVA, 2004)

O geoprocessamento tem sido utilizado para monitorar as características biofísicas e as ações antrópicas na Terra, através do desenvolvimento de novas tecnologias nos sistemas de satélites (OLIVEIRA et al., 2012). A disponibilidade desses dados nos permite uma melhor gestão dos recursos naturais e possivelmente sua preservação. (DÍAZ e ALMAROX, 1994).

O Sensoriamento Remoto (SR) permite o monitoramento dos recursos naturais, além de possibilitar a identificação do uso e ocupação do solo, e sua variação ao longo do tempo com transformações ocorridas na paisagem. (MORAIS *et al*, 2011). Suas ferramentas também possibilitam estudos espaço-temporal dos recursos naturais como:

cobertura vegetal, hidrográfica e clima. Através de parâmetros espectrais da vegetação e parâmetros biofísicos, através de mudança na reflectância e nos índices de vegetação.

Dentre os índices destacam-se o NDVI (*Normalize Difference Vegetation Index*) que utiliza as porções de energia eletromagnética nas bandas do vermelho e infravermelho próximo para determinar o vigor da vegetação, o SAVI (*Soil-adjusted vegetation index*) foi desenvolvido por Huete (1988), sendo uma técnica de transformação para minimizar a influência da Reflectância do solo nos índices de vegetação espectrais e, o NDBI (*Normalized Difference Built-up Index*), índice este, desenvolvido para identificar áreas urbanas e construídas.

Segundo Epiphanio *et al.* (1996), os índices de vegetação realçam o comportamento espectral da vegetação e se correlacionam com o vigor da vegetação verde, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade.

A mudança de vegetação é o indicador mais direto da degradação do solo e da variação no ambiente causada pela desertificação. Porém não se recomenda uma avaliação baseada apenas no crescimento da vegetação, pois existem vários estados estáveis para a vegetação em ecossistemas áridos (ALVEZ *et al.*, 2018).

Estudos sobre o emprego de técnicas de sensoriamento remoto para análise da dinâmica da cobertura vegetal, através dos índices NDVI, NDBI e SAVI podem ser encontrados em: Alvez *et al.* 2018, que analisaram a variação espaço temporal da cobertura vegetal como importante indicador do processo de degradação de terras/desertificação, concluindo que quanto menor o índice de vegetação maior a suscetibilidade de degradação de terras. Leite *et al.* 2017, efetuou uma análise temporal da dinâmica de uso do solo a partir dos índices de vegetação NDVI e SAVI, indicando-os como ferramentas apropriadas no gerenciamento e monitoramento de florestas plantadas e nativas e Souza *et al.* 2014 que buscou entender e quantificar as transformações ocorridas na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, fazendo uso de classificação supervisionada e do NDBI, onde obteve uma melhor identificação e delimitação de áreas agrícolas e urbanas e redução de erros causados pelo sombreamento em áreas de relevo declivoso.

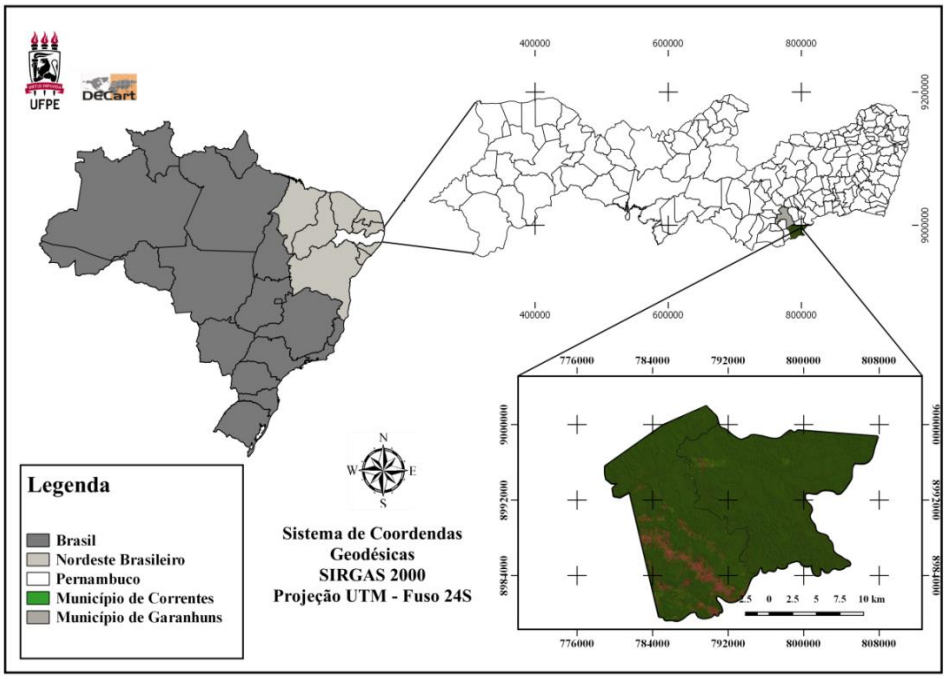
Portanto, para obter-se uma análise da evolução espaço-temporal da vegetação este trabalho propõe realizar um estudo integrado desta dinâmica, a partir dos índices NDVI, NDBI e SAVI, objetivando-se destacar também a dinâmica no intervalo de tempo, da expansão urbana e do uso e ocupação do solo.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Área de Estudo

O município de Correntes (Figura 1) localizado no Agreste pernambucano a uma latitude 9°07′44″Sul, e uma longitude 36°19′49″Oeste, apresenta uma população de 17.044 habitantes, possui um clima do tipo As' segundo a classificação de Köppen, Tropical Chuvoso, com verão seco, está inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, maciços e outeiros altos, com altitude variando entre 650 a 1.000 metros. Sob domínios da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, seus principais tributários são: os rios Mundaú, Correntes, Mundauzinho e Caruru. A vegetação do município é formada por Florestas Subcaducifólica e Caducifólica, próprias das áreas agrestes. (CPRM, 2005; IBGE, 2000)

Figura 1 – Área de Estudo



Fonte: Autores (2018)

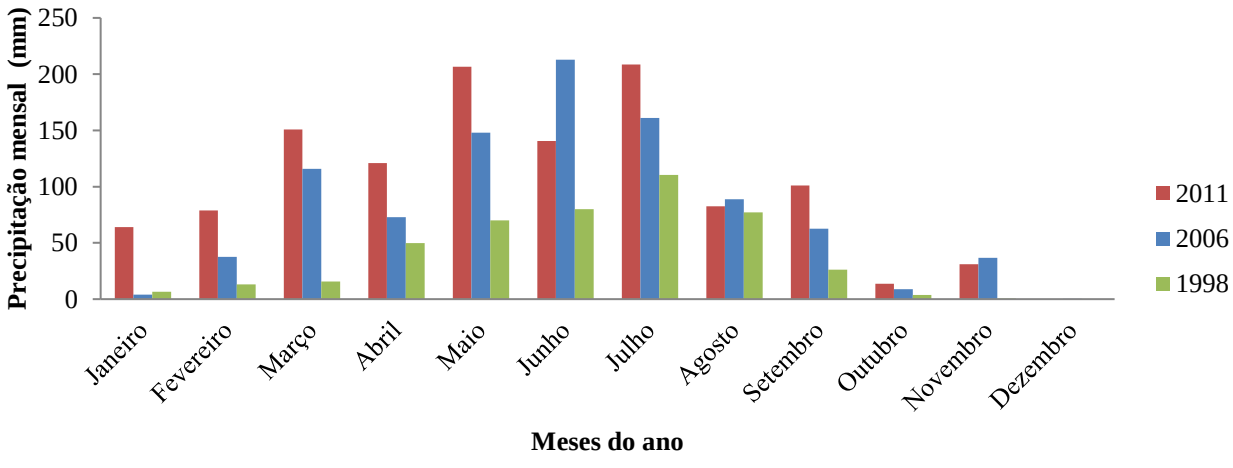
2.2 Materiais

Foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 5, sensor TM, orbita 230 e ponto 66, obtidas através da base de dados digitais do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), datadas de 23/07/2011, 19/07/1998. Utilizou-se as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 correspondentes as faixas do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio. O processamento dos dados foi realizado no software de livre acesso QGIS 2.18.19.

Para a validação, os resultados obtidos a partir dos índices foram comparados com as informações meteorológicas obtidas a partir de séries históricas através do banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), através da estação meteorológica de observação de superfície automática do município de Garanhuns – PE, divisa a noroeste com Correntes (Figura 1).

Os dados de precipitação mostraram que os anos escolhidos para a realização do estudo apresentaram regimes hidrológicos distintos, com valor médio mensal em julho de 2011 (208,5) mm, com 29 dias de chuva, em 2006 (161,1 mm), com 26 dias de chuva e em julho de 1998 (110,4 mm), com 24 dias de chuva, e média de dias chuvosos entre os anos de 26 dias chuvosos, como pode ser visto na figura 3, onde se constatou que os anos de maior precipitação foram 2011 e 2006, também se observa que os meses de outubro a dezembro são os meses com menores valores de precipitação, sendo em 2011 e 1998 valor inexistente, indicando ausência de chuva neste período.

Figura 3 - Precipitação Total nos anos de 2011, 2006 e 1998 da Estação Meteorológica de Garanhuns – PE.



Fonte: BDMPE (INMET, 2018)

2.3 Processamento dos dados

No software QGIS 2.18.19, as imagens foram georreferenciadas para o sistema de referencia geodésico SRIGAS 2000, projeção UTM – FUSO 25S e recortadas. A partir daí, foi feito o tratamento preliminar das imagens, através da calibração radiométrica e da reflectância, a partir das equações propostas por Allen *et. al.* (2002), Chander & Markham (2003) e Silva *et al.* (2005).

Segundo Figueiredo (2005) o tratamento preliminar das imagens orbitais, possibilita corrigir as degradações radiometricas devido a desajustes na calibração dos detentores, erros na transmissão de dados, influências atmosféricas e distorções geométricas. Tais imperfeições caso sejam não corrigidas, podem comprometer os resultados das análises e produtos derivados das imagens. Dentre os tratamentos estão à calibração radiométrica e a reflectância, que foram empregados no pré-processamento das imagens utilizadas nesta pesquisa.

Por fim, foram inseridas as equações correspondentes aos referidos índices, a partir do empilhamento das bandas, possibilitando o desenvolvimento de cartas temáticas, para a análise espaço-temporal da cobertura vegetal.

2.3 Calibração Radimetrica

A calibração radiométrica consiste na intensidade radiante por unidade de área-fonte projetada numa direção específica (JESEN, 2009). Trata-se da contabilidade da radiação espectral em cada banda (Lλi), em que o número digital (ND) de cada pixel da imagem é convertido em radiância espectral monocromática (OLIVEIRA, 2008). Para tal tem-se a equação de calibração radiometrica proposta por Allen *et al.* (2002), Chander & Markham (2003) e Silva *et al.* (2005):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

em que: L = radiância espectral de cada banda (Wm^{-2} sr^{-1} μm^{-1}), aos coeficientes "a" e "b" de calibração obtidos por Chander *et al.* (2009), ND = intensidade do pixel (número inteiro entre 0 e 255) correspondente a cada banda e; i corresponde a cada banda do TM Landsat 5.

2.4 Reflectância

A reflectância de cada banda, que se trata da razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, foi obtida por Chander & Markham, (2003):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi . L_{\lambda i}}{\kappa_{\lambda i} . \cos Z . d_r} \quad (2)$$

em que: ρλi = reflectância monocromática de cada banda (Wm^{-2} sr^{-1} μm^{-1}), Lλi = radiância espectral de cada banda (Wm^{-2} sr^{-1} μm^{-1}), kλi = irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera (Wm^{-2} μm^{-1}), Z = ângulo zenital solar e dr = quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (ro) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DSA), E = ângulo de elevação do Sol no metadados da imagem.

2.5 Índices Espectrais

Os índices de vegetação desempenham importante protagonismo em análises e monitoramento vegetativos. Segundo Jessen (2009), se configuram como medidas radiometricas adimensionais que indicam abundância relativa e atividade da vegetação verde, índice de área foliar, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, entre outros elementos.

2.5.1 NDVI

O NDVI (*Normalize Difference Vegetation Index*) envolve a diferença e a soma entre as duas bandas do infravermelho próximo e do vermelho, bandas 3 e 4 do Landsat-5 TM respectivamente, segundo a razão:

$$\text{NDVI} = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (3)$$

em que: NIR = reflectância da banda do infravermelho próximo (0,75 – 0,90 μm) e R = reflectância da banda do vermelho (0,63 – 0,70 μm).

Trata-se de um índice de vegetação cujos valores variam de -1 a +1 e é utilizado para diferenciar os níveis de crescimento da vegetação. Estas duas bandas espectrais são escolhidas porque são as mais afetadas pela absorção de clorofila na vegetação de folhas verdes e pela densidade da vegetação verde na superfície (ALMEIDA *et. al.*, 2015). Os valores positivos e mais próximos de 1 indicam superfícies verdes bem vegetadas, enquanto que os valores negativos representam água ou nuvens. Solos descobertos e rochas refletem no vermelho e infravermelho próximo quase na mesma intensidade, por isso o NDVI se aproxima de 0 (COELHO *et. al.*, 2015).

2.5.2 SAVI

O Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (SAVI) leva em consideração efeitos do solo exposto nas imagens analisadas, conforme Huete (1988):

$$\text{SAVI} = \frac{(1+L)(\rho_4 - \rho_5)}{(L+\rho_4 + \rho_5)} \quad (4)$$

em que: L = fator de ajuste, podendo variar entre 0, para coberturas vegetais mais densas, e 1 para vegetação menos densa. O valor padrão utilizado na maioria das aplicações foi 0,5, que corresponde a uma densidade vegetal intermediária (OLIVEIRA *et al.*, 2007); ρ_4 = reflectância da banda do infravermelho próximo e ρ_5 = reflectância da banda do vermelho.

O valor de l sendo igual à zero tem-se que o SAVI apresenta-se igual ao NDVI. Segundo Menezes (2012), para áreas de cobertura vegetal intermediária, l é tipicamente em torno de 0,5 e o fator (1+l) assegura que o intervalo de valores do SAVI é o mesmo que o do NDVI, isto é, entre -1 e 1. O uso do SAVI é importante neste estudo, pois o NDVI não confirma ser um bom indicador de biomassa de vegetação, se o terreno uma cobertura pobre de vegetação, como em áreas semiáridas ou áridas, afirmam Hauete & Jackson (1987).

2.5.3 NDBI

O índice de construção por diferença normatizada (NDBI) foi desenvolvido para identificar áreas urbanas e construídas, França *et al.* (2012), baseado no incremento da resposta espectral das áreas construídas entre as bandas do infravermelho médio e infravermelho próximo, onde são obtidos valores entre -1 e 1, sendo que os valores positivos correspondem a áreas construídas, conforme Zha *et al*. (2003):

$$\mathbf{NDBI} = \frac{\boldsymbol{\rho}_{\mathbf{IV_m}} - \boldsymbol{\rho}_{\mathbf{IV_p}}}{\boldsymbol{\rho}_{\mathbf{IV_m}} + \boldsymbol{\rho}_{\mathbf{IV_p}}} \quad (5)$$

em que: ρIVm= reflectância da banda do infravermelho médio (reflectância da banda5) e ρIVp = reflectância da banda do infravermelho próximo (reflectância da banda4).

Trata-se de um índice baseado no incremento do número digital das áreas construídas do local de estudo em intervalos de bandas. A aplicação deste índice fornece parâmetros capazes de detectar e separar alvos compostos de materiais diferentes, como de edificações em áreas urbanas de uma forma geral e áreas de solo exposto. (COSTA, 2016)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 NDVI

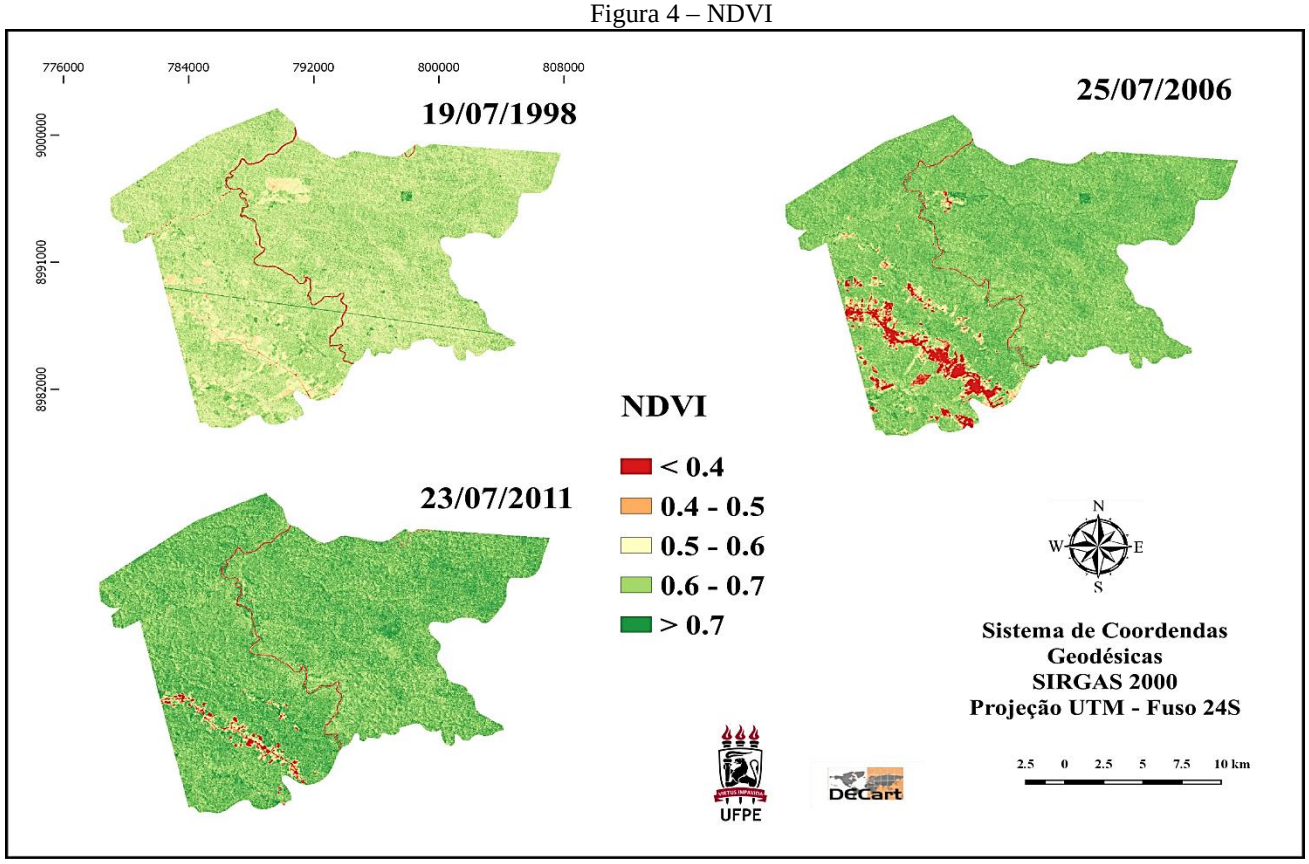
No período de janeiro a julho de 2011 (Figura 3), no Agreste pernambucano, os meses em que ocorreram as maiores precipitações foram maio (234,0 mm) e julho (157,8 mm), representando um percentual de 169,0% e 50,1%, respectivamente (APAC, 2011). Estudo realizado por Nicacio *et. al.* (2009) na bacia do rio Coxim–MS, comparando

precipitação com NDVI, mostrou que o índice de vegetação tem significativa correlação com as chuvas, ou seja, com precipitação elevada o vigor da vegetação aumenta.

No ano de 1998 foi possível a percepção de uma redução da vegetação para áreas de solo exposto, devido a presença da indústria de transformação presente no município, como feijão, milho, algodão e farinha.

Os intervalos de NDVI distribuídos espacialmente na Figura 4, evidenciaram que os elementos visuais mais representativos são os de valores positivos, o que sugere a presença de cobertura vegetal, esses mais próximos de 1. Os valores do NDVI variaram entre menores que 0,40 até maiores que 0,70, com menor valor médio de (0,36) para o dia 19/07/1998, maior valor médio (0,68) para o dia 23/07/2011 e, valor médio de (0,56) para 25/07/2006, sendo assim, foi consideravelmente maior para o ano de 2011 em relação aos anos de 1998 e 2006, devido aos diferentes regimes pluviométricos.

Figura 4 – NDVI



Fonte: Autores (2018)

Com o cálculo do índice NDVI seguido da funcionalidade de criação de mapas, permitiram que os resultados na forma de base de dados, pudessem ser elaborados mapas temáticos, cujos dados do NDVI puderam ser classificados em 5 classes com intervalos de 0,7 a 0,4 (figura 4). Observou-se assim, presença de solo exposto, evidenciada em particular nos anos 2011 e 2006, nesses anos os valores mínimos do NDVI variaram entre 0,32 e 0,36, também é destacado o corpo hídrico presente na cidade que é o Rio Mundaú.

De acordo com Huete e Tucker (1991), o NDVI para os solos expostos são, geralmente, na faixa de 0,05 a 0,30, entretanto devido às propriedades óticas do solo, não se pode definir uma faixa rigorosa de valores de NDVI para solos com pouca ou nenhuma vegetação, afirmaram Coelho *et. al.* (2015). Para Oliveira *et. al.* (2013), baixos valores de NDVI configuram vegetação estressada ou área degradada por presença de ação antrópica, decorrente de escassez hídrica, que tem como consequência a exposição do solo.

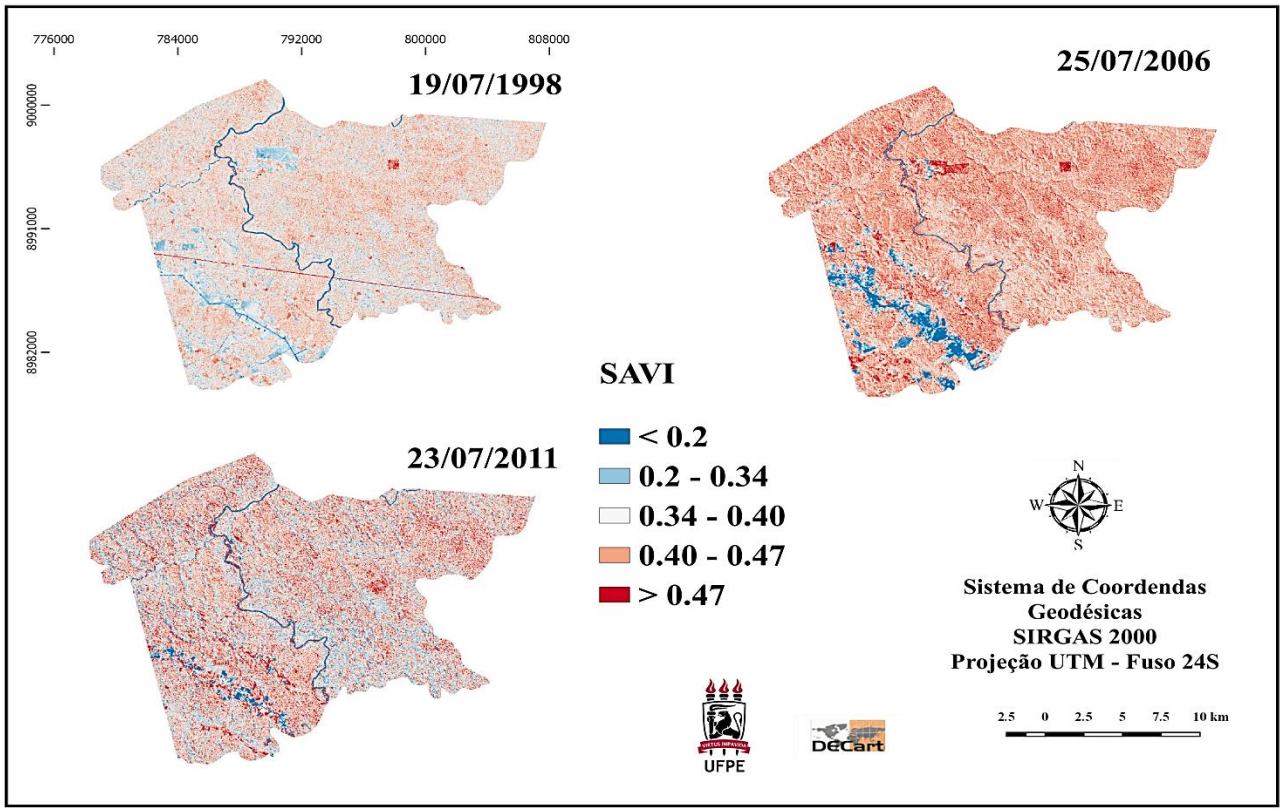
3.2 SAVI

Foi perceptível a alteração do perfil da vegetação na região, analisando os resultados obtidos com o SAVI, distribuído em 5 classes com intervalos variando entre 0,2 a 0,47 (Figura 5), esta alteração ocorreu devido às variações

climáticas, levando em consideração que a vegetação do Agreste e também a Caatinga no Sertão são muito sensíveis a qualquer evento meteorológico. Tal alteração também pode ser creditada a vários outros fatores como o crescimento da cidade e o aumento das áreas utilizadas pela agricultura.

Segundo Galvíncio *et al.* (2016), alterações nas áreas mais densas dos municípios estão ocorrendo devido às alterações climáticas, associando-se à presença das atividades humanas que contribuem para que tais mudanças ocorram.

Figura 5 – SAVI.



Fonte: Autores (2018)

As respostas dos índices SAVI indicam a redução de vegetação para culturas econômicas, devido à elevada presença de alvos inseridos em classes de solo exposto, em destaque a partir do ano de 2006. O menor valor médio obtido foi de (0,206) para o dia 19/07/1998, e maior valor médio (0,46) para o dia 25/07/2006, e valor médio de (0,43) para o dia 23/07/2011. Ao ser comparado com o NDVI os valores obtidos asseguraram a presença de ação antrópica na área.

3.3 NDBI

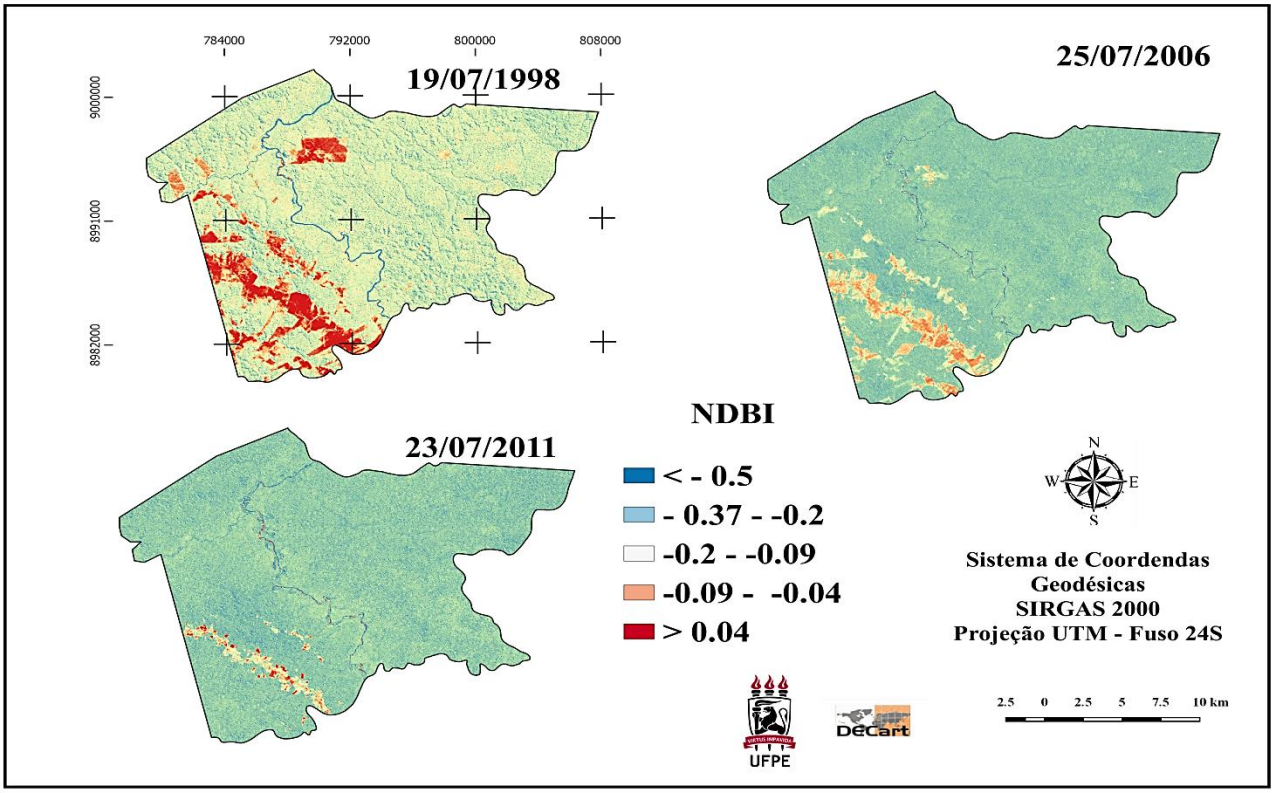
Para diferenciação das áreas de construções, uma renderização é aplicada, sendo recomendada a falsa-cor. Neste calculo, a intensidade das variações ocorridas na área, variam em valores de 0 a 1, ou seja, quando não houver áreas urbanizadas será 0 e a intensidade máxima de áreas urbanizadas, de acordo com o cálculo, será 1, como demostrado em estudos realizados por Costa *et. al.* (2017) e Souza *et. al.* (2014).

O NDBI leva em consideração não só edificações, mas também áreas de solo exposto, que podem ser englobadas como áreas urbanas. (COSTA *et. al.*, 2017) Trata-se de uma ferramenta útil para analisar o crescimento de áreas

urbanas, porém apresenta limitações, pois áreas de solo exposto podem ser englobadas como áreas construídas, sendo necessária uma avaliação criteriosa do pesquisador, justifica Monteiro *et. al.* (2016).

Diante desta premissa, as respostas do índice NDBI distribuído em 5 classes com intervalos variando entre -0,5 a 0,04 (figura 6), tendo como valor mínimo médio de (-0,46) para o dia 23/07/2011 e máximo médio de (0.037) para o dia 19/07/1998 e (-0,38) para 25/07/2006. Foi possível perceber que as regiões de solo exposto destacadas através dos índices NDVI e SAVI assumem os maiores valores de NDBI, trata-se de áreas utilizadas para fins agrícolas na região.

Figura 6 - NDBI



Fonte: Autores (2018)

4. CONCLUSÕES

No município de Correntes, os anos de 1998 e 2006 apresentaram uma redução da vegetação, devido ao baixo percentual chuvoso com relação a 2011 e devido à expansão das regiões agrícolas presentes. O SAVI evidenciou e diferença da condição da vegetação no período chuvoso, e suas propriedades são recomendadas para o acompanhamento da dinâmica da vegetação ao longo dos anos, o NDBI ressaltou o solo exposto fruto da cultura agropecuarista, identificado também através do SAVI.

Portanto, é ressaltado o papel da cartografia multitemporal da cobertura e uso da terra, como apresentada nesta pesquisa, cujas representações consistentes do espaço representado, contribuem como ferramenta de planejamento e desenvolvimento da área, para a geração de um desenvolvimento territorial que integre de forma coerente as esferas econômicas, sociais e ambientais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pelo banco de dados hidrológico e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelas imagens do satélite Landsat 5.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.; BASTIAANSSEN, W.; WATERS, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Surface energy balance algorithms for land (SEBAL), Idaho implementation – **Advanced training and users manual**, version 1.0, 2002. 97p.

ALVEZ B. L. T.; AZEVEDO V. P.; SANTOS C. A. C.; SANTOS C. A. F.; Evolução Espaço-temporal do albedo e da cobertura vegetal da superfície na bacia hidrográfica do alto curso do Rio Parnaíba. **Geosul**, Florianópolis, v.33, n.66, p.147-181, jan./abr. 2018.

APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima, **Boletim Climático** Julho de 2011. Disponível em < http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/boletins_climaticos_old.php> . Acesso: 22 de agosto de 2018.

CHANDER, G.; MARKHAM, B.L. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures, and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 41, 2674- 2677, 2009.

COSTA, A. J. G.; NETO, F. G. A.; SANTOS, O. R. M.; BARBOSA, A. S. S.; Análise Multitemporal da expansão urbana no município de Timon – MA: 1996 e 2016. **Anais do Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto – GEONORDESTE 2007**. Salvador/BA - BR, 03 – 06 de outubro de 2017.

COELHO, R. H. V.; VILLAR, C. A.; GUSMÃO, L.; MONTENEGRO, L. G. M. S.; SILVA, B. B.;VASCONCELOS, R.; OLIVEIRA, M. M. L.; Índices de vegetação e temperatura da superfície por Sensoriamento remoto em bacia hidrográfica do Semiárido brasileiro. **Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos** – Brasília – DF, 22 a 27 de novembro de 2015.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil, **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Santa Cruz da Baixa Verde, estado de Pernambuco.** Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16691/Rel_Santa%20Cruz%20da%20Baixa%20Verde.pdf?sequence=3Acesso em: 30/03/2018. 2005.

DIAZ, M. C.; ALMOROX, J. A. **La erosion del suelo**. In: Agricultura y medio ambiente. El campo. Servicios de studios, BBV. Madrid, 286: 81-92, 1994.

EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F**.** T. **Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. São Paulo, 2005.

FRANÇA, A.F.; TAVARES JUNIOR, J.R.; MOREIRA FILHO, J.C.C. (2012) Índices NDVI, NDWI e NDBI como ferramentas ao mapeamento temático do entorno da lagoa olho d'água, em Jaboatão dos Guararapes-PE, in **IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife - PE, 06-09 de Maio de 2012, pp.001-009.

GALVINCIO D.J.; PEREIRA S.A.J.; FRANÇA A.M.L.; LINS P.M.T. Análise da variação da vegetação dos períodos secos e chuvosos através do SAVI e albedo de superfície no município de Belo Jardim – PE. **REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA** Fortaleza, Brasil, v. 10, n. 2, p.133-146, jul./de. 2016. ISSN: 1982-5528’

GOERGEN, G. C. L. ; **Uso da reflectância de imagens LANDSAT 5 TM na identificação de plantios de *eucalyptus dunnii* e *eucalyptus urograndis* e sua correlação com o volume de madeira. Dissertação de Mestrado.** Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS), Rio Grande do Sul – BR, 2014.

HUETE, A. R. **Adjusting vegetation indices for soil influences. International Agrophysics**, v.4, n.4, p.367-376, 1988.

IBGE. **Municípios Brasileiros.** Disponível em: < https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/por-cidade-estado-estatisticas.html>. Acesso: 22 agosto 2018.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente – Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009. 598p.

LEITE P. A.; SANTOS R. G.; SANTOS O. E. J. ; Análise temporal dos índices de vegetação NDVI e SAVI na estação experimental de Itatinga utilizando imagens LANDSAT 8. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.6, n.4, p. 606-623, 2017.

MARKHAM, B. L.; BARKER, L. L.; **Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances**. International Journal of Remote Sensing, v.8, n.3, p.517-523, 1987.

MENEZES R. P.; **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasilia. DF. 2012

MONTEIRO M. J. P.; FELINI G. M.; BORRALHO D. R.; Análise multitemporal do crescimento urbano utilizando o índice NDBI para a cidade de Maringá- PR, **Anais eletrônicos da XIII Semana da Engenharia Ambiental**. Disponível em: <http://soac.eesc.usp.br/index.php/SEAMB/seamb>. Acesso: 22 agosto 2018.

OLIVEIRA, L.M.T. **Estudo das Regiões Fitoecológicas brasileiras pela FAPAR/NDVI e relações com séries temporais de dados pluviométricos**. 2008. 226 p. Tese (doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2008.

OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, B. B.; MACHADO, C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D. Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n.9, p. 1209 - 1217, Set., 2012.

ROUSE, J. W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring **vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. In 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I, pp. 309–317, 1973

SOUZA, B. S.; FERREIRA G. L.; Mapeamento da cobertura e uso da terra: Uma abordagem utilizando dados de sensoriamento remoto optico multitemporais e provenientes de múltiplas plataformas. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, N0 66/2, p. 321-336, Mar/Abr/2014.

ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference Built-Up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**. v. 24, n. 3, p. 583-594, 2003.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.

FOTOGRAFIAS DE PEQUENO FORMATO NA RECONSTRUÇÃO 3D PRECISA DE MONUMENTOS

CARLOS ALBERTO BORBA SCHULER
ALINE NEVES SILVA
RHASSANNO CARACCIOLLO PATRIOTA
RODRIGO KLEBER OLIVEIRA DO NASCIMENTO
ELEONORA WEBER

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
cschuler@ufpe.br, alinevess@gmail.com, rodrigoklebernascimento@gmail.com, rhassanno@gmail.com, eleonore-weber@gmx.de

RESUMO– Este artigo relata uma pesquisa em Fotogrametria Terrestre, desenvolvida por alunos do Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da UFPE, que objetivou verificar a precisão do método de utilização de fotografias de pequeno formato no registro e reconstrução precisa, em 3D, de um monumento existente no CTG/UFPE. Como produtos foram obtidas ortofotos das quatro faces do monumento. No processamento foi utilizado o programa *Photoscan* e comparadas medidas nos monumentos e nas ortofotos. Posteriormente comparou-se esses resultados com aqueles obtidos por Andrade (2009), que utilizou o programa *PhotoModeler*. Observou-se um melhor resultado final foi obtido pelo processamento no software *PhotoScan*. O modelo mostrou uma precisão maior com menos tempo de trabalho investido. Porem a diferencia nos resultados não pode ser atribuído unicamente ao software, já que outros fatores se distinguiram na abordagem. A quantidade de fotos introduzidas foi considerada como fator importante para o tempo de trabalho necessário e a qualidade do modelo resultante.

ABSTRACT– This article reports a research in Terrestrial Photogrammetry, developed by students of the Master in Geodetic Sciences and Technologies of Geoinformation of UFPE, which aimed to verify the accuracy of the method of using small format photographs in the accurate recording and reconstruction in 3D of a monument existing in the CTG / UFPE. As products were obtained orthophotos of the four faces of the monument. The Photoscan program was used in the processing and compared to monuments and orthophotos. Subsequently, these results were compared with those obtained by Andrade (2009), who used the PhotoModeler program. It was observed that a better final result was obtained by processing in the PhotoScan software. The model showed greater accuracy with less time invested. However the difference in results can not be attributed solely to software, since other factors have distinguished them selves in the approach. The number of photos introduced was considered as an important factor for the required working time and the quality of the resulting model.

1 INTRODUÇÃO

Os bens culturais sejam eles materiais ou não são registros fundamentais para o estudo da história e do entendimento do modo de vida de uma sociedade (AMORIM; MOREIRA, 2007). O patrimônio histórico de uma localidade é o retrato da sociedade que ali habita, além de representarem um importante papel para a afirmação da sua identidade. Existem diversos tipos de bens materiais, com seus graus de estima. Os monumentos são exemplo disso, em que cumprem com o objetivo de imortalizar a imagem de uma pessoa ou de fatos que tiveram um elevado grau de relevância para a história daquela sociedade, sendo assim se faz necessário que a importância histórica daquela pessoa seja preservada e conhecida pelas gerações futuras.

Com o passar dos anos os monumentos históricos sofrem com o desgaste causado pela exposição às intempéries ou pelas ações de vândalos, devido a estes fatores existe a necessidade de ações que visem sua manutenção e preservação, entretanto, os governantes em sua grande maioria sejam eles locais ou regionais não investem capital suficiente na conservação desse tipo de patrimônio histórico. Logo, os mesmos acabam deteriorados e esquecidos,

resultando com isso em um abandono e esquecimento de parte importante da história local, já que em sua grande maioria os monumentos são de episódios ou pessoas que marcaram a história daquele território.

Segundo os autores Centeno, Wutke e Kersting (2004) a preservação de construções de monumentos e prédios públicos com características arquitetônicas representativas é uma preocupação atual, que esbarra nas limitações econômicas e falta de políticas de preservação. Atualmente, uma das soluções mais eficientes para a preservação de patrimônios culturais são a documentação e a representação destes, para que em ações futuras de restaurações possam ser disponibilizados um acervo, que possa vir a ser consultado, permitindo assim que o processo de restauração seja o mais fiel possível ao original.

Atualmente, existem diversas tecnologias que ajudam na geração de documentação e registros de patrimônios históricos, entretanto se faz necessário buscar sempre um método mais acessível, economicamente viável e mais eficiente para a realização de pesquisas e desenvolvimento de alternativas. A fotogrametria terrestre é uma das possibilidades de baixo custo e de eficiência comprovada para a realização destes trabalhos. Os autores Gomes *et al.* (1999) e Borges e Borges(1999), comprovam que o uso de câmeras digitais ou analógicas e métodos de restituição fotogramétrica são ferramentas que permitem agilizar o processo de documentação, reduzindo com isso o trabalho de campo.

A fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de obter informações de confiança sobre objetos e do meio ambiente com o uso de processos de registro, medições e interpretações das imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnéticas registradas (ASP, 1966).

A palavra fotogrametria é derivada de três palavras de origem grega: "*photos*" (luz), *"gramma"* (descrição) e *"metron*" (medida). E pode ser definida como uma técnica de extrair de fotografias, as formas, as dimensões e as posições dos objetos nelas contidos (GROETELAARS, 2004).

Sendo uma vertente da fotogrametria a fotogrametria digital, é uma tecnologia de informação usada para gerar informações geométricas, radiométricas e de semântica sobre objetos no universo 3D(tridimensional) obtidas de imagens digitais 2D(planas) destes objetos (HEIPKE, 1995). HELAVA(1992), afirma que, o domínio da tecnologia do computador, as imagens rasterizadas/vetorizadas(obtidas a partir de scanners) e a fotogrametria analítica compreendem as três vertentes de sustentação da fotogrametria digital.

Já no estudo da fotogrametria terrestre os dados gráficos são captados utilizando como sensor uma câmara métrica terrestre a partir de uma posição fixa. São algumas finalidades deste tipo de levantamento: serviços especializados de medição e controle de deformações; restauração de patrimônio arquitetônico ou de engenharia civil e restauração de monumentos e arqueologia.

A restituição é um procedimento que pretende obter de fotografias aéreas ou terrestres as feições planimétricas e/ou altimétricas de uma determinada localidade expressa na projeção ortogonal após restabelecer a equivalência geométrica entre a fotografia e o filme (TEMBA, 2000).

Segundo Disperati, Amaral e Schuler (2010) fotografias de pequeno formato são aquelas tomadas utilizando-se câmaras amadoras, com lentes simples, e que podem ser calibradas fornecendo resultados semelhantes àqueles quando se utilizam câmaras métricas. Têm um sensor de pequenas dimensões exigindo, assim uma maior quantidade de fotografias para registrar um mesmo objeto

Utilizou-se, neste trabalho, as fotografias de pequeno formato para registro e reconstrução precisa, em 3D, do monumento em homenagem ao ex-Reitor da Universidade Federal de Pernambuco, Manoel de Moraes Rego, existente no jardim da entrada que dá acesso ao prédio do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG)/UFPE, para testar a precisão dos resultados obtidos.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Materias

Para a execução dos levantamentos de campo, foram utilizadas trena metálica e máquina fotográfica Nikon Coopix AW100, de 16 Mpixel, e braço alongador para câmera. A utilização do braço alongador se fez necessário devido a necessidade da obtenção das fotografias da parte superior do monumento, sendo o braço alongador a solução mais viável para realização de tal função.

As imagens adquiridas foram processadas em um microcomputador, utilizando o *software AgisoftPhotoScan*, para produzir o modelo tridimensional e mosaicos de ortofotos.

2.2 Procedimentos metodológicos para a elaboração do trabalho.

Os procedimentos metodológicos adotados no presente estudo foram desenvolvidos com o apoio da estrutura do Laboratório de Fotogrametria (LAFOTO), localizado no Departamento de Cartografia da UFPE. Sendo eles divididos em cinco partes, como pode ser observado na figura 01.

Figura 01- Procedimentos metodológicos para a elaboração do trabalho.

Fonte: Os autores (2018).

2.3 Objeto de Estudo.

O objeto de estudo localiza-se nas proximidades da entrada do CTG/UFPE, campus Recife (ver figura 02). O homenageado é o Dr. Manoel de Moraes Rego, fundador do Clube de Engenharia de Pernambuco, foi um dos principais nomes da engenharia brasileira, obtendo destaque nacional por fundar a Escola Livre de Engenharia, no estado de Pernambuco, uma das primeiras escolas de engenharia do Brasil.

Figura 02- Localização do objeto de estudo.

Fonte: GoogleEarth, (2018).

2.4 Procedimentos metodológicos para elaboração da reconstrução tridimensional.

Para realizar a reconstrução tridimensional do monumento foi adotada a seguinte metodologia: aquisição de imagens, medidas de campo e processamento de imagens. Essas etapas foram desenvolvidas como apresentado nos tópicos seguintes.

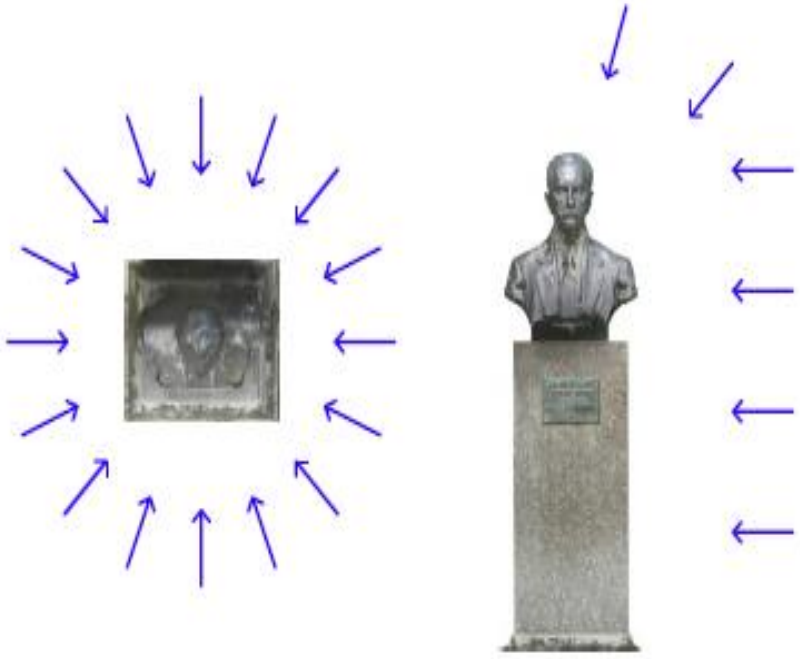
2.4.1 Aquisição das imagens

Inicialmente a câmera foi regulada para conseguir imagens de 4.608 x 3.456 pixels. Deste modo, em tese, levando-se em consideração que a câmera possui distância focal de 5mm e sensor com pixels de 1,34 x 1,34 µm, essa configuração resultaria em fotografias com altura e largura de 1,23 x 0,93 m e resolução espacial de 0,3 mm, para imagens tomadas ortogonalmente a uma distância de 1m do objeto, proporcionando excelente riqueza de detalhes.

As fotografias foram tomadas à distância aproximadas de 1 m da escultura, com a câmera em visadas ortogonal e obliqua, a fim de registrar áreas do busto que não podiam ser totalmente alcançadas por imagens ortogonais. Os pontos

de aquisição foram planejados de forma que possibilitassem o cobrimento adequado entre imagens vizinhas. Para tanto, realizou-se um conjunto de seis círculos de seções fotográficas com alturas distintas, como está ilustrado na Figura 03, resultando em 103 imagens.

Figura 03- Aquisição das imagens.

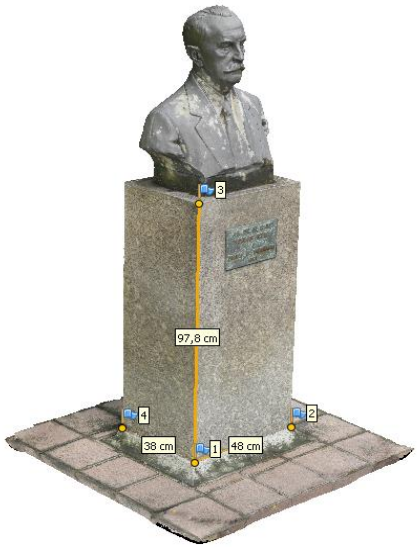


Fonte: Os autores (2018).

2.4.2 Medidas em campo

Para dar escala ao modelo e possibilitar a aferição dos resultados foram tomadas três medidas da base em granito. As medidas encontradas foram 97,8 cm, 48 cm e 38 cm, sendo altura, largura e profundidade respectivamente, como pode ser observado na Figura 04.

Figura 04 – Medidas da base em granito.



Fonte: Os autores (2018).

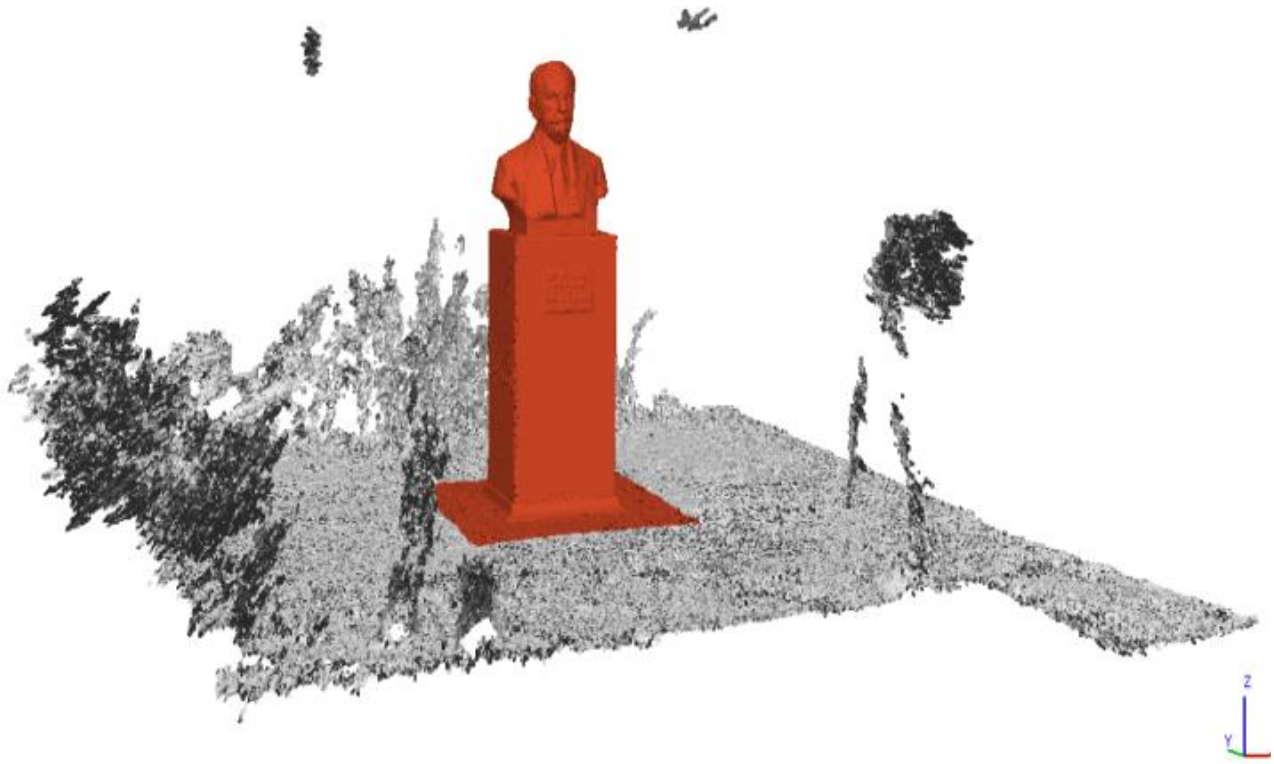
2.4.3 Processamento de imagens

Após a verificação da qualidade do imageamento, as fotografias foram carregadas no *AgisoftPhotoScan*, onde foi realizado o primeiro alinhamento de fotos, a fim de gerar uma nuvem esparsa de pontos e estabelecer os parâmetros de calibração da câmera.

Esse procedimento resultou, consequentemente, na aquisição da orientação interior da câmera, assim como permitiu a criação do sistema de referência local, com origem no ponto 1 (0,0,0), indicado na Figura 03. Os eixos do sistema de referência foram posicionados levando em conta os pontos 2, 3 e 4, cujas medidas para o ponto 1 foram tomadas em campo, resultado nos vetores V_{12}(0,48; 0; 0), V_{13}(0; 0; 0,987) e V_{14}(0; 0,38, 0).Esse procedimento teve como objetivo dar referência ao projeto, deixando-o já em escala, o que permite realizar medidas usando ferramentas do *AgisoftPhotoScan* (AGISOFT, 2017).

Também, foram criadas três barras de escalas com as medidas obtidas em campo, visando avaliar a precisão dos futuros modelos tridimensionais e ortomosaico. Em seguida, iniciou-se novo processamento para gerar nuvem esparsa de pontos e nuvem densa de pontos (Figura 05).

Figura 05- Classificação da nuvem densa de pontos.



Fonte: Os Autores (2018)..

Concluído o processamento no qual se obteve uma nuvem densa; os pontos que compunham a área de interesse receberam classificação distinta dos demais, o que possibilitou a obtenção do modelo 3D contemplando exclusivamente o objeto de trabalho. Em seguida, para dar melhor acabamento ao modelo, foi realizada a texturização da superfície 3-D e a correção de cores simultaneamente.

Finalizado o processo de obtenção do modelo 3-D, apresentado na Figura 06, foram produzidos 5 (cinco) mosaicos de ortofotos(vistas frontal, posterior, laterais e de topo do modelo 3D), os quais tiveram suas bordas retificadas digitalmente no próprio *PhotoScan*, e as áreas resultantes foram exportadas no formato JPG, as quais são apresentadas na Figura 06.

Figura 06- Mosaicos de ortofotos.

Fonte: Autores (2018).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sequência planejada para aquisição fotográfica resultou em um conjunto de 103 fotografias, que sozinhas representam uma importante documentação do monumento, proporcionando um perfeito cobrimento e sobreposição de imagens do objeto estudado, com o mínimo de nove registros do mesmo ponto do espaço-objeto, em diversos ângulos.

O processamento dessas imagens através do *AgisoftPhotoScan* gerou uma nuvem de 80.567 pontos homólogos, nuvem densa com 21.879.765 pontos e modelo 3D com 4.355.477 faces. Essas nuvens podem ser exportadas e trabalhadas em diversos aplicativos de modelagem 3-D, inclusive com a possibilidade de impressão por impressora 3D para produzir réplicas em escala reduzida do espaço-objeto.

Os ortomosaicos gerados atingiram resolução espacial de 0,35 mm, portanto compatível com a resolução inicialmente calculada, quando do planejamento do imageamento, permitindo o registro bem detalhados do objeto reconstituído.

Realizando uma análise comparativa entre as coordenadas dos pontos 1, 2, 3 e 4 obtidas em campo com as coordenadas calculadas digitalmente, contatou-se que o modelo tem excelente acurácia, haja vista o erro médio quadrático encontrado ser de apenas 1,5 mm, como resumido na Tabela 1.

Tabela 1 – Discrepância encontrada.

	Medidas de Campo			**Coord. Modelo 3D**			**Discrepância (mm)**				
Ponto	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	XY	XYZ
1	0.0	0.0	0.0	1.2	-1.6	0.3	-1.2	1.6	-0.3	2.0	2.0
2	480.0	0.0	0.0	479.6	-0.5	-0.4	0.4	0.5	0.4	0.6	0.7
3	0.0	0.0	978.0	-0.2	0.2	977.5	0.2	-0.2	0.5	0.3	0.6
4	0.0	380.0	0.0	-0.6	381.8	0.6	0.6	-1.8	-0.6	1.9	2.0
Total							0.7	1.2	0.5	1.4	1.5

Fonte: os autores (2018).

Tabela 02- Discrepância das medidas

Medidas	**Comprimento (mm)**		**Erro(mm)**
	Campo	Modelo 3D	
1_2	478.00	478.47	-1.53
1_3	980.00	977.17	-0.83
1_4	380.00	383.37	3.37
		Total	3.80

Fonte: Os autores (2018).

No que se refere à discrepância média quadrática da reprojeção dos pontos homólogos, o resultado encontrado foi de 0,578 pixel (0,175 mm), ou seja, inferior à resolução espacial do ortomosaico gerado digitalmente. Esclarece-se

que a discrepância de reprojeção é a distância entre o ponto da imagem onde um ponto 3-D reconstruído foi ortoprojetado e a projeção original desse ponto 3-D detectado no objeto-imagem, como pode ser observado na Figura 07 (AGISOFT, 2017, p. 36).

Figura 07- Reconstrução 3D do monumento.

Fonte: Os autores (2018).

Ao realizarmos uma análise comparativa entre os métodos e resultados alcançados no presente trabalho com os resultados obtidos em outro estudo denominado, Reconstrução tridimensional de formas arquitetônicos através da fotogrametria terrestre, do autor Andrade (2009), o autor em questão realizou procedimento similar fazendo uso do mesmo objeto de estudo, entretanto utilizando uma técnica e programa diferentes. Foi perceptível que no momento da realização do imageamento existe uma diferencia considerável na quantidade dos pontos de controle, onde no software *Photomodeler* foram necessários 32 pontos de controle para a obtenção de um resultado satisfatório, em relação ao software *PhotoScan* só foram necessários 4 pontos de controles para se obter uma restituição tridimensional considerada satisfatória.

Outro fator que chama atenção é a discrepância no número de fotos obtidas em campo para a geração do modelo 3D de um programa para outro, onde no *PhotoModeler*usou-se apenas 18 fotos,já no *PhotoScan*, foram utilizadas 103 fotos para a realização da reconstrução tridimensional no monumento.

No que se refere ao método de tomadas das imagens, no estudo utilizando o *PhotoScan*, as fotografias foram realizas com a câmera em visadas ortogonais e obliquas, com o objetivo de registrar todas as áreas do busto que não podiam ser totalmente alcançadas pelas imagens ortogonais. Já no trabalho utilizando o *PhotoModeler* não ocorreu a preocupação de obtenção das fotos obliquas e verticais, as imagens usadas no trabalho de Andrade (2009), foram obtidas a partir do posicionamento de forma aleatória da câmera ao entorno do monumento.

Notou-se que no trabalho realizado no *PhotoModeler* o erro está na faixa de 0 a 1 cm, já no *PhotoScan* o erro teve um total de0.2 cm, sendo assim no trabalho de Andrade (2009), que utilizou o software *PhotoModeler* obteve um melhor desempenho A modelagem aplicada no *PhotoModeler* não restituiu totalmente as curvas do objeto, o autor Andrade (2009), atribuiu esse erro a pequena quantidade de pontos de controle, entretanto os resultados do *PhotoScan* foram satisfatórios, apesar da menor quantidade de pontos de controles.

4. CONCLUSÕES

Levando em consideração a reconstrução tridimensional em ambos os programas, no *PhotoModeler* não foi possível gerar a textura fotorealística sobre uma parte do busto, como também representar uma área da parte superior do pilar. Esses erros segundo o estudo em comparação, ocorreram devido a não homogeneidade da iluminação ambiente, precisando assim aplicar uma textura de cor homogênea para gerar a representação 3D do busto, em mesmo processo no PhotoScan não ocorreu esse impasse.

Os resultados obtidos possibilitam concluir que o processamento das imagens utilizando o software *AgisoftPhotoScan* possuiu fidedignidade em análises para a reconstrução tridimensional de objetos. Ao realizar o estudo

comparativo com o trabalho de Andrade (2009), no que diz respeitos ao processamento das imagens e produção dos mosaicos resultantes de reconstrução, pode-se inferir que os resultados alcançados no presente trabalho apresentaram consistência nas medidas realizadas e qualidade nos dados gerados. Assim a modelagem aplicada utilizando o *software AgisoftPhotoScan*, demonstrou uma melhor precisão para análise com menos tempo de trabalho investido, em relação ao *PhotoModele*r.

REFERÊNCIAS

AGISOFT, PHOTOSCAN. **Tutorial**: 3D ModelreconstructionwithAgisoftPhotoScan 1.1. Disponível em: http://www.agisoft.com/pdf/PS_1.1%20-Tutorial%20(BL)%20-%203D-model.pdf. Acesso:10 de maio de 2018.

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY(ASP). **Manual ofPhotogrammetry**, 1966, 1220p.

AMORIM, A.L.; MOREIRA, D.C. **Técnicas de reconstituição e de restituição digital de fachadas em edificações históricas:**Estudos de casos. Disponível em <http://www.restaurabr.org/arc/arc04pdf/01_ArivaldoDanielAmorim.pdf>. Acesso: 15 de maio de 2018.

ANDRADE, H. J. L. F. de. Reconstrução Tridimensional de Formas Arquitetônica Através da Fotogrametria Terrestre Digital. **Monografia** (graduação em Engenharia Cartográfica)- Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009, 60f.

BORGES, A.M.L.V.B. e BORGES, P.A. PracticalApplicationsofArchitecturalPhotogrammetry. **In:**thedocumentationofhistoricalbuildingsandcities - for effectiveutilizationbyarchitects, plannersandheritagepreservationprofessionals, CIPA InternationalSymposium 1999. October 3-6, 1999.Recife/Olinda - PE – Brazil

CENTENO, J. S.; WUTKE, J. D.; KERSTING, A. P. B. **Comparação de geração de modelos tridimensionais usando laser scanner terrestre e restituição fotogramétrica monocular**. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~centeno/publications/download/2004/f013.pdf.>.Acesso: 16 de maio de 2018.

GOMES, C.J.M. ; PRADO, W.S. ; ERWES, H e KOATZ, G.D. A Photogrammetric Project in Brazil: The Use ofthePhotoModeler Software, CIPA.**In**: InternationalSymposium 1999. October 3-6, 1999.Recife/Olinda - PE – Brazil.

GROETELAARS, N. J. Um estudo da Fotogrametria Digital na documentação de formas arquitetônicas e urbanas. **Dissertação (mestrado)** – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

HANKE, K., GRUSSENMEYER, P. Architecturalphotogrammetry: basictheory,procedures, tools. Corfu: ISPRS Commission 5, 2002. 27p. Tutorial.Disponível em: <http://www.isprs.org/commission5/tutorial02/gruss/tut_gruss.pdf>.Acesso em: 20 de junho de 2018.

HEIPKE, C. **State-of-the-artof digital photogrammetric workstations for topographic.PhotogrammetricEngineering& Remote Sensing**, vol. 61, No. 01, Otawa, Canada, 1995, 49-56.

HELAVA, U. V. **Stateoftheart in digital photogrammetric workstations**. ACSM-ASPRS, AnnualConvention, vol. 2, Washington, USA, 1992, 10-18.

IBGE. **A nova realização SIRGAS – SIRGAS 2000 – Grupo de trabalho I e III**. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/geografia/seminário/sirgas/realizacao2000.html>. Acesso: 6 março2002.

TEMBA, P.C. **Fundamentos de Fotogrametria. Departamento de Cartografia.** Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG , 2000.

FOTOGRAMETRIA SUBAQUÁTICA E APLICABILIDADE NO MANUSEIO PATRIMONIAL SUBMERSO DE PERNAMBUCO

MARIANA SARAH SUICA TORRES[1]
CARLOS ALBERTO BORBA SCHULER[2]

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
suicamariana@gmail.com, cshuler@ufpe.br

RESUMO – Este artigo propõe uma reflexão acerca de uma possível aplicabilidade da fotogrametria subaquática e suas vantagens no estudo dos naufrágios existentes na costa de Pernambuco, litoral que abriga um grande número de naufrágios dos mais variados tipos, entretanto, raramente devidamente documentados. A atual realidade do manuseio do patrimônio no Brasil não permite um funcionamento adequado do mecanismo de controle e documentação e isto representa um grande problema referente à construção da história e da percepção do patrimônio cultural material brasileiro, vasto, porém desconhecido à fundo. Neste trabalho, foram analisadas 6 embarcações naufragadas a fim de, utilizando a teoria da fotogrametria subaquática, encontrar possíveis fatores que poderiam favorecer o levantamento fotogramétrico.

ABSTRACT – This article proposes a reflection about a possible applicability of underwater photogrammetry and its advantages in the study of shipwrecks at Pernambuco coast, littoral that harbors a great number of shipwrecks of different types, however, rarely documented. The current state of the Brazilian patrimonial handling does not allow a proper functioning of the control and documentation mechanism and this represents a big problem when it comes to history construction and the perceiving of the material cultural Brazilian patrimony, diverse, but deeply unknown. In this work, 6 shipwrecks were analyzed with the intent, using the theory of underwater photogrammetry, of finding possible factors that could favor the photogrammetric survey.

1 INTRODUÇÃO

Em um passado não distante, a fotogrametria, definida como a ciência responsável pela obtenção de geometria 3D através de fotografias (CHODORONEK, 2015), limitou-se a reconstruir tridimensionalmente objetos ou áreas enquadradas em suas divisões científicas, terrestre e aérea. Entretanto, com o crescimento da discussão da problemática referente a questão patrimonial, que em geral, envolve problemas referentes ao abandono patrimonial e ausência de controle e medidas práticas de preservação patrimonial, enfatizadas por Gusmão (2015), que apontou a frequência de gestões malogradas e a inacessibilidade à cultura material por parte da população, a fotogrametria tem se apresentado, segundo Drap *et al.* (2015), como uma ferramenta que possibilita um levantamento minucioso das partes visíveis do naufrágio sem impactar os objetos, com tempo hábil e alto nível de precisão.

Segundo Rambelli (2008), a percepção do patrimônio cultural não ocorre de maneira espontânea, sendo construído social e historicamente. Desta maneira, o patrimônio cultural subaquático entra em um estado de desvantagem em relação ao patrimônio existente em superfície em termos de noção de valor dado pela população, já que o ambiente aquático interfere no processo de construção desta percepção, e consequentemente, recebe menos atenção. De acordo com Liarokapis *et al.* (2017), diferentemente de áreas em zona terrestre, naufrágios não estão acessíveis ao público ou a todos os especialistas devido ao ambiente e profundidade.

A situação patrimonial atual do Brasil entra em choque com a decisão do país de se abster de voto durante a convenção da Unesco sobre a proteção do patrimônio cultural subaquático, que determinou que os estados deveriam preservar o Patrimônio Cultural Subaquático e agir coordenadamente entre Estados, organizações internacionais, instituições científicas, organizações profissionais, especialistas e o público em geral, apontando, inclusive, os avanços tecnológicos como ferramentas de descoberta do patrimônio cultural submerso e seu respectivo acesso (UNESCO, 2001). Nesta convenção, 87 países votaram a favor, 4 contra e 15 se abstiveram do voto, incluindo o Brasil. Segundo Bo (2003), o principal ponto de discórdia entre os países girou em torno da jurisdição do patrimônio subaquático, principalmente em

relação ao patrimônio situado na costa continental, onde Estados costeiros tencionaram assumir papel primordial na coordenação do controle das atividades relacionadas ao patrimônio.

Desde a convenção não ratificada pelo Brasil, o turismo alavancou o lado comercial do mergulho, tornando os naufrágios propositais realidade no país, contrariando os ideais da convenção que estabeleciam que o turismo submerso deveria ser a última opção de manuseio do patrimônio (UNESCO, 2001).

No estado de Pernambuco, atualmente há 36 navios submersos explorados no turismo de aventura, incluindo quatro rebocadores afundados intencionalmente (Diário de Pernambuco, 2018). Galamba (2009) aponta mais de 70 embarcações registradas somente em Recife, cidade conhecida nacionalmente como a capital dos naufrágios. Rios *et al.* (2014) afirmam que o estado apresenta uma posição geográfica privilegiada, e no que se refere a distribuição dos sítios de naufrágio no estado, apresenta uma forte diversidade, tanto batimétrica quanto tipológica, com uma variação de profundidade de 12 a 57 metros. A profundidade é um fator relativamente limitante para o levantamento fotogramétrico submerso, já que o mergulho em profundidades acima de 50 metros representa um mergulho técnico, onde devido ao custo financeiro somente 20.000 mergulhadores estão credenciados para este tipo de mergulho no Brasil (RIOS *et. al*, 2014).

O tempo é um agente incisivo de destruição, considerando que elementos químicos, físicos e biológicos estão presentes constantemente no ambiente marinho. Teague e Scott (2017) afirmam que a monitoração nestes ambientes é um processo constante de evolução e apresentam a reconstrução em 3D como um relevante avanço tecnológico. A documentação através da fotogrametria possibilita estudos com acurácia de objetos submersos. Merlo e Konrad (2015) apresentam a importância da documentação, relacionando o ato de documentar com a essência da memória da sociedade.

Nesse contexto, o presente artigo propõe um estudo, utilizando os princípios da fotogrametria, da aplicabilidade da fotogrametria subaquática na costa da cidade do Recife, levando em consideração aspectos como a luminosidade, localização, profundidade e a necessidade ou não de mergulho técnico.

2 ESTADO LEGAL DO MANUSEIO PATRIMONIAL BRASILEIRO

A constituição de 1937 demonstra, no artigo 134, a responsabilidade do poder público quanto à importância dos bens culturais e históricos, direcionando a responsabilidade à União, estados e municípios (BRASIL, 1937). Legalmente, existem duas categorias de patrimônio arqueológico no Brasil, emerso, regido pela lei 3.924/61, que atribui ao Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, IPHAN, a de controle do patrimônio cultural nacional e o submerso, instituído pela lei 7.542/86, que dispõe sobre a pesquisa, exploração, remoção e demolição de coisas ou bens afundados, submersos, encalhados e perdidos em águas sob jurisdição nacional e direciona a responsabilidade de tais bens para a Marinha do Brasil. Posteriormente, em 2000, foi instituída a lei de Nº 10.166 que altera a lei 7.542/86, fazendo mudanças referentes ao manuseio patrimonial (BRASIL, 2000).

Sítios de naufrágio, de mesma maneira que outros sítios submersos, são considerados patrimônio cultural subaquático, e Rambelli (2008), a distinção entre as leis que regem os patrimônios emersos e submersos gera uma dualidade que traz consequências jurídicas e relevantes distinções operacionais. Em 2008, o PLC 45/2008 preencheu as lacunas existentes da lei de 1986 referentes à destinação final dos bens submersos, que passam a ser posse da União. Estabeleceu-se também, a partir deste PLC, a distribuição de tarefas para entes públicos dentro de suas respectivas áreas de atuação, dando ao IPHAN a tarefa da fiscalização do patrimônio brasileiro (MATHUIY, 2012). Entretanto, o Instituto nacional do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional não se encontra em bom estado de funcionamento. Em janeiro de 2018, o órgão entra em uma das mais graves crises da história, com 516 atribuições profissionais vagas (GAZETA DO POVO, 2018). Isto representa, na prática, a impossibilidade do órgão de atuar de maneira funcional em relação aos bens patrimoniais materiais sob a responsabilidade da instituição.

3 FOTOGRAMETRIA SUBAQUÁTICA

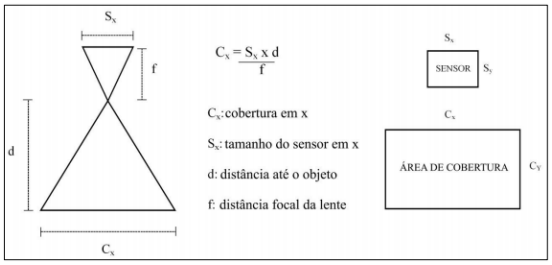
Com o desenvolvimento da tecnologia, de computadores e softwares de processamentos de dados e imagens espaciais, além do crescimento notório na aplicabilidade da fotogrametria aérea e terrestre, cresce também a ideia de aplicar conceitos e práticas fotogramétricas para estudos do patrimônio cultural em objetos submersos. Para Anelli *et al.* (2017), a fotogrametria representa uma ferramenta não destrutiva e de bom custo-benefício para ações de monitoramento, entretanto, esta aplicação em ambientes submersos se encontra em estágio inicial. Segundo Baletti *et al* (2015), levantamentos realizados em ambiente submerso necessitam de técnicas específicas, e para Torres *et al* (2013), são elementos necessários para um levantamento efetivo a qualidade das fotografias, com uma boa escolha de câmaras, lentes e luzes artificiais.

Utilizando uma boa base da fotogrametria terrestre, são os obstáculos que configuram o diferencial da fotogrametria subaquática, além do ambiente marinho. Na fotogrametria terrestre ou de curta-distância, muitas vezes os problemas para obtenção das fotos são causados pela existência de edificações, trânsito de veículos e pessoas. Zhukovsky *et al.* (2013) *apud* Torres *et al.* (2017) enfatizam que uma aproximação maior do objeto gera menos distorção óptica e menos interferência causada por partículas em suspensão. Outro aspecto relevante para as reconstruções fotogramétricas é a sobreposição entre as imagens. Tipicamente utiliza-se uma sobreposição de 60 a 80% entre imagens consecutivas, de modo em que existam pontos em comum entre a sequência de fotografias. (TORRES *et al.*, 2013)

Através da obtenção de fotografias de, pelo menos, duas perspectivas diferentes, chamadas "linhas de visão", este método é, em ambiente marinho, consideravelmente mais simples em comparação a outros métodos existentes, apresentando diversidade de resultados, tais como ortofotografias e restituição vetorial, a partir de uma maneira bem semelhante à fotogrametria terrestre na obtenção de fotos, diferindo, principalmente, nos obstáculos enfrentados, a exemplo da turbidez da água e a existência de partículas (TEAGUE E SCOTT, 2017). Diferentemente da fotogrametria aérea, que se foca particularmente no estudo de áreas, tanto a fotogrametria terrestre quanto a fotogrametria subaquática tem foco em objetos. De acordo com Cooper e Robson (1996) *apud* Calado e Schuler (2010), a fotogrametria de curta-distância é responsável pela reconstrução de superfícies de objetos cuja distância entre ele e a câmara seja inferior a 100 metros. Tendo sido utilizada por Casabán *et al.* e Torres *et al.* (2017) para o mapeamento de naufrágios, é a promessa para levantamento fotogramétrico e documentação patrimonial trazida pelo avanço da tecnologia por via do desenvolvimento de computadores, processadores e câmaras. Segundo Teague e Scott (2017), monitorar o ambiente marinho é um campo em infinito processo de evolução de métodos e técnicas, sendo a fotogrametria um dos últimos avanços na gravação e quantificação de dados. A morfologia de objetos submersos ganha, através da fotogrametria, uma nova perspectiva. Através de processos fotogramétricos em ambientes submersos, Modelos Digitais do Terreno (MDT), Modelos Digitais de Superfície (MDS) e ortofotos podem ser gerados, como visto em Anelli *et al*. (2017).

Câmaras modernas, além de alta resolução, permitem uma série de configurações. Em ambientes subaquáticos, existem desafios óticos e de iluminação que podem ser resolvidos de uma maneira mais eficaz com um controle manual da exposição. Para Silva *et al.* (2007), a relação matemática entre o objeto e a imagem é conhecida como o princípio da colinearidade, pelo qual o centro de perspectiva da imagem, um dado ponto da imagem e o ponto correspondente do objeto do mundo são colineares, compreendendo seis graus de liberdade da câmara, 3 translações e 3 rotações, que permitem estabelecer a posição dos pontos na imagem 2D em um sistema de coordenadas 3D que descreve o mundo correspondente, sendo necessária uma mesma calibração para todas as diferentes imagens para possibilitar uma solução para o problema das ambiguidades que as imagens em 2D não conseguem resolver e que dependem das informações fornecidas por imagens do mesmo espaço. São pré-requisitos para um levantamento fotogramétrico: Calibração, resolução semelhante, posição fixa no momento de obtenção das fotografias e o cálculo da área de cobertura de cada fotografia em função do tipo de câmara (sensor), lente (distância focal) e distanciamento do mergulhador ao objeto, cálculo este demonstrado por Torres *et al*. (2013) na Figura 1.

Figura 1 – Cálculo referente à área de cobertura



Fonte: Torres *et al.* (2013)

A primeira geração de câmaras digitais abrigava severos defeitos relacionados à distorção, especialmente em Z, o que implicava em significante distorção em altura (AGIV *et al.*, 2008). Devido ao leve peso e alta resolução de imagem, câmaras digitais de ação atuais têm provado diferentes vantagens para os propósitos fotogramétricos. Câmaras GoPro, um dos modelos mais vendidos da atualidade, são à prova d'água até 40 metros de profundidade, representando a possibilidade de uma grande vantagem em estudos submersos, entretanto, são equipadas com lentes do tipo *fish-eye*, que apesar de apresentarem excelente qualidade de imagem geram considerável distorção, exigindo uma efetiva calibração.

3.1 DESAFIOS TRAZIDOS PELO AMBIENTE AQUÁTICO

Embora o princípio da fotogrametria subaquática não seja diferente da fotogrametria terrestre, é necessário levar em consideração certos elementos que possam causar perturbação, como a refração da luz e a presença de sombras (Butler *et al*., 2002 *apud* Drap 2012). Para Drap (2012), a turbidez da água e a presença de partículas suspensas força o operador a trabalhar em grande escala, perto do objeto, entre 0.5 e 3 metros, a depender da qualidade da água.

A depender da extensão no navio e do estado do navio, um grande número de fotografias pode ser necessário. Segundo a National Geographic (2018), ao mapear um navio, centenas de fotografias são obtidas para compor o mosaico dos destroços no mar. A depender da profundidade, a locomoção pode ser um problema.

A questão da profundidade e localização geográfica são fatores relevantes ao pensar em fotogrametria subaquática. Mergulhos acima de 50 metros são considerados mergulhos técnicos, com maior risco de segurança e pouquíssimos profissionais certificados para este tipo de mergulho, apenas 20.000 em todo o território nacional, devido ao alto custo (Rios *et al.*, 2014). Segundo Drap (2012), devido à localização em mar aberto, onde inúmeros fatores como a baixa temperatura, escuridão e baixo oxigênio ajudam a manutenção estrutural do naufrágio, a maioria deles nunca será experienciada pelos especialistas ou público geral.

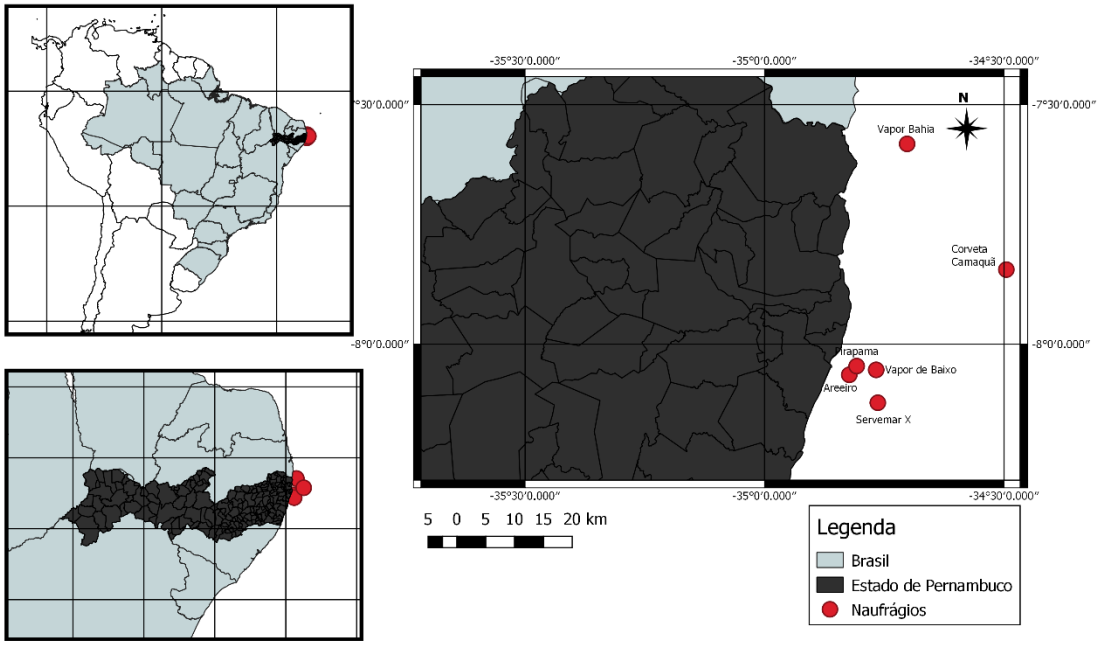
4 METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho envolveu inicialmente uma revisão de literatura, de onde uma amostra de 6 navios situados na costa do estado de Pernambuco foi selecionada para uma análise de localização, profundidade, estado atual do navio e necessidade de mergulho técnico. Através da revisão de literatura, foram obtidas as coordenadas dos naufrágios em SAD-69, e para melhor visualização de proximidade, foi confeccionado um mapa de situação. Para isto, foi realizada a conversão das coordenadas do *datum* SAD-69 para o SIRGAS2000.

4.1 Áreas de Estudo

Foram selecionados os naufrágios Vapor Bahia, Pirapama, Areeiro, Servemar X, Vapor de Baixo e Corveta Camaquã, todos situados na costa de Pernambuco, afundados em variadas épocas e por diferentes razões. A Figura 2 mostra o mapa de localização dos naufrágios:

Figura 2 – Mapa de localização dos naufrágios na costa de Pernambuco

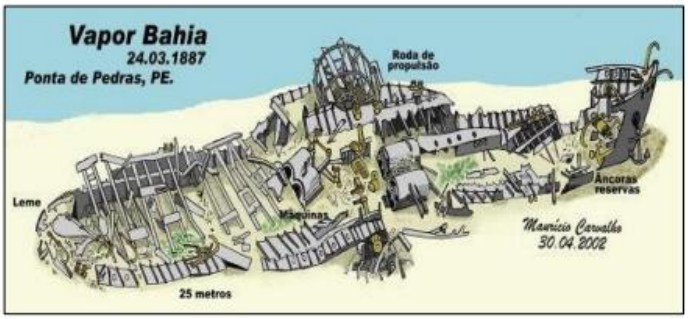


Fonte: Autores (2018)

4.1.1 Vapor Bahia

Localizado no município de Goiana-PE, a cerca de 6 milhas da costa e a uma profundidade de 25 metros, o naufrágio ocorreu a 127 anos, após entrar em choque com o Vapor Pirapama, da Companhia Pernambucana de Navegação por Vapor. De origem inglesa, possui, originalmente, 74 metros de comprimento e não se encontra cadastrado no IPHAN. Possui grande potencial arqueológico, porém poucos dados disponíveis devido à ausência de documentação (BARBOSA, 2014). A figura 3 mostra o croqui do Vapor Bahia:

Figura 3: Croqui do Vapor Bahia



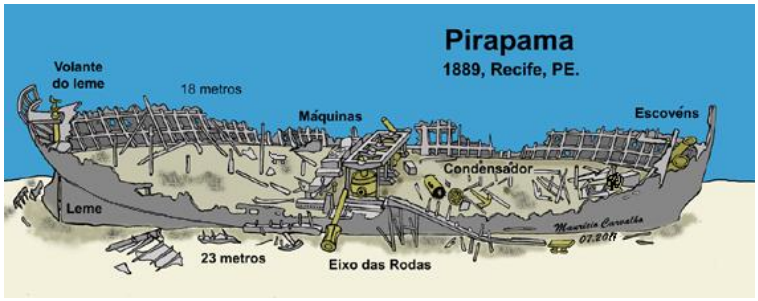
Fonte: Maurício Carvalho (2002) *apud* Barbosa (2014) - Adaptado

4.1.2 Vapor Pirapama

O naufrágio Pirapama é um dos dez naufrágios mais conhecidos do Brasil, situado a apenas seis milhas náuticas (11,112 km) da costa, em uma profundidade que varia de 19 a 23 metros (Sinau *apud* Ferreira *et al*., 2017). Segundo Tavares e Souza (2015), foi trazido da Inglaterra pela CPNCV, passando a operar em 04 de junho de 1867, e normalmente realizava atividades relacionadas ao comércio marítimo entre as regiões Norte e Nordeste e, por vezes, dirigia-se as regiões Sul e Sudeste, efetuando operações de transporte de cargas, além de pessoas e dinheiro

Segundo Carvalho (2007), o navio encontra-se desmantelado e semi-inteiro. A Figura 4 representa o croqui do Vapor Pirapama:

Figura 4 – Croqui do Vapor Pirapama

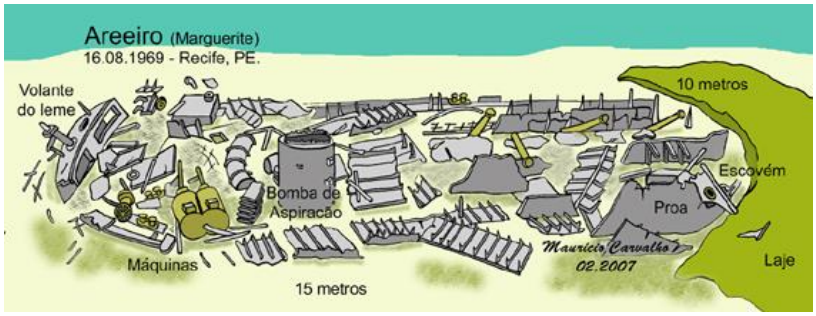


Fonte: Carvalho (2007)

4.1.3 Areeiro

O navio submergiu em frente à entrada do porto do Recife, a 2,5 milhas, estando localizado a apenas 12 metros de profundidade, apresentando condições favoráveis de visibilidade principalmente de dezembro a abril. Costumava ser uma embarcação de ferro utilizada para o transporte de areia e lama retirada do porto de Recife (Santos *et al*., 2011). Encontra-se atualmente inteiro e semi-inteiro (Carvalho, 2007). A figura 5 mostra o croqui do Areeiro, também conhecido como Marguerite:

Figura 5 – Croqui do Areeiro

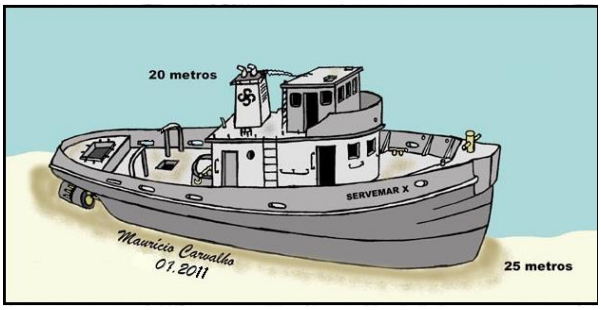


Fonte: Carvalho (2007)

4.1.4 Servemar X

Foi afundado em 2002, a 7,5 milhas da costa, em frente a praia de Boa Viagem, Recife-PE. Possui 18 metros de comprimento e se encontra a 25 metros de profundidade, tendo sido um naufrágio intencional com o intuito de se tornar um recife artificial (SANTOS *et al.*, 2010). Segundo Carvalho (2011), se encontra inteiro, como se pode ver no croqui expresso na figura 6:

Figura 6 – Croqui do Servemar X

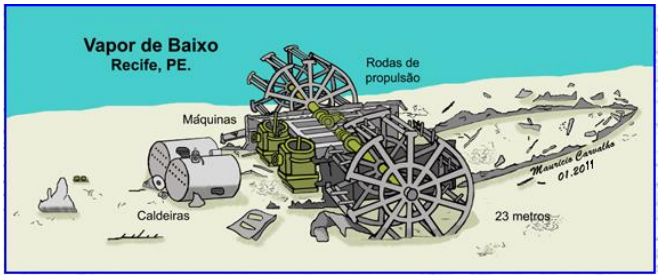


Fonte: Carvalho (2011)

4.1.5 Vapor de Baixo

Localizado em frente à praia de Olinda, a 08 milhas do porto do Recife, se encontra afundado à aproximadamente 21 metros de profundidade, sendo um dos naufrágios mais antigos do litoral pernambucano (Santos et. al, 2010). Se encontra desmantelado (CARVALHO, 2011). A Figura 7 mostra o croqui do Vapor de Baixo:

Figura 7 – Croqui do Vapor de Baixo

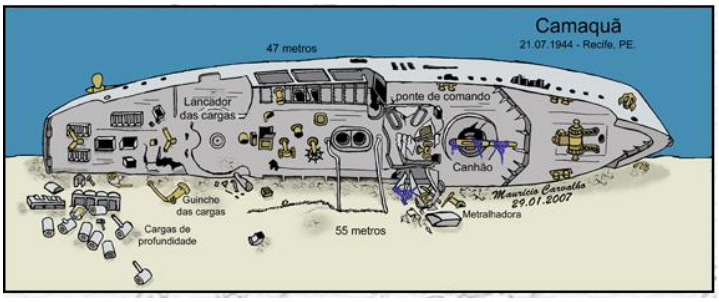


Fonte: Carvalho (2011)

4.1.6 Corveta Camaquã

Podendo ser considerada um santuário de heróis da segunda guerra mundial, a corveta se encontra situada a 57 metros, com visibilidade variando entre 20 e 50 metros (RIOS *et al.*, 2014). Se encontra inteira, como representa o croqui da Figura 8:

Figura 8 – Croqui da Corveta Camaquã



Fonte: Carvalho (2011)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os navios apresentaram diferentes profundidades, sendo o areeiro o navio com localização menos profunda (12 metros) e o Corveta Camaquã o navio situado a maior profundidade, 57 metros, sendo também o mais distante da costa e o único que apresentou a necessidade de mergulho técnico (Figura 9). Alguns naufrágios apresentaram boa estrutura física, como o Areeiro, Servemar X, e a Corveta Camaquã, e outros se encontram parcialmente ou quase destruídos por completo, como o Vapor Bahia, o Pirapama e o Vapor de Baixo, que é o naufrágio que se encontra em pior situação.

Figura 9 – Tabela de características dos navios

Naufrágio	Profundidade (m)	Distancia da costa (milhas)	Necessidade de Mergulho Técnico
Pirapama	23,0	6,0	Não
Vapor Bahia	26,0	6,0	Não
Areeiro	12,0	2,5	Não
Vapor de baixo	21,0	8,0	Não
Corveta Camaquã	57,0	27,0	Sim
Servemar X	25,0	7,5	Não

Fonte: Autores (2018)

Embora os naufrágios estejam sob a tutela da Marinha, responsável legal pelo patrimônio subaquático, ficou demonstrado que parte da responsabilidade de fiscalização foi entregue ao IPHAN, que se situa em estado de crise e impedido de funcionar de maneira adequada devido à falta de pessoal especializado. Nenhum registro do Iphan foi encontrado, e a dificuldade de encontrar documentação própria e feita por profissionais especializados é enorme, como visto em Barbosa, 2014.

6 CONCLUSÃO

A realidade patrimonial no Brasil entra em choque com a omissão do país na convenção da Unesco que se tratava do patrimônio cultural subaquático, que ditava que o turismo submerso deveria ser a última opção de exploração. Hoje, no estado de Pernambuco, já existem navios afundados propositalmente, a exemplo do Servemar X, enquanto muitos naufrágios históricos continuam sem nenhum tipo de documentação básica necessária, prejudicando inclusive pesquisas multidisciplinares focadas nestes objetos submersos. A situação entre Marinha e IPHAN demonstrou-se problemática pois percebeu-se uma confusão entre manuseio e tutela, onde legalmente, os naufrágios estão bem cobertos, mas na prática, falta gestão apropriada.

A revisão bibliográfica demonstrou que Pernambuco possui inúmeros navios situados em localizações acessíveis da costa, não ultrapassando 5 milhas, além de navios afundados nas mais diversas profundidades, apresentando inclusive um a apenas 12 metros de profundidade. Dos 6 navios escolhidos, 3 mostraram-se em bom estado de conservação e 3 em estado precário. Isto pode representar uma perda próxima e iminente de dados, considerando que objetos submersos estão sujeitos à degradação biológica, física e química constantemente. A fotogrametria como ferramenta para documentação patrimonial demonstra-se eficiente, proporcionando acurácia, e no contexto submerso pode representar uma evolução gigante na preservação da memória destes naufrágios que contam diversas histórias.

Percebeu-se, com este estudo, que a maioria dos naufrágios analisados não exigem certificação técnica para o mergulho, além de estarem situados a baixa profundidade, o que torna o patrimônio submerso mais acessível a especialistas interessados.

REFERÊNCIAS

AGIV, G.; KISSIYAR, O.; VANDERSTRAETE, T.; KROON, R.; VERBEKE, B. **Digital cameras for a photogrammetric production environment: A test of the geometric stability and accuracy.** Gent, 2008.

ANELLI, M. JULITTA, T. FALLATI, L. GALLI, P. ROSSINI, M. COLOMBO, R. **Towards new applications of underwater photogrammetry for investigating coral reef morphology and habitat complexity in the Myeik Archipelago, Myanmar.** Geocarto International, 2017.

BALLETI, C. BELTRAME, C. COSTA, E. GUERRA, F. VERNIER, P. **Underwater Photogrammetry and 3D reconstruction of Marble Cargos Shipwreck.** Workshop ISPRS, Piano di Sorento, 2015.

BARBOSA, M.S. **Desvendando o naufrágio do Vapor Bahia, PE, Brasil (1887): O olhar da arqueologia subaquática.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, 2014.

BO, J.B.L. **Proteção do Patrimônio na UNESCO: ações e significados**. Unesco Brasil, 2003.

BRASIL. **Constituição Federal de 1937.** Disponível em: <https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/92067/constituicao-dos-estados-unidos-do-brasil-37#art-134>. Acesso: 20 de agosto de 2018.

_____.; **Lei Nº 10.166 de 10 de dezembro de 2000.** Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L10166.htm>. Acesso: 20 de agosto de 2018.

CALADO, L. SCHULER, C.A.B. **Uma imagem, Duas cores, Três dimensões: Registro e Visualização de imagens georreferenciadas de fachadas e altares de igrejas de Olinda dos séculos XVI a XIX.** II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física. Universidade de Coimbra, 2010.

CARVALHO, M. **Naufrágios do Brasil**. Disponível em: <www.naufragiosdobrasil.com.br>. Acesso: 18 de Agosto de 2018.

CASABÁN, J.L. ROSSI, I.R. YAMAFUNE, K. CASTRO, F. **Underwater Photogrammetry and Applications: The Gnalic shipwreck, 2013.** DOI: 10.13140. 2014.

CHODORONEK, M. **The Use and Application of Photogrammetry for the In-field Documentation of Archaeological Features: Three Case Studies from the Great Plains and Southeastern Alaska.** Dissertação de Mestrado. Lincoln: Universidade de Nebraska, 2015.

DIÁRIO DE PERNAMBUCO. **O paraíso dos naufrágios.** Disponível em: <http://www.diariodepernambuco.com.br/app/noticia/vida-urbana/2018/02/24/interna_vidaurbana,742846/o-paraiso-dos-naufragios.shtml>. Acesso em: 19 de agosto de 2018.

DRAP, P. **Underwater Photogrammetry for Archaeology**. Special Applications of Photogrammetry. DI: 10.5772/33999, 2012.

DRAP, P. MERAD, D. HIJAZI, B. GAOUA, L. NAWAF, M.M. SACCONE, M. CHEMISKY, B. SEINTURIER, J. SOURISSEAU, J.C. GABIN, T. CASTRO, F. **Underwater Photogrammetry and Object Modelling: A case study of Xlendi Wreck in Malta.** Sensors, V. 15, 2015.

FERREIRA, I.C. SILVA, J.J.S. NASCIMENTO, E.S. RIOS, C. **Vapor Pirapama: Uma perspectiva museológica.** Revista Noctua, V.2, p. 84-94, 2017.

GAZETA DO POVO. **Colapso do IPHAN põe em risco patrimônio histórico do país.** Disponível em: < https://www.gazetadopovo.com.br/haus/estilo-cultura/colapso-do-iphan-poe-em-risco-patrimonio-historico-do-pais-2/>. Acesso: 16 de agosto de 2018.

GUSMÃO, D.M. **Tendências contemporâneas da arqueologia pública x patrimônio cultural subaquático.** Revista Arqueologia Pública, V.9, p. 72-86, 2015.

GALAMBA, J. **Procedimentos de normas para gestão de um mergulho sustentável fundamentado em educação ambiental**. Dissertação de Mestrado. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

LIAROKAPIS, F. KOURIL, P. AGRAFIOTIS, P. DEMESTICHA, S. CHMELIK, J. SKARLATOS, D. **3D Modelling and mapping for virtual exploration of underwater archaeology assets.** The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, V. 42, p. 425-431, 2017.

MATHUIY, F.H. **Patrimônio Cultural Subaquático.** Brasília, 2012. Disponível em: < http://www.senado.leg.br/comissoes/CE/AP/AP20121122_FlavioHaruoMathuiy.pdf>. Acesso em 15 de Agosto de 2018.

MERLO, F. KONRAD, G.V.R. **Documento, História e Memória: A importância da preservação do patrimônio documental para o acesso à informação.** Revista Informação & Informação, V. 20, p 26-42, 2015.

NATIONAL GEOGRAPHIC. Há novos mapas nos mares dos Açores. Disponível em: <https://nationalgeographic..pt/historia/grandes-reportagens/1328-naufragios-nos-mares-dos-acores-podem-virar-atraccao-turistica?showall=1>. Acesso: 20 de Agosto de 2018.

RAMBELLI, G. **O abandono do patrimônio arqueológico subaquático no Brasil. Um problema para a arqueologia brasileira.** Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia, V. 7, p.177-180, 1997.

_____.; **Entre o uso social e o abuso comercial: As percepções do patrimônio cultural subaquático no Brasil.** Revista História, V.27, p. 49-74, 2008.

RIOS, C. HÜTHER, A.F.M, LINS, L.B. MOURA, E.H.S. **Arqueoturismo na Corveta Camaquã: Um museu em mar aberto.** Fumdhamentos, V. 11, p. 134-145, 2014.

SANTOS, A.A. BARROS, G.B. ANDRADE, M.R. SALES, P.A.G. **A divulgação deficiente do naufrágio na cidade do Recife, Pernambuco.** Revista Nordestina de Ecoturismo, Aquidabã, V.3, 2010.

SILVA, M.V.G. TRANJAN, I.S.S. NOGUEIRA, A.A.M**. Estudo de soluções para visualização e simulações de projetos em virtual heritage.** Graphica, 2007.

TAVARES, A.A.C. SOUZA, C.C.R. **Estudos das causas dos naufrágios em Pernambuco pertencentes à companhia pernambucana de navegação costeira por vapor (1854-1908).** CLIO – Revista de Pesquisa Histórica, p. 149-156, 2015.

TEAGUE, J. SCOTT, T. **Underwater photogrammetry and 3D reconstruction of submerged objects in shallow environments by ROV and underwater GPS.** Journal of Marine Research and Technology 1:005, 2017.

TORRES, R. YAMAFUNE, K. CASTRO, F. FERREIRA, S. **Mapeando em profundidade: A integração de técnicas digitais para a pesquisa arqueológica de sítios de naufrágios históricos.** Revista Vestígios, V. 11, p. 105-134, 2017.

UNESCO. **Convenção sobre a proteção do patrimônio cultural subaquático**. Paris, 2001. Disponível em: < http://www.unesco.org/culture/por/heritage/laws/conv_patsubaqu_portu.pdf>. Acesso: 20 de Agosto de 2018.

VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO COM A AMPLIAÇÃO OU REDUÇÃO DE FOTOGRAFIAS DIGITAIS PROCESSADAS EM PIXELS OU MILÍMETROS

DANIEL CARNEIRO DA SILVA 1

RONYCLEISSON VIANA DE ANDRADE 2

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
1 carneirodasilvadanielcs@gmail.com, 2 ronyv.andrade@gmail.com

RESUMO – A calibração de câmeras é uma etapa fundamental do processamento fotogramétrico, que exige procedimentos muito rigorosos desde o campo de calibração, softwares apropriados até a análise dos resultados. Porém atualmente já estão sendo disponibilizados processos de calibrações com simples figuras impressas, softwares livres e auto calibrações em softwares de mapeamento com Vant ou Drones, que muitas vezes fornecem parâmetros incompatíveis com outro software, o que pode exigir uma nova calibração, certas conversões de sinais ou cálculos adicionais. Este artigo apresenta resultados práticos que foram obtidos quando houve a necessidade conversão dos dados originais de calibração de câmera para torná-los compatíveis com outros programas de processamento ou quando houve ampliação ou redução da escala das imagens. São mostradas e discutidas funções empíricas que relacionam os parâmetros de distorções das imagens quando é alterada a proporção distância focal e ângulo de abertura da câmera.

ABSTRACT - The camera calibration is a fundamental step of photogrammetric processing, which requires very strict procedures including calibration field, appropriate software and analysis of the results. However, calibration processes with simple printed figures, free software and auto calibrations are now being made available in UAR or Drone mapping software, which can often generate parameters incompatible with other software, which may require a new calibration, certain signal conversions or additional calculations. This article presents practical results that were obtained when it was necessary to convert the original calibration data of the camera to make it compatible with other processing programs or when there was an enlargement or reduction of the scale of the images. Empirical functions that relate distortion parameters of images are shown and discussed when the scale of the image is changed.

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento dos parâmetros de calibração das câmeras usadas é requisito fundamental do processamento fotogramétrico, que constituem os primeiros dados de entrada nos softwares fotogramétricos. A calibração pode ser efetuada por vários métodos, que incluem procedimentos muito rigorosos (aparatos medição precisos, campos de calibração, softwares apropriados, análise dos resultados) sendo classificada como operação especializada. No entanto atualmente estão sendo disponibilizados outros recursos, acessíveis à maior número de usuários da fotogrametria aérea e terrestre, que empregam câmeras fotográficas digitais comuns de pequeno formato. Incluem-se nessa disponibilidade os softwares como o APS®, Pix4D®, Agisoft®, Ensomosaic®, etc, que processam imagens obtidos de Vant, ou Drones, que podem executar a auto calibração com as próprias imagens do voo. Também existe a disponibilidade de calibrações quase automáticas com softwares livres e imagens tomadas de simples painéis impressos com padrões de círculos ou retângulos.

Uma característica geral observada em todos os processos de calibração é que foram desenvolvidos para certos tipos de câmeras e certas aplicações em softwares específicos; e quando surge a necessidade de adaptação dos dados, de um ambiente de trabalho para outro, surgem incompatibilidades. Considerando apenas os processos de calibração que adotam os modelos tradicionais de distorções radias das lentes, distorções descentradas e parâmetros da afinidade, são observadas diversas e significativas diferenças entre os parâmetros fornecidos ou obtidos pelos diferentes softwares. Em alguns casos é possível identificar a diferença e proceder com a conversão, em outros, não. Por exemplo, os parâmetros de calibração obtidos com o software Fotter (SILVA, 1995) têm sinais trocados com os resultados de calibração com o

software Photomodeler® e o primeiro relaciona as coordenadas do PP (Ponto Principal) ao centro fiducial e o segundo ao canto superior esquerdo.

Neste artigo o tópico abordado é a possibilidade de serem definidos, sem novo ajustamento, os novos parâmetros de calibração com a alteração da distância focal em mesma proporção da largura ou altura da imagem digital, quando ocorre a ampliação ou redução da fotografia. Essa possibilidade foi notada durante ajustamentos de calibrações realizados pelo autor, cujos dados de entrada estavam inicialmente em milímetro, que é a forma mais comum de calibração, e depois também com entrada das observações em pixels. No segundo ajustamento foi necessário apenas alterar o valor inicial de f em proporção à largura da imagem em pixel, a partir dos dados nominais do modelo da câmera fornecidos pelo fabricante. Ainda em outra situação houve a necessidade de reduzir fotografia de grande formato para dimensões de pequeno formato compatível com software de processamento de Drone e o método aqui apresentado foi a solução apropriada.

Neste artigo será apresentada uma breve revisão dos modelos das distorções em imagens digitais, e em seguida os resultados de processamentos, em simulações de ampliação e redução obtidas com alterações do valor do pixel e distância focal, que revelaram a existência de em relações bem definidas para cada parâmetro de distorção.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Parâmetros de calibração

Os parâmetros mais comuns que definem toda a geometria e distorções de imagens digitais, incluídos nos relatórios de calibração, para fins deste artigo, podem ser separados em grupos que facilitarão as análises. O grupo 1: da distância focal f, coordenadas do PP (Ponto Principal) xo, yo; e formato W, H, largura e altura respectivamente; grupo 2, das distorções radiais simétricas K_1, K_2 e K_3; grupo 3, da distorção descentrada P_1e P_2; e grupo 4 dos parâmetros de afinidade A e B. Os parâmetros do grupo 4 são os que apresentam maiores diferenças entre os softwares.

É fundamental lembrar que todos os parâmetros de calibração listados nos relatórios de processamento são válidos apenas para as unidades das coordenadas da imagem, em pixels ou milímetros, e com determinada distância focal e formato (largura, altura). Havendo qualquer alteração de escala (ampliação ou redução) ou mudança de unidades (pixel ou milímetro) todos os parâmetros são também alterados.

2.2 Características principais de cada grupo de parâmetros de calibração

2.2.1 Grupo 1

Neste grupo os parâmetros de calibração são a distância focal f, as coordenadas do PP (Ponto Principal) xo, yo; e o formato W (largura) H (altura). A distância focal inicial informada nos algoritmos de calibração é a nominal dada pelo fabricante ou retirada do arquivo EXIF das imagens. O formato da imagem e a distância focal definem o ângulo de abertura da câmera (φ na figura 1a). Sendo fixado o ângulo φ a distância focal pode variar proporcionalmente com a largura, como f1 e W1 ou f2 com W2 (Figura 1a), que é o que ocorre quando uma fotografia é ampliada ou reduzida, ou quando se muda a unidade de medida de pixel para métrica. Na Figura 1b são mostradas as relações entre o sistema de coordenadas fotogramétrico x,y projetado no plano da imagem, com origem no centro do cruzamento das diagonais da imagem; e o sistema Colunas Linhas, com origem no canto superior esquerdo da imagem. Os dois sistemas são empregados em softwares de calibração.

Figura 1 – a) Proporções da distância focal com a largura da imagem para o ângulo de visada φ. b) Sistema de coordenadas da imagem x,y no centro e coordenadas em pixel, Colunas, Linhas, no canto superior esquerdo

a) b)

.

A distância obtida na calibração é a distância focal gaussiana, que pode ser alterada com o objetivo de balancear as distorções radiais, sendo assim obtida a distância focal calibrada (ANDRADE, 1998), porém o termo mais comum é o último. Essa alteração de distância focal gaussiana para calibrada se refere apenas ao ajuste, normalmente pequeno, daquela dimensão, enquanto as dimensões de largura e altura permanecem inalteradas.

2.2.2 Grupo 2

A distorção radial corresponde à aberração das lentes estudadas por Seidel e modelada por Conrady (ANDRADE, 1998, GRUEN& HUANG, 2001). Essa distorção δr varia com a distância focal e é simétrica a partir do centro da imagem, sendo modelada por um polinômio segundo a equação 1:

$$\delta r = k_1 r^3 + k_2 r^5 + k_3 r^7 + \cdots \quad (1)$$

sendo: $r = ((x - x_o)^2 + (y - y_o)^2)^{1/2}$, o raio, ou distância do centro da imagem ao ponto.
xo, yo, as coordenadas do Ponto Principal em relação ao centro fiducial.
ki (i=1,2,3,..n), são os coeficientes da distorção radial.

Os termos k variam normalmente de 1 a 3, mas para câmeras com lente super grande angular podem ser necessários mais termos (GRUEN& HUANG, 2001). O uso de cada termo depende da sua importância na definição da forma da curva de distorção e em qualquer caso é necessário verificar se tem valor significativo (SILVA,1995).

A distorção radial é altamente correlacionada com a distância focal. E, conforme citado acima, a distância obtida incialmente na calibração é a gaussiana que pode sofrer pequenas alterações de modo que as distorções radiais máximas negativas positivas fiquem iguais. Este procedimento inicialmente usa um gráfico, com r (raios) no eixo das abcissas e as distorções (δr) no eixo das ordenadas em que é traçada a curva da distorção original e uma linha reta com ângulo α ao eixo das abcissas, com as máximas distorções negativas e positivas aproximadamente iguais (Figura2b). A tangente de α fornece o termo K0 dado por:

$$K0 = \operatorname{tg} \alpha \quad (2)$$

Com o valor obtido de K0 é calculada a nova distância focal f' com:

$$f' = f(1 - K0) \quad (3)$$

Com f' determinado por (3) são obtidos os novos parâmetros k' dados por:

$$k' = (f'/f).\ k \quad (4)$$

Com os novos termos δr passa a ser modelado por:

$$\delta r = k0r + k'_1 r^3 + k'_2 r^5 + k'_3 r^7 \quad (5)$$

O procedimento de alteração da distância focal era comum na fotogrametria analógica, pela dificuldade de compensação as distorções radiais nos restituidores, mas na fotogrametria digital com câmera de lente única, os procedimentos analíticos são precisos e não é necessário. No entanto a equação 3 pode ser usada para igualar as distâncias focais em sistemas fotográficos com múltiplas câmeras oblíquas, e a equação 5 para corrigir cada uma das imagens com os novos parâmetros de distorção radial, antes de serem executadas as demais etapas de criação das imagens sintéticas.

2.2.3 Grupo 3

As distorções tangenciais ou descentradas são originadas por pequenos erros de alinhamento dos eixos de cada uma das lentes de um sistema ótico e que provocam deslocamentos na imagem em componentes radiais e tangenciais (SLAMA, 1980). Foram modeladas por Conrady e Brown (1966) agrupou os parâmetros numa forma conveniente para ajustamento (ANDRADE, 1998), dos quais apenas P_1 e P_2 são suficientes. As distorções descentradas para as coordenadas x e y são calculadas por:

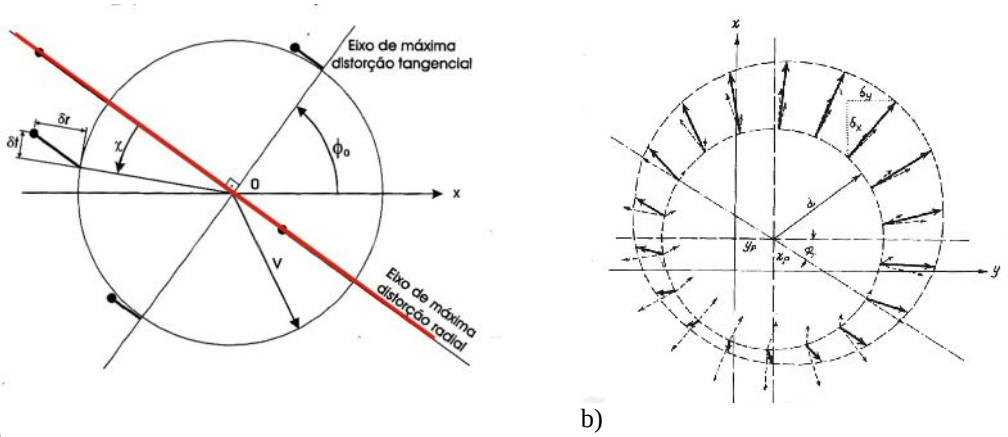
$$\begin{cases} \delta x = [P_1(r^2 + 2 * x^2) + 2 * P_2 * x * y] \\ \delta y = [2 * P_1 * x * y * P_2(r^2 + 2 * y^2)] \end{cases} \quad (6)$$

Os termos P_1 e P_2 são relacionados com coeficientes de um polinômio de ordem par e o ângulo ϕ, formado pelo eixo de distorção tangencial máxima e o eixo das abcissas (ANDRADE, 1998, SLAMA 1980) pelas equações 7:

$$\begin{cases} P_1 = -J_1 * sen\phi \\ P_2 = J_1 * cos\phi \end{cases} \quad (7)$$

A Figura 2a mostra os eixos com as distorções máximas das componentes da distorção descentrada. Os efeitos combinados dessas duas componentes podem ser vistos em exemplo na Figura 2b.

Figura 2 – Distorção descentrada. A) Eixos das componentes tangencial e radial [(Fonte: Andrade (1998)]. B) Efeito combinado das duas componentes [(fonte: Slama (1980)].



a) b)

2.2.4 Grupo 4

Os parâmetros de afinidade são as componentes devido à falta de ortogonalidade e diferença de escala entre os eixos x e y (Figura 3) da imagem digital. Segundo o modelo demonstrado em Moniwa (1972) os efeitos desses parâmetros na coordenadas x e y são dados por:

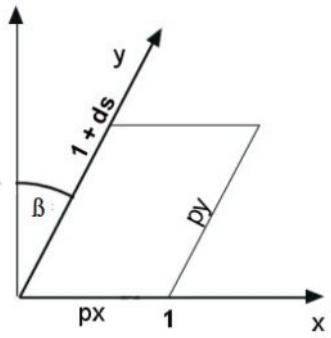
$$dq_x = A\,(y - y_o) \quad (8)$$
$$dq_y = B\,(y - y_o)$$

Os termos A e B de 8 são modelados por :

$$A = (1 + ds)\,sen(ß) \quad (9)$$
$$B = (1 + ds)\,cos(ß) - 1$$

Em que: ds = alteração de escala do eixo y com relação ao eixo x
ß = ângulo da não ortogonalidade entre os eixos x e y.

Figura 3 – Parâmetros de afinidade



Os parâmetros de afinidade também são corrigidos com outros modelos. Em Gruen&Huang (2001) a correção é aplicada apenas em x, com as parâmetros A1 e A2 segundo as equações 10:

$$dq_x = A1.(y - y_o) + A2(y - y_o)$$
$$dq_y = 0 \quad (10)$$

2.3 Matriz de Calibração

Nos softwares baseados na teoria de visão computacional, como os de processamento de imagens de VANT, a orientação interna corresponde aos parâmetros intrínsecos em que se enquadram as correções de afinidade. A não ortogonalidade entre os eixos (β na Figura 4), que corresponde ao ângulo de esconsidade (*Skew)*, a diferença de escala é indicada pelas dimensões px, py dos pixels e as coordenadas do PP por cx e cy, formam uma matriz triangular superior K, chamada de matriz de calibração da câmera (ZHANG, 1998; POLLEFEYS, 2002). A matriz K é aplicada ao ponto com distorções e fornece o ponto corrigido. Todos os elementos da matriz K são mostrados na equação 11:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = K.\begin{bmatrix} xR \\ yR \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{f}{p_x} & (tan\beta)\frac{f}{p_y} & c_x \\ 0 & \frac{f}{p_y} & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} xR \\ yR \\ 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Simplificando a matriz de calibração, as diferenças de escala podem passar para as distâncias focais *fx* e *fy*, o termo *s* absorve a esconsidade e também a diferença de escala, então a forma final é dada pela equação 12:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & s & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} xR \\ yR \\ 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Em que: cx e cy são as coordenadas do PP.
fx e fy são as distâncias focais nos sentidos de x e y
xR, yR, são as coordenadas com distorções no plano da imagem.

3. METODOLOGIA

Foram realizados vários processamentos de calibração com o Photomodeler e o Fotter com as câmeras Canon A300 (2048x1536 pixels), Canon PowerShot A640 e Canon EOS Rebel T5, (5184x3456 pixels). O experimento 1 tem o objetivo de comparar os resultados da calibração das distorções radiais com os dois aplicativos. O Experimento 2 compara os processamentos com o Fotter com o mesmo conjunto de dados de imagens obtidas do campo de calibração do Decart/UFPE (Figura 4), que mede 6 m de largura por 5 m de altura com 84 alvos..

Figura 4 – Campo de calibração do Decart /UFPE.

3.1 Experimento 1

Foram realizadas calibrações da câmera Canon PowerShot A640 com o Photomodeler e o Fotter. A calibração com o Phomodeler é realizada a partir de um conjunto de imagens obtidas em torno de uma grade de círculos, processadas automaticamente. Os parâmetros obtidos por padrão são os do grupo 1, do grupo 2, k1 e k2, e grupo 3, mas é possível incluir k3 e efetuar novo processamento. Apenas os parâmetros obtidos de f, distorção radial e descentrada são mostrados na Tabela 1.

Para o processamento com o Fotter são tomadas imagens convergentes de três posições em frente do campo de calibração e de cada posição são tomadas três imagens giradas de 90º entre si. A medição dos alvos do campo de calibração é feita com precisão de subpixel, em aplicativo Matlab®, e em seguida preparado o arquivo de entrada no Fotter. Os parâmetros possíveis de serem obtidos com o Fotter são os do grupo 1, grupo 2 K1, K2, K3, grupo 3 e grupo 4, mas foram escolhidos os mesmos usados no Photomodeler para facilitar a comparação. Os resultados parciais estão na Tabela 1.

3.2 Experimento 2

As coordenadas lidas do campo de calibração obtidas com as câmeras Canon PowerShot A300, PowerShot A640 e EOS Rebet 5T foram usadas em diversos processamentos com o Fotter, dos quais serão mostrados os resultados obtidos com a A300. A câmera A300 tem largura de 2048 pixels e foi estimado inicialmente f igual a 1900 pixels. Este valor, mais as coordenadas das colunas e linhas, obtidas diretamente das imagens, com precisão de sub pixel, formam os dados de entrada no Fotter. Nos processamentos posteriores foram alteradas as distâncias focais e os tamanhos do elemento do sensor ou do pixel (TP), nas mesmas proporções para ambos, conforme a Tabela 1, Com este procedimento é mantida a semelhança de triângulos da Figura 1.

Tabela 1. Distâncias focais iniciais e TP de cada processamento com o Fotter

F inicial	1900	950	475	190	19	1,9
TP	1,0	0,5	0,25	0,1	0,01	0,001

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4. 2 Resultados do Experimento 1

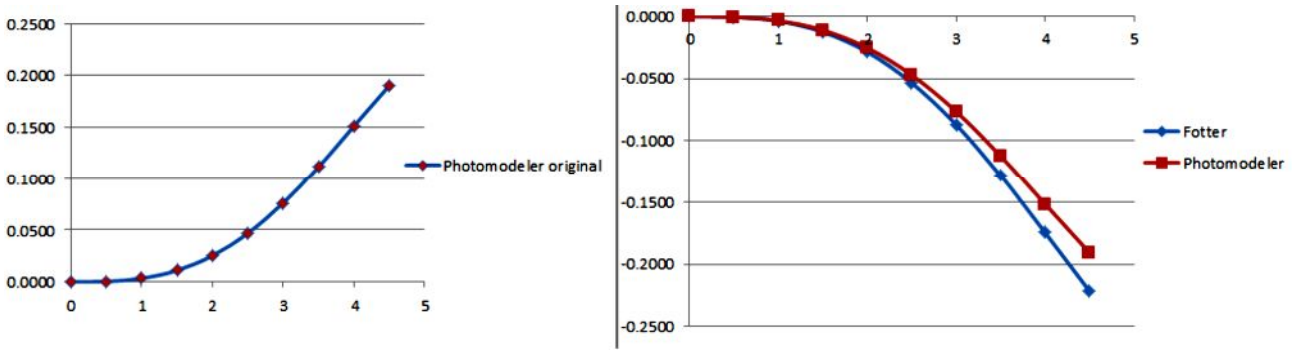
Na Tabela 2 estão os parâmetro da câmera A640 obtidos pelo Photomodeler e Fotter, que têm valores um pouco diferentes e sinais trocados, como relatado por Costa (2008). A Figura 5a mostra o gráfico de distorção radial obtido com Photomodeler original e na Figura 5b o gráfico obtido com sinais trocados, junto com a curva do Fotter. Isto não significa que os parâmetros de um ou outro estejam errados, mas simplesmente que estão com os sinais algébricos apropriados aos demais processamentos que executam, como fototriangulação. Os parâmetros do Fotter são compatíveis com o LPS®

(*Leica Photogrammetric Suíte*). Mas antes de usar os dados de calibração do Photomodeler no LPS os sinais devem ser trocados, assim como as coordenadas do PP, da relação ao canto superior esquerdo para o centro fiducial.

Tabela 2 – Parâmetros de calibração obtidos com o Phomodeler e Fotter da câmera PowerShot A640.

Parâmetros	Photomodeler	Fotter
f=	7.5222	7.3300
k1	3.405E-03	-3.839E-03
k2	-6.485E-05	6.958E-05
k3	0.000E+00	0.000E+00
p1	-1.689E-04	1.508E-04
p2	-8.694E-05	-1.038E-04

Figura 5 - Gráficos de Distorção Radial. A) Com dados Photomodeler Originais. B) Curvas com sinais trocados, do Photomodeler, e curva do Fotter.



2.2 Resultados do Experimento 2

Os parâmetros de calibração obtidos com os processamentos das várias proporções de f e TP foram inicialmente tabelados. Em seguida foram comparados e analisados dos valores de cada parâmetro, com aumento ou diminuição de f e TP. Deste modo foram identificadas funções constantes de conversão entre as proporções das diversas distâncias focais e TP para cada grupo de parâmetros. Sendo RP a razão de proporção entre o f desejado, ou novo, e o f anterior, dada por:

$$RP = f\ novo / f\ antigo \quad (13)$$

Os novos valores de f', xo', yo', K1', K2', K3', P1', P2', A' e B' são obtidos pelas funções identificadas a seguir:

$$f' = f \cdot RP \quad (14)$$

$$xo' = xo \cdot RP \quad (15)$$

$$yo' = yo \cdot RP \quad (16)$$

$$K1' = K1/(RP^2) \quad (17)$$

$$K2' = K2/(RP^4) \quad (18)$$

$$K3' = K3/(RP^6) \quad (19)$$

$$P1' = P1/RP \quad (20)$$

$$P2' = P2/RP \quad (21)$$

$$A' = A \tag{22}$$

$$B' = B \tag{23}$$

A análise das equações acima mostra que os parâmetros do grupo 1 são alterados exatamente pelo valor da RP; os parâmetros da distorção radial variam no inverso de potências de 2, 4 e 6; os parâmetros de distorção descentrada na razão do inverso e os parâmetros de afinidade não variam.

A equação 13 naturalmente deve resultar em valores maiores que 1, para aumento, e menores que 1 para redução. Por exemplo, para aumento de TP=0,1 para 0,25 o RP vale 2,5, e para redução de 0,25 para 0,10, vale 0,40.

Na parte superior da Tabela 3, estão os valores obtidos dos parâmetros para TP= 1,0; 0,5; 0,25 e 0,01, e suas correspondentes distância focais iniciais e calibradas. Na parte inferior estão as proporções das alterações de cada parâmetro, devido aumento de TP de 0,5 para 1,0; aumento de TP de 0,25 para 1,0; redução de TP 0,25 para 0,10; e aumento de TP 0,1 para 1,0. Na coluna Calc estão os valores calculados com os dados da parte superior e na coluna Teórico, os valores teóricos obtidos com as equações 13 a 23.

Tabela 3. Valores de parâmetros de distorções para f igual a 1900, 950, 475, e 190 e as proporções calculadas e teóricas entre os parâmetros.

T PIXEL= 1,0		**T PIXEL=0,5**		**T PIXEL = 0,25**		**T PIXEL = 0,1**	
fi=	1900,00	fi=	950,00	fi=	475,00	fi=	190,00
f=	1927,00	f=	964,00	f=	482,00	f=	192,90
xo=	2,29E+01	xo=	1,14E+01	xo=	5,71E+00	xo=	2,28E+00
yo=	-3,49E+01	yo=	-1,75E+01	yo=	-8,73E+00	yo=	-3,50E+00
K1=	-1,74E-08	K1=	-6,97E-08	K1=	-2,79E-07	K1=	-1,76E-06
K2=	-2,02E-14	K2=	-3,23E-13	K2=	-5,18E-12	K2=	-2,05E-10
K3=	1,24E-20	K3=	7,92E-19	K3=	5,08E-17	K3=	1,25E-14
P1=	8,06E-07	P1=	1,61E-06	P1=	3,22E-06	P1=	8,04E-06
P2=	1,12E-06	P2=	2,23E-06	P2=	4,46E-06	P2=	1,12E-05
A=	1,43E-05	A=	1,42E-05	A=	1,37E-05	A=	9,89E-06
B=	-4,39E-04	B=	-4,37E-04	B=	-4,27E-04	B=	-3,65E-04
0,5 p/ 1,0	**RP=2,0**	**0,25 p/ 1,0**	**RP=4,0**	**0,25 p/ 0,1**	**RP=0,40**	**0,1 p / 1,0**	**RP=10,0**
Calc.	Teórico	Calc.	Teórico	Calc.	Teórico	Calc.	Teórico
2,0	2,0	4,0	4,0	0,40	0,40	9,99	10,0
2,0	2,0	4,0	4,0	0,40	0,40	10,00	10,0
2,0	2,0	4,0	4,0	0,40	0,40	9,96	10,0
0,2500	0,2500	0,0624	0,0625	6,3073	6,2500	0,0099	0,01
0,0625	0,0625	0,0039	0,0039	39,5986	39,0625	0,0001	0,0001
0,0156	0,0156	0,00024	0,00024	246,1599	244,1406	0,000001	0,000001
0,5	0,5	0,25	0,25	2,4955	2,5	0,10	0,10
0,5	0,5	0,25	0,25	2,5090	2,5	0,10	0,10
1,0	1,0	1,04	1,00	0,72	1,00	1,45	1,00
1,0	1,0	1,03	1,00	0,85	1,00	1,20	1,00

Os valores mostrados na Tabela 3 são similares aos demais testes efetuados com as outras câmeras. As proporções, de aumento ou redução de f e TP, se refletem em alterações calculadas dos parâmetros em valores iguais ou bem próximos dos valores teóricos. Os valores calculados e teóricos são mais próximos quando as proporções de aumento são de 2 ou 4 vezes e divergem mais com aumentos maiores de 10 vezes ou mais e com as reduções. As variações maiores ocorrem com os parâmetros da distorção radial, que variam com as potências de 2, 4 e 6.

Considerando que as coordenadas medidas nas imagens são apenas alteradas linearmente pelo TP e que as coordenadas dos pontos de apoio são as mesmas, as prováveis explicações para as divergências são: os valores das variâncias estimadas para as coordenadas de imagens e pontos de apoio que foram mantidas iguais em todos os

processamentos; questões numéricas de arredondamento de valores muito pequenos; e limiares dos critérios de convergência. Existem indícios para essas suposições, mas faltam ainda mais testes conclusivos.

Pelos testes efetuados as equações (13) a (23) podem estimar com bastante precisão os novos parâmetros de calibração de uma câmera, em aplicações como simulações ou mesmo em atividades práticas, que envolvam a redução ou ampliação de resolução geométrica de imagens aéreas, por questões de capacidade de processamento, do software ou computadores.

5. CONCLUSÕES

A partir de resultados de calibrações de câmeras digitais de pequeno formato, com simulações de variação do tamanho do pixel, foram identificadas relações empíricas entre os valores de cada grupos de parâmetros, em forma de funções bem definidas. O mesmo ocorre quando é alterada a escala da fotografia, com ampliação ou redução, ou quando são alteradas as unidades de processamento de pixels para métricas.

Para cada grupo de parâmetros, distância focal e formato, distorções radiais, distorções descentrada e afinidades, foram identificadas e definidas funções diferentes, mas com um termo comum que é a razão de proporção entre a distância focal nova desejada e a antiga.

Os valores teóricos são iguais, ou praticamente iguais, aos calculados quando ocorrem aumentos de duas ou quatro vezes, e são mais diferentes nos casos de reduções e com os parâmetros da distorção radial, que variam com as potências de 2, 4 e 6. As suposições dos motivos dessas diferenças podem ser: questões numéricas dos processadores da CPU; arredondamentos durante os cálculos; e de estimativas inadequadas das variâncias das coordenadas da imagem e dos pontos de apoio (alvos do campo de calibração) que serão investigados na continuidade dos estudos em andamento.

Sugere-se que essas relações definidas empiricamente sejam justificadas matematicamente.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998. 258 p.

BROWN, D. C. Decentering Distortion of Lenses. **Photogrammetric Engineering**. V.32, n. 3. P. 444-462. 1966.

COSTA, G., C. **Análise dos Produtos Obtidos com Aerolevantamentos utilizando Câmeras Digitais não Métricas para Elaboração de Anteprojetos Rodoviários**. Dissertação de Mestrado, CPGCGTG, UFPE. 135 p. 2008.

GRUEN, A., HUANG, T.S. (Eds). **Calibration and Orientation of Cameras in Computer Vision.** Berlin: Springer Verlag. 235p. 2001.

FURUKAWA, Y. & HERNÁNDEZ, C. **Multi-View Stereo: A Tutorial**. *Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision.* Hanover, MA, EUA: Now Publishers Inc.148 p. 2013.
Disponivel em: http://carlos-hernandez.org/papers/fnt_mvs_2015.pdf.

MONIWA, H. **Analytical Camera Calibration of Close-Range Photogrammetry**. Thesis of MSc, University of New Brunswich, New Brunswich, Canada. 1972.

POLLEFEYS, M. **Visual 3D Modeling from Images, Tutorial Notes**. University of North Carolina. Acesso em: 20/04/2016. Disponível em: http://www.cs.unc.edu/~marc/tutorial/. 2002.

SILVA, D, C. **Considerações Práticas em Fotogrametria a Curta Distância Aplicada ao Levantamento de um Tanque e a Questão da Precisão e Exatidão**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas. Curitiba: UFPR. 112 p. 1995.

SLAMA, C., C (Ed). **Manual of Photogrammetry**. Fourth edition. American Society of Photogrammetry. 1056 p. 1980.

SZELISKI, R. **Computer Vision Algorithms and Applications**. Springer Verlag. 812 p. 2010.

ZHANG, Z. **A flexible New technique for Camera Calibration Technical Report MSR-TR-98-71**. Redmond, WA: Microsoft Research. 21p. Disponível em: http://research.micorsoft.com/~zhang. 1998.

GEOPROCESSAMENTO APLICADO À IMPORTÂNCIA DA ANÁLISE DAS MUDANÇAS NA COBERTURA VEGETAL DA FLORESTA NACIONAL DE PALMARES, MUNICÍPIO DE ALTOS – PI

MARIANA RODRIGUES OLIVEIRA DOS SANTOS 1
GRENDA JUARA ALVES COSTA 2

[1] Universidade Federal do Piauí - UFPI
Campus Petrônio Portela, Teresina - PI
Centro de Ciências Humanas e Letras – CCHL
Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGGEO

[2] Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação - PGCGTG

marianarodrigues31@hotmail.com, grendajuara@hotmail.com

RESUMO - A Floresta Nacional de Palmares é uma importante área de proteção ambiental formada por vegetação típica de cerrado com a Caatinga, onde 87 diferentes espécies arbóreas foram encontradas na cidade de Altos-PI. O estudo teve como objetivo uma análise com o uso do sensoriamento remoto da cobertura vegetal no período de 10 anos, utilizando-se o mapeamento através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Após o mapeamento, o mapa de diferença entre os anos foi feito para verificar se houve perda de vegetação. Como resultado da análise, 2006 apresentou melhores índices vegetativos do que o ano de 2016, comprovando que, mesmo sendo área protegida por lei, a supressão vegetal é recorrente. O estudo mostrou a importância da conservação de áreas verdes e das geotecnologias como auxílio nas decisões ambientais.

ABSTRACT - The Palmares National Forest is an important environmental protection area formed by typical Cerrado vegetation with the Caatinga where 87 different tree species were found in the city of Altos-PI. The study had an analysis with the use of the remote sensing of the vegetation cover in the period of 10 years by using for the mapping through the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for the years of 2006 and 2016. After the mapping, the map of difference between the years to verify if there was loss of vegetation. As a result of the analysis, 2006 presented better vegetative indexes than the year 2016 those proved through the difference map that showed that 2016 had its vegetation cover with much loss. The study showed the importance of conserving green areas and geotecnologies as an aid in environmental decisions.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de maneira errada dos recursos naturais junta às poucas medidas mitigadoras e à expansão urbana, demandam pesquisas que busquem analisar e quantificar a vegetação. A redução da vegetação natural das cidades para dar vida às paisagens urbanas traz diversas consequências, não só para a qualidade de vida da população, como também para a qualidade dos recursos hídricos e manutenção de espécies nativas que dependem dessas áreas verdes para sobrevivência. “A quantidade de área verde existente dentro de uma cidade é um dos indicadores de qualidade de vida de seus habitantes. Quanto maior o índice de área verde de uma cidade, maior é a qualidade de vida da sua população, com relação a este aspecto” (FLORENZANO, 2002, P.90).

A FLONA de Palmares (Floresta Nacional de Palmares), localizada no município de Altos no estado do Piauí, foi criada em fevereiro de 2005, tendo como objetivo principal o uso dos recursos da floresta, manutenção das espécies ali existentes e das características do Cerrado e da Caatinga que ela possui; “proteção da biodiversidade, a recuperação de áreas degradadas e a educação ambiental” (LOPES, 2007).

A urbanização é decorrente do crescimento da população, o que provoca mudanças no ambiente e no comportamento dos elementos naturais. Nas últimas décadas, o entorno da FLONA passou e passa por transformações, aumentando seu índice populacional, o que resulta em construções urbanas e diminuição das áreas verdes. Como forma de aquisição, análise e monitoramento, o Geoprocessamento, através do sensoriamento remoto aplicado à analise ambiental, tem se mostrado eficaz em trabalhos ligados ao meio ambiente.

Nesse contexto, a utilização de ambientes computacionais de SIG facilita o trabalho para integração de dados de sensores remotos e dados originados de outras fontes, possibilita a análise espacial, a modelagem dos ambientes e a compreensão de determinados fenômenos e projeção de cenários futuros. Portanto, o uso de imagens resultantes do sensoriamento remoto permite ter uma visão de conjunto multitemporal de diversas e extensas áreas da superfície terrestre, permitem visualizar os diferentes ambientes e suas transformações, permitindo observar os principais impactos originados por fenômenos naturais e os antrópicos (FLORENZANO, 2005).

Portanto, em busca de uma melhor qualidade ambiental, torna-se importante uma pesquisa que possa quantificar o comportamento da cobertura vegetal no entorno da FLONA. O crescimento acelerado de Teresina e Altos e a falta de implantação de políticas públicas adequadas para a preservação da vegetação contribui para a diminuição de áreas verdes. Diante disto torna-se importante a realização de pesquisas com o propósito de diminuir as consequências provocadas pela supressão vegetal, aumentando, por consequência, áreas verdes e auxiliando no controle da urbanização em áreas de vegetação natural.

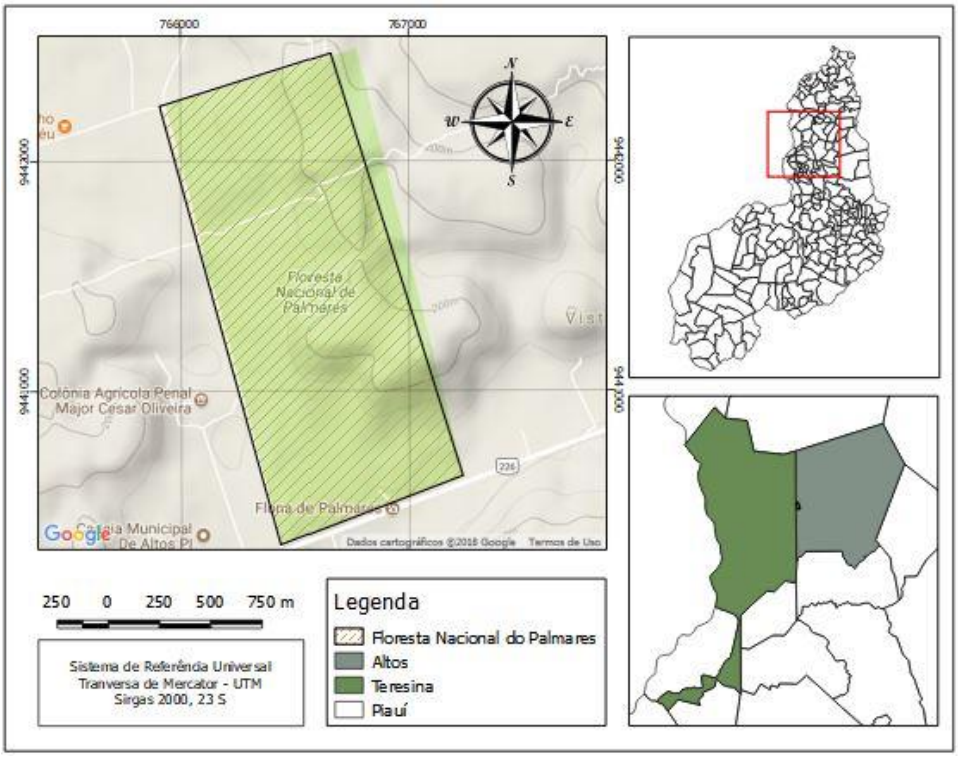
Como objetivo geral, será feita a análise temporal da cobertura vegetal da Floresta Nacional de Palmares e, para se chegar nesse objetivo, serão realizados os mapeamentos dos anos de 2006 e 2016 através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e o mapa de diferença entre ambos para confirmar se houve mudanças significativas na cobertura vegetal da floresta.

2. METODOLOGIA

2.1. Recorte espacial

A Floresta Nacional (Flona) de Palmares está localizada no município de Altos no estado do Piauí (conforme **Figura 1**), sendo criada pelo decreto S/N de 21 de fevereiro de 2005 objetivando promover o manejo do uso múltiplo dos recursos florestais, a manutenção de banco germoplasma de espécies nativas e das características da vegetação do Cerrado e da Caatinga, a proteção da biodiversidade, a recuperação de áreas degradadas e a educação ambiental (LOPES, 2007). A Flona de Palmares está inserida em uma zona de transição entre os biomas Caatinga e Cerrado.

Figura 1 – Localização da Floresta Nacional de Palmares no Piauí.



Fonte: Autores.

A Floresta Nacional dos Palmares é formada por vegetação típica do Cerrado com espécies da Caatinga, onde já foram identificadas 87 espécies diferentes de árvores. A Flona possui também uma rica fauna, que abriga diversas espécies de animais silvestres constituindo-se em uma das mais representativas desses ecossistemas, deste modo a conservação da mesma é de extrema importância Como consequência do acelerado e desordenado crescimento nas últimas décadas, sem implantação adequada de políticas públicas falta de conscientização da população para evitar a enorme diminuição de vegetação, podem ocorrer significativas alterações dos componentes físicos presentes no espaço urbano.

A FLONA é uma Unidade de Conservação, possui uma área de 170 ha e fica a de 20 km da Teresina. Atualmente a FLONA de Palmares é gerenciada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e corresponde a uma área de transição do Cerrado com a Caatinga, sendo que a tipologia vegetal é caracterizada como floresta estacional semidecidual, apresentando fauna com influência desses dois biomas (MINEIRO, 2012).

De acordo com Florenzano (2008), os sistemas de processamento e análise de imagens, através dos vários softwares disponíveis, possibilitam aplicar técnicas de processamento de imagens, citem-se as correções e realce de dados e classificações automatizadas. Por sua vez, as técnicas de processamento de imagens digitais constituem operações numéricas que são aplicadas às imagens. Nessa ótica, o NDVI apresenta importante técnica para estudos na região semiárida de forma a modelar e monitorar o estágio de degradação. Logo, o NDVI consta da aplicação de processos de realce mediante a extração de contraste entre imagens de sensores de satélites, as bandas 3 e 4 do Landsat 5 TM e as bandas 4 e 5 do Landsat 8 OLI.

A presente pesquisa utilizou-se de metodologia quantitativo-qualitativa para quantificar, analisar e interpretar os dados. A cobertura vegetal foi analisada com base no NDVI, onde, mais especificamente, pode-se afirmar que a clorofila na faixa do vermelho absorve a radiação solar, resultando em baixa reflectância. Por outro lado, na faixa do infravermelho próximo a morfologia interna das folhas e a estrutura da vegetação geram alta reflectância da radiação solar incidente (LOURENÇO e LANDIM, 2004). Desse modo a avaliação da conservação e da degradação ambiental no entorno da Floresta Nacional dos Palmares foi através da aplicação do NDVI.

Os NDVI's foram obtidos por meio dos valores médios dos números dos pixels para as bandas do vermelho e infravermelho próximo, dados pela **Equação 01**, citada abaixo.

$$NDVI = (IV- VM)/(IV+VM) \qquad \text{[Equação 01]}$$

Onde:

NDVI é o índice de Vegetação por Diferença Normalizada;
IV é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Infravermelho Próximo;
VM é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Infravermelho Médio.

Para retratar as mudanças da cobertura foram utilizadas imagens orbitais do sensor TM do LANDSAT 5 e OLI do LANDSAT 8. As cenas ortorretificadas do LANDSAT 5 e 8 foram obtidas através site do Serviço Geológico Americano, United States Geological Survey (USGS), ambas do mês de agosto, dos anos de 2006 e 2016, respectivamente. A delimitação da FLONA foi feita no Google Earth Pro.

Para a elaboração dos NDVI's foram utilizadas do Landsat 5 as bandas 3 e 4 para a aplicação dos índices de vegetação e do Landsat 8 as bandas 5 e 4. As cenas possuem orbita e ponto 219/64. A cobertura vegetal foi analisada com base no NDVI, mais especificamente, pode-se afirmar que a clorofila na faixa do vermelho absorve a radiação solar, resultando em baixa reflectância. Por outro lado, na faixa do infravermelho próximo a morfologia interna das folhas e a estrutura da vegetação geram alta reflectância da radiação solar incidente (LOURENÇO e LANDIM, 2004).

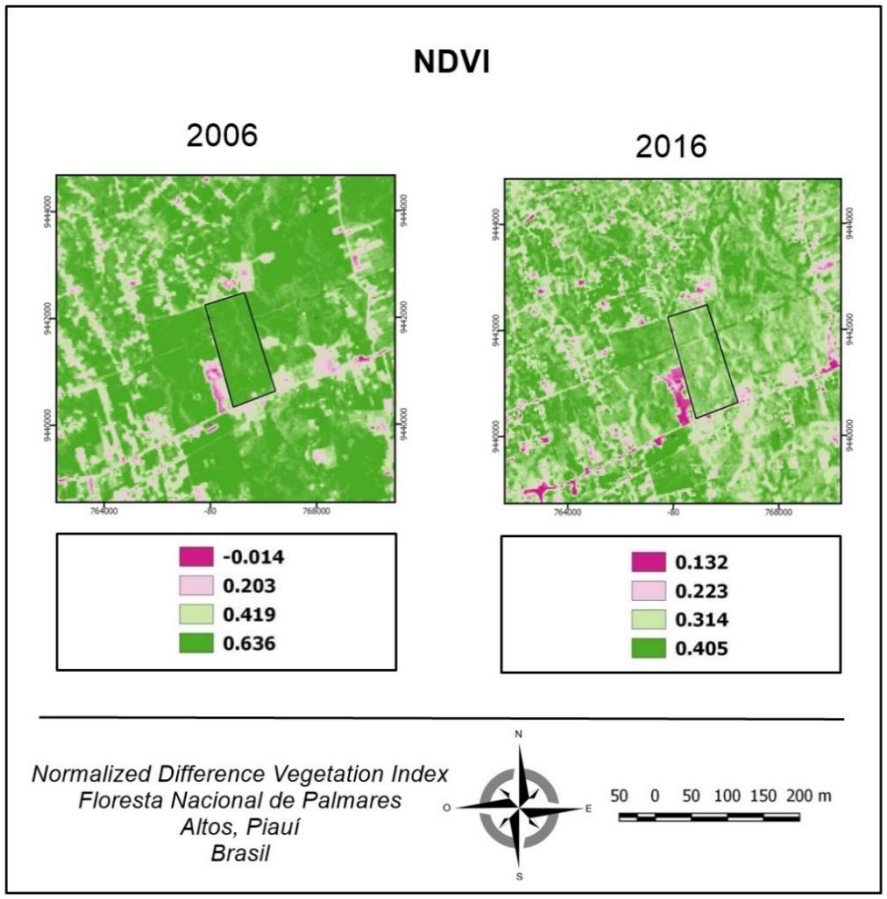
Os mapas de NDVI's, para os anos de 2006 e 2016 no SIG (Sistema de Informação Geográfica) QGIS 2.18.9. Para diferenciação das áreas de vegetação a renderização aplicada foi a de falsa-cor, pois ela mostra a intensidade das variações ocorridas na área através variando em valores de 0 a 1, ou seja, quando não houver vegetação será 0 e a máxima vegetação de acordo com o cálculo será 1. No menu Raster, foi utilizado a Calculadora Raster, para a aplicação do cálculo de NDVI, em seguida, também no menu Raster, Extração, os resultados foram cortados com base no shapefile no entorno da FLONA.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As imagens dos satélites Landsat 5 e 8 permitiram afirmar que a cobertura vegetal no entorno da Floresta Nacional dos Palmares apresentou mudanças, no que diz respeito a supressão da vegetação de 2006 logo após a criação do parque para 2016.

Pode-se visualizar na **Figura 2**, através do NDVI, que os locais de vegetação dentro da Floresta Nacional diminuíram. Observa-se, através das cores e valores, que, no intervalo de 10 anos, a cobertura vegetal dessa área de proteção ambiental possui significativas mudanças. O índice de vegetação por diferença normalizada atua e estabelece valores que, quanto mais próximos a 1, mais densa e saudável é a vegetação, valores aproximados de 0 e negativos não possuem vegetação. Para o ano de 2006, a análise obteve valores máximos de 0,636, enquanto para o ano de 2016, o máximo dentro da floresta foi de 0,405, mesmo ambas as imagens orbitais sendo do mesmo mês (agosto), não havendo, assim, diferenças climatológicas por conta de estações do ano definidas.

Figura 2 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da Floresta Nacional dos Palmares (PI), comparação entre os anos de 2006 e 2016.

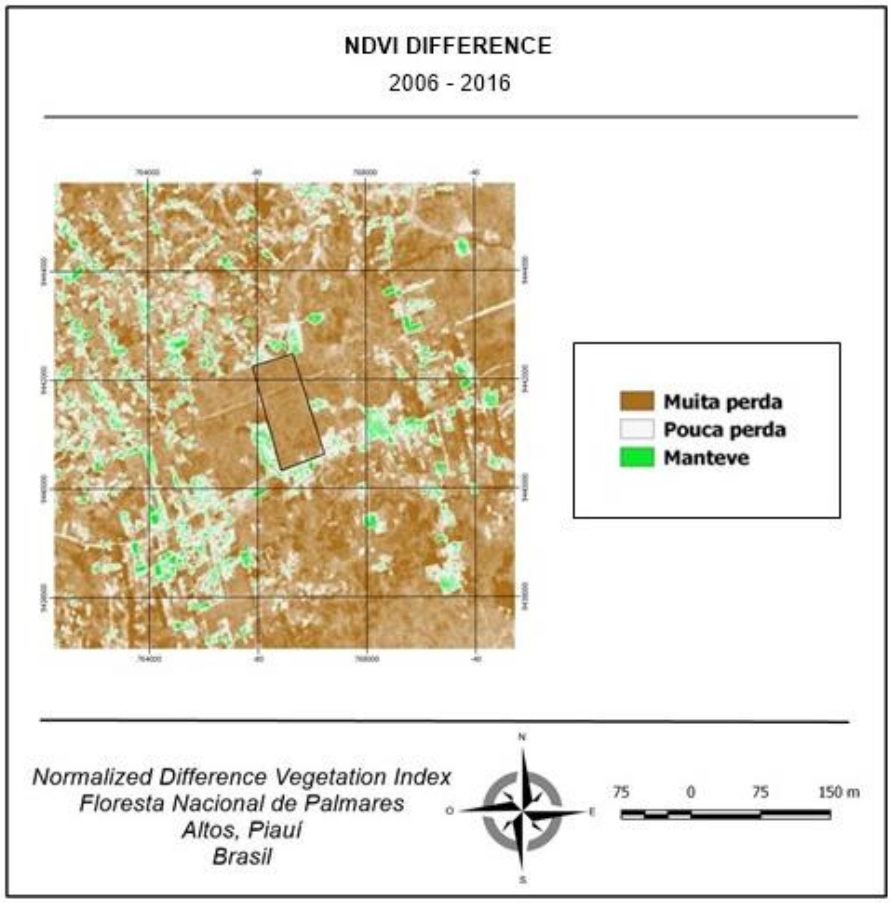


Fonte de dados: USGS. Geoprocessamento: Mariana Rodrigues e Grenda Juara (2018).

Os valores máximos e mínimos podem comprovar que houveram mudanças na cobertura vegetal da Floresta, e, através da análise de diferença entre os índices de vegetação, é constatada se a mudança ocorreu em grande escala dentro do recorte espacial em estudo.

A **Figura 3** mostra que os dados de NDVI apresentaram mudanças no padrão de cobertura vegetal, apesar da análise ter sido feita em um período de apenas 10 anos, já que a área é uma área de proteção, essa assegurada pela lei.

Figura 3 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da Floresta Nacional dos Palmares (PI), comparação entre os anos de 2006 e 2016.



Fonte de dados: USGS. Geoprocessamento: Mariana Rodrigues e Grenda Juara (2018).

Os resultados da análise de diferença temporal entre os índices anuais mostraram que a floresta apresentou muita perda de vegetação dentro da sua área de proteção. É importante a observação das áreas ao entorno da floresta que não perderam sua cobertura vegetal, e essas ficaram como mantidas na análise.

4. Considerações Finais

Com o uso das técnicas de Geoprocessamento, foi possível a análise ambiental com precisão que reflete a realidade. Os objetivos, geral e específicos, foram alcançados com sucesso nesse estudo, sendo possível seu uso em outros recortes espaciais, auxiliando, de maneira satisfatória, na tomada de decisões ambientais em diferentes vertentes.

A análise feita mostrou que a Floresta Nacional de Palmares, vem perdendo de forma gradativa a sua vegetação, mesmo essa sendo uma área de proteção assegurada pela Lei Federal.

A falta de atenção dada pelo governo às questões ambientais ainda ocorre de maneira bastante comum na atual conjuntura brasileira. Mesmo havendo leis que protegem importantes áreas, que são consideradas vitais na manutenção da vida terrestre, é comum, ainda, a mentalidade de desenvolvimento atrelada apenas economia.

O desenvolvimento necessita ser olhado e (re)pensado de maneira holística, observando e objetivando a sustentabilidade, essa sendo ambiental, social e econômica. A base da sociedade é feita através do conhecimento, havendo então a necessidade da sociedade conhecer a importância do meio ambiente.

Assim, o estudo visa, através da análise da floresta, um embasamento à sociedade sobre a situação de uma importante área, não só para a cidade de Altos, mas para o Brasil e o quão importante é um estudo ambiental e a necessidade de proteção de áreas verdes.

REFERÊNCIAS

FLORENZANO T. G. **Imagens de satélites para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de textos, 2002.

MENESES P. R, Netto J. S. M. **Sensoriamento remoto: refletância dos alvos naturais**. Brasilia, DF: UnB;Planaltina: Embrapa Cerrados,2001.

SILVA V.P.R, SÁ J.A, OLIVEIRA C.W, TELES V.O. **Uso de técnica de sensoriamento remoto no planejamento ambiental dos centros urbanos da Região Metropolitana do Cariri**. [internet].2012 novembro. Disponível em: http://www.urca.br/coloquioeconomia/IIcoloquio/anais/trab_plan_urb_pol_locais/5.pdf

PIRES N. A. M. T, MELO M. S, OLIVEIRA D. E e SANTOS S.X. **Diagnóstico da Arborização Urbana do Município de Goiandira, Goiás.[internet]**. 2007 julho. Disponível em: http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/viewFile/547/463

SILVA L. S. **Impactos da Perda de Vegetação nas Áreas Periurbanas Metropolitanas no Contexto da Dispersão Urbana.** [internet] 2010 Outubro. Disponível em:http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/artigos/GT11-506-450-20100905223428.pdf

COSTA R. G. S.,FERREIRA C. C. M. **Uma Análise da Vegetação Urbana nos Bairros Manoel Honório e Bairu, Juiz de Fora/MG**. Disponível em: http://www.ufjf.br/virtu/files/2010/05/artigo-3a6.pdf

LOPES, J. C. R. **Floresta Nacional: Implantação, gestão e estudo de caso – FLONA de Palmares**. Dissertação: Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Teresina: UFPI, 2007. 91 P.

LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B**. Estudo da variabilidade do "Índice de Vegetação por Diferença Normalizada / NDVI" utilizando krigagem indicativa**. HOLOS Environment, v. 4, n. 1. 2004. p.38-55.

LOPES, J. C. R. **Floresta Nacional: Implantação, gestão e estudo de caso – FLONA de Palmares**. Dissertação: Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Teresina: UFPI, 2007. 91 p.

MINEIRO, I. G. B. **Inventário da Fauna de Escorpiões (arachinida scorpiones) da Floresta Nacional de Palmares, município de Altos- Piauí**, 2012.

FLORENZANO, T. G**. Sensoriamento Remoto para Geomorfologia**. In: FLORENZANO, Teresa Gallotti (Org.). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos. 2008, p.36-71.

FLORENZANO, T. G**. Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso**. Revista do Departamento de Geografia, vol. 17, p.24-29. 2005.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO MAPEAMENTO E INTERPOLAÇÃO DE APETRECHOS DE PESCA NO NORTE DA ILHA DE TINHARÉ-BAIXO SUL DA BAHIA

IVONICE SENA DE SOUZA [1]
ANA PAULA SENA DE SOUZA [2]
GEORGE OLAVO [3]
JOSELISA MARIA CHAVES[4]

Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS
[1,2]Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente – PPGM
[3]Departamento de Ciências Biológicas, Feira de Santana, BA
[4]Departamento de Ciências Exatas, Feira de Santana, BA
vonisouza@yahoo.com.br, anappaullasouza@yahoo.com.br, georgeolavo@gmail.com, josimaria@gmail.com

RESUMO – O objetivo deste trabalho consistiu em utilizar imagens do *Google Earth* na identificação, mapeamento e interpolação da densidade dos apetrechos da pesca artesanal, situada na zona costeira estuarina da região do Baixo Sul da Bahia, utilizando as imagens de sensoriamento remoto de alta resolução, disponíveis no *Google Earth.* A abordagem metodológica desenvolvida partiu de uma análise visual das imagens de sensoriamento remoto de alta resolução disponíveis gratuitamente no *Google Earth*, para reconhecimento e mapeamento das estruturas desses apetrechos de pesca. A partir da análise das imagens foi possível identificar e mapear 94 camboas. Com o interpolador kernel foi possível estimar a densidade deste apetrecho da pesca artesanal. O uso das imagens de alta resolução do *Google Earth* mostrou-se uma excelente ferramenta para o estudo das camboas, apoio à gestão e monitoramento de baixo custo dessa prática tradicional de pesca.

ABSTRACT - The objective of this work was to use images of Google Earth in the identification, mapping and interpolation of the density of artisanal fishing equipment located in the estuarine coastal zone of the Southern Bahia Lowlands, using the high resolution remote sensing images available in the Google Earth. The methodological approach developed was based on a visual analysis of the high resolution remote sensing images available for free in Google Earth for the recognition and mapping of the structures of these fishing gear. From the analysis of the images, it was possible to identify and map 94 camboas. With the kernel interpolator it was possible to estimate the density of this artisanal fishery. The use of high-resolution images of Google Earth has proved to be an excellent tool for the study of shrimp, management support and low-cost monitoring of this traditional fishing practice.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos com os avanços das geotecnologias, vários setores produtivos vêm se beneficiando com este conjunto de ferramentas, inclusive a pesca industrial (MALUF, 1980). Porém, no setor pesqueiro artesanal marinho, principalmente na região Nordeste, encontramos poucas pesquisas aplicadas utilizando as geotecnologias. A região norte do país se destaca na utilização destas ferramentas na pesca artesanal. Os estudos que existem geralmente utilizam imagens de radar. O uso desse tipo de sensor vem sendo aplicado para a detecção de armadilhas de pesca ilegais e para avaliar os impactos decorrentes destes tipos de apetrechos ao meio ambiente (LEITE et al., 2015; TRAVAGLIA et al., 2004; SILVA, 2012; SILVA et al., 2010, KRUMME, et al., 2015).

As imagens de radar SAR têm custo ainda muito elevado no mercado, assim como as imagens de satélites de alta resolução. Uma alternativa que vem sendo utilizada por vários pesquisadores é a utilização das imagens de sensoriamento remoto de alta resolução disponíveis no aplicativo *Google Earth*.

O *Google Earth* é um programa que possibilita ao usuário acessar informações espaciais através da Internet. Neste programa, uma combinação de imagens de diversos satélites de alta resolução está disponível para visualização (CARLETTO et al., 2010).

As imagens de sensoriamento remoto de alta resolução disponíveis no *Google Earth* vêm sendo utilizadas no monitoramento e estudos de diversos setores econômicos, aqui podemos destacar o estudo de Al-Abdulrazzak e Pauly (2013) utilizaram imagens de sensoriamento remoto de alta resolução do *Google Earth* para estimar a produção da pesca com (*hadrah*) currais no Golfo Pérsico.

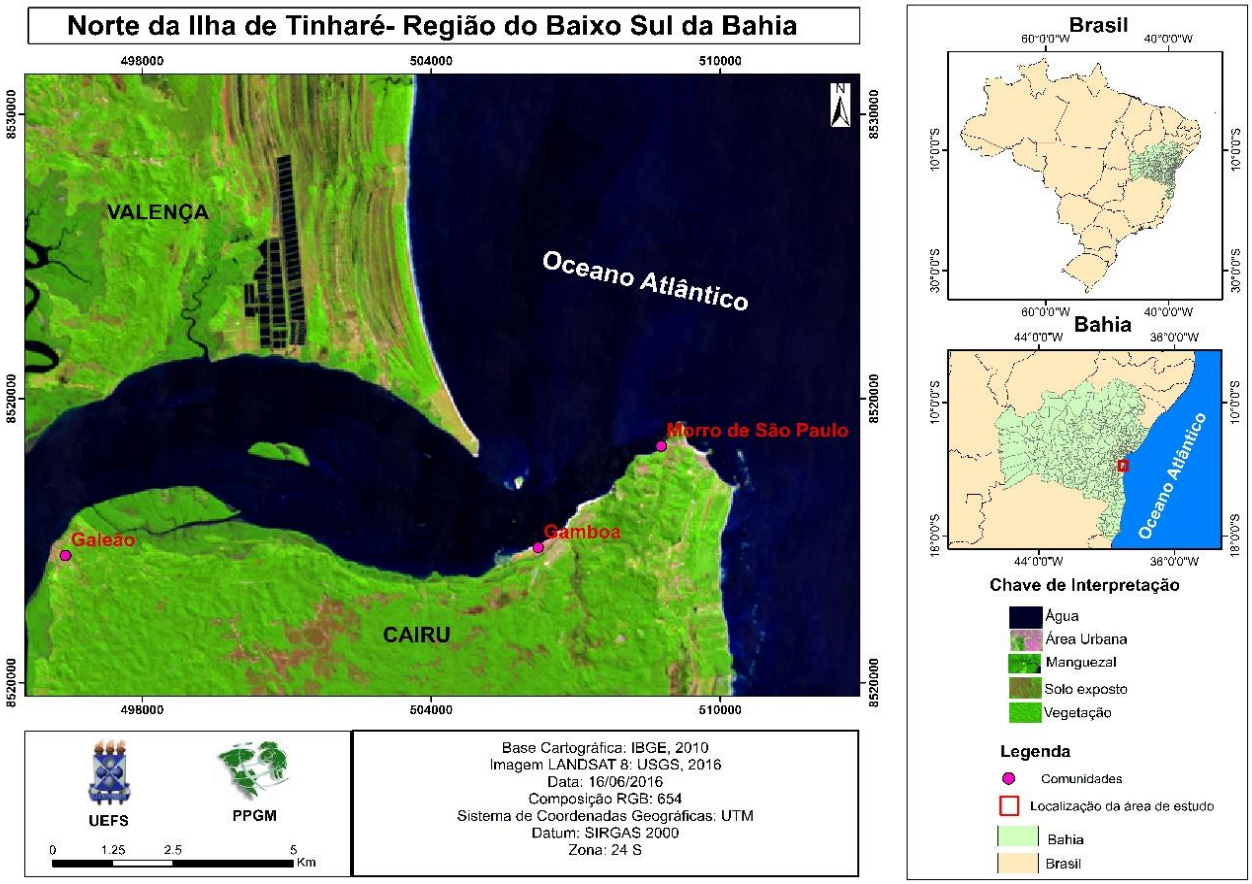
A partir das técnicas das geotecnologias é possível interpolar e estimar a densidade pontual de determinado fenômeno no espaço. Existem distintos métodos para realizar uma interpolação, dentre estes podemos destacar o interpolador Kernel.

Alguns pesquisadores (SILVA et al., 2012, KRUMME, et al., 2015) na região norte do Brasil vem utilizando o método kernel para mostrar a densidade pontual dos apetrechos de pesca naquela região. Com isso o objetivo deste trabalho é utilizar imagens do *Google Earth* na identificação, mapeamento e interpolação da densidade das camboas da pesca artesanal no Norte da Ilha de Tinharé, município de Cairu.

1.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo corresponde ao Norte da Ilha de Tinharé, município de Cairu, incluindo o curso final do Canal de Taperoá, divisa entre os municípios de Valença e Cairu, limite norte da APA estadual das Ilhas de Tinharé e Boipeba, abrangendo áreas entre as localidades do Galeão, Gamboa e Morro de São Paulo (Figura 01).

Figura 1 – Localização da área de estudo na região do Baixo Sul do estado da Bahia, Brasil.



2. METODOLOGIA DO TRABALHO

Para a realização do trabalho foram analisadas imagens de sensoriamento remoto de alta resolução disponíveis no *Google Earth*. Em seguida foi escolhida a imagem de alta resolução de 30/12/2008. A escolha desta imagem se deu devido à boa qualidade das obtenções deste ano em relação aos demais anos, quanto a visibilidade das camboas em relação a cobertura de nuvens e brilho. Também no processo de escolha das imagens foi levado em consideração o ano.

A abordagem metodológica desenvolvida partiu de uma análise visual das imagens, para reconhecimento e identificação das armações das camboas de pesca. Depois da identificação, as estruturas foram sinalizadas para espacialização. Os apetrechos identificados foram sinalizados com o marcador do *Google Earth*. Posteriormente as coordenadas geográficas foram colocadas em uma planilha do excel para a espacialização em imagem *Landsat 8*, em ambiente SIG. Em seguida foi realizada a estimativa da densidade das camboas para a área de estudo, utilizando a interpolação, o método usado foi o Kernel. O interpolador kernel é uma alternativa simples que permite analisar o comportamento de padrões pontuais e estimar a intensidade pontual (CÂMARA e CARVALHO, 2004). Neste caso os

apetrechos de pesca. É um método muito útil, de fácil uso e intepretação para o conhecimento da distribuição e análise espacial de eventos (CÂMARA e CARVALHO, 2004).

O software utilizado para a realização da espacialização dos dados e estimar a intensidade pontual das camboas foi o ArcGis 10. Foi utilizada a imagem de satélite Landsat 8 para a realização da localização geográfica das camboas. A imagem Landsat 8 foi adquirida gratuitamente no site da *United States Geological Survey* (USGS). A imagem selecionada para a espacialização dos dados foi a imagem de 16 de junho de 2016. A escolha desta imagem se deu devido à pouca quantidade de nuvens presente na imagem para a área de estudo.

Para a composição colorida, foram utilizadas as seguintes bandas: vermelho (B6), infravermelho próximo (B5) e infravermelho-médio (B4). Em seguida foi realizada a espacialização dos dados e layouts dos mapas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise das imagens do *Google Earth* foi possível identificar na área de estudo apenas um tipo de apetrecho denominado de camboa, conhecida também como currais de pesca (Figura 2). A camboa é um apetrecho de pesca fixa de grande porte, visível do espaço, com formatos distintos e tem como alvo a captura de peixes por meio de armadilhas no seu interior (SOUZA, 2018).

Figura 2 – Camboa de pesca do tipo “V”, no norte da Ilha de Tinharé.

Fonte: Souza (2017)

Foram detectadas e mapeadas 94 camboas de pesca, de propriedade de pescadores das localidades de Gamboa, Morro de São Paulo e Galeão, município de Cairu. Na figura 3 destaca-se a localização geográfica destas camboas. As camboas identificadas na área de estudo foram classificadas em dois tipos: camboas de captura de peixes e camboas para a captura de camarão (Figura 4 e 5). As camboas em forma de “V” foram identificadas e mapeadas nas

proximidades da localidade do Galeão, estão posicionadas mais distante da linha de costa no Canal de Taperoá, são destinadas a captura de camarão e confeccionadas com esteiras de taquari (*Mabea Fistulifera Mart.)* e taliscas de dendê (*Elaeis Guineensis)* ou de coqueiros (*Coco Nucifera*).

Figura 3 – Espacialização da localização geográfica das camboas de pesca, em imagem Landsat 7, na costa Norte da Ilha de Tinharé, município de Cairu.

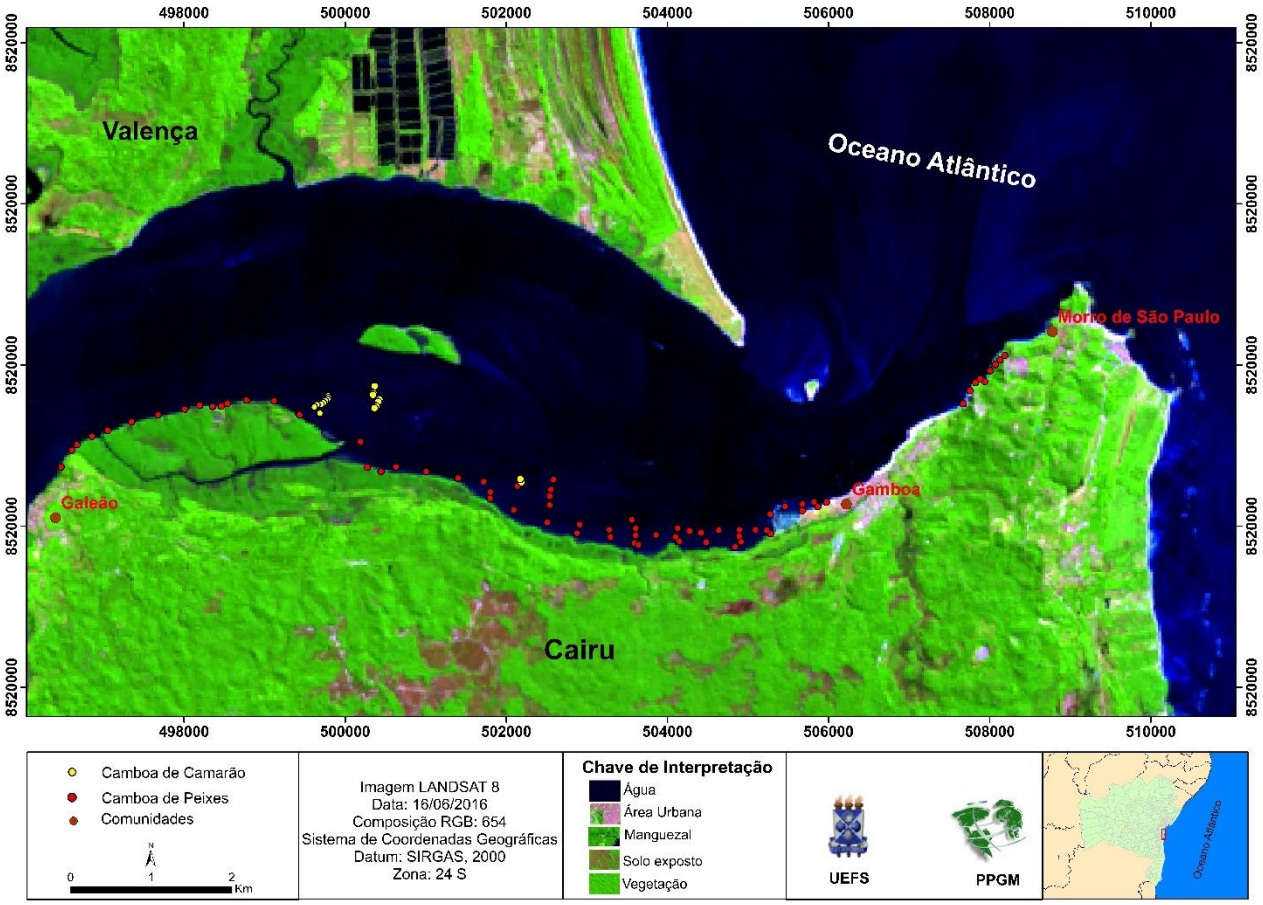
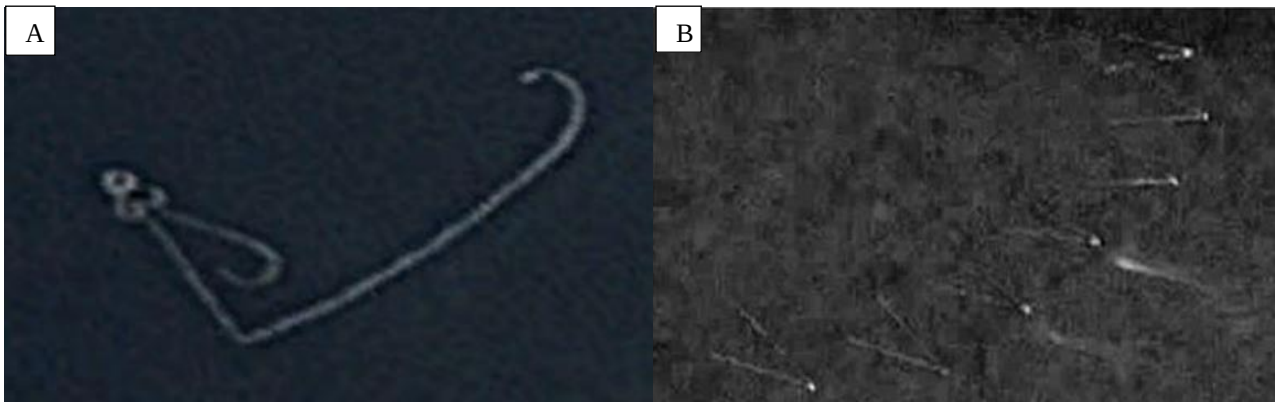


Figura 4 – Classificação dos tipos de camboas. A: Camboa para a captura de peixes; B: Camboa para a captura de camarão.

Fonte: Souza (2017)

Figura 5 – Exemplo de alguns tipos de camboas identificadas pelas imagens disponíveis no *Google Earth*, no norte da ilha de Tinharé na região do Baixo Sul da Bahia. A: Camboa tipo *gancho*; B: Camboa do tipo V.

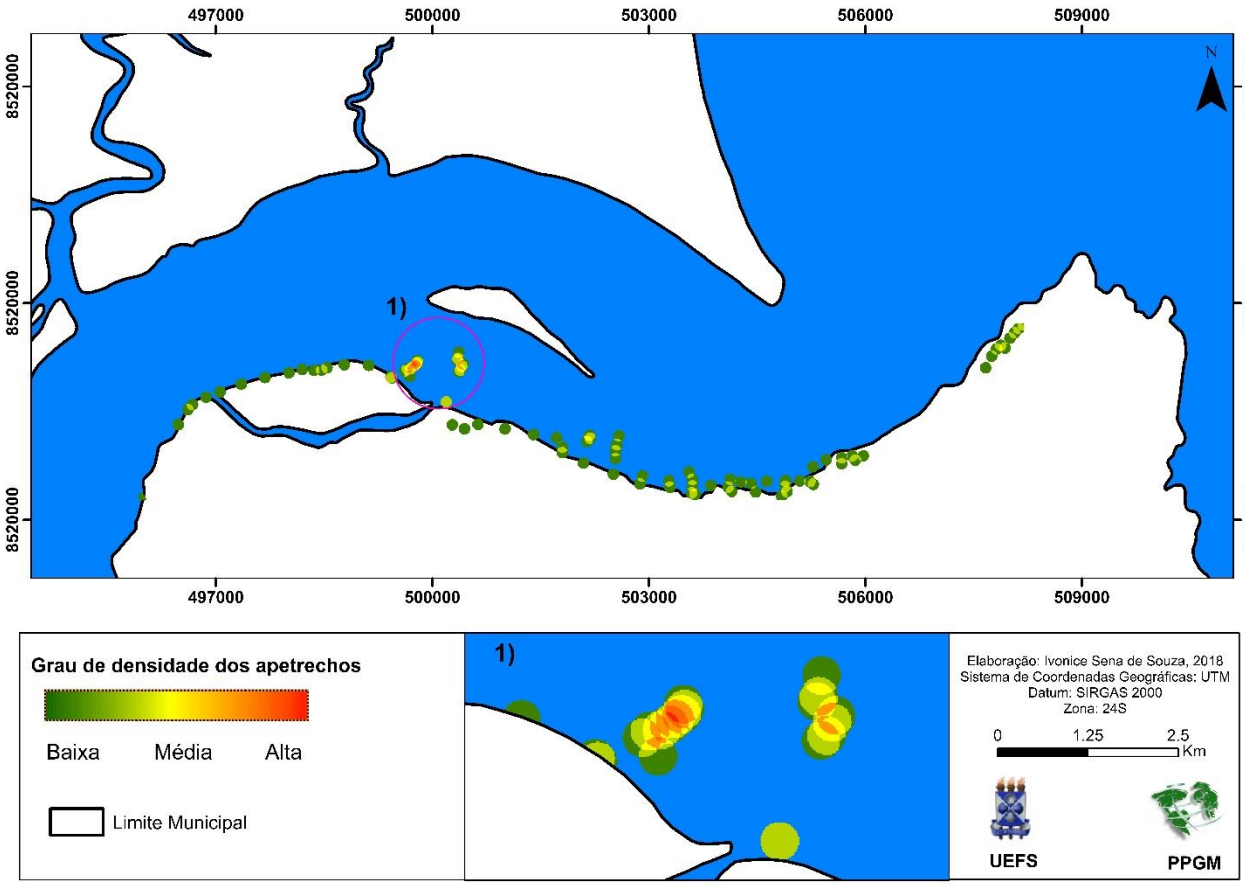


Fonte: *Google Earth* (2017)

Na figura 6, observa-se a densidade das camboas de pesca no norte da ilha de Tinharé. A legenda mostra o grau de densidade pontual dos apetrechos, sendo que a análise vai do verde ao vermelho, as camboas aparece de uma forma mais intensa a partir da cor laranja, o vermelho representa o auge do maior número de camboas existentes no ambiente estuarino na região do Baixo Sul. A predominância da densidade dos apetrechos varia entre baixa e média.

A partir da análise da figura 5, podemos perceber que as camboas em forma de "V" mapeadas nas proximidades da localidade do Galeão, são as que aparecem em maior densidade em relação as demais localidades.

Figura 6 – Mapa de densidade das camboas (currais) de pesca na região do baixo Sul da Bahia.



4. CONCLUSÕES

O uso das geotecnologias, especificamente das imagens de satélite de alta resolução disponíveis no *Google Earth*, assim como os sistemas de informações geográficas, são ferramentas essências no estudo dos apetrechos de pesca, aqui com destaque para as camboas (currais) de pesca. Foi possível identificar, mapear e interpolar a densidade dos apetrechos da pesca artesanal. Foi possível identificar e mapear 94 camboas no estuário da ilha de Tinharé, além de mostrar as áreas de maior intensidade das camboas. Foram identificados apetrechos de dois tipos: as camboas de captura de peixes e a camboa de captura de camarão. O poderio das geotecnologias a cada dia vem se tornando mais acessível e de grande suporte para todas as áreas econômicas. Sendo de grande suporte no monitoramento e estudo da pesca artesanal.

REFERÊNCIAS

AL-ABDULRAZZAK, D., e PAULY, D.; **Managing fisheries from space: Google Earth improves estimates of distant fish catches**. Journal of Marine Science. 2013.Disponível em: http://icesjms.oxfordjournals.org/. Acesso em: jul. 2015.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S.; Análise espacial de eventos. In: EMBRAPA. Análise espacial de dados geográficos. Brasília, 2004.

CARLETTO, R. D. B. GARRASTAZU, M. C.; ROSOT, M. A. D. **Elaboração de mosaico com imagens do Google Earth.** IX EVENCI. Colombo, PR. 2010.

KRUMME, U., GIARRIZZO, T., PEREIRA, R., JESUS, A. J. S., SCHAUB, C.; and Saint-Paul, U. Airborne synthetic-aperture radar (SAR) imaging to help assess impacts of stationary fishing gear on the north Brazilian mangrove coast. **Journal of Marine Science, 2015**. Disponível em:

https://academic.oup.com/icesjms/article-abstract/72/3/939/693816/Airborne-synthetic-aperture-radar-SAR-imaging-toby guest. Acesso: 25 September 2017.

LEITE, B. R. A.; SILVA FILHO, P. F. F.; SHIGUEMORI E. H.; **Detecção automática de armadilhas de pesca em imagens SAR com uso de informações de pontos característicos SIFT**. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

MALUF, S.; **O Sensoriamento remoto aplicado a um modelo de cartas de pesca.** Boletim do Instituto Oceanográfico. São Paulo. V. 29 (2). 227-230, 1980.

SILVA, C. N. DA, CARVALHO, M. P. BARBOSA JUNIOR, J. S.; **Uso de imagens SAR/SIPAM na detecção de apetrechos de pesca no litoral paraense**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 27-30 de julho de 2010.

SILVA, C. N.; **Geotecnologias aplicadas ao ordenamento territorial pesqueiro.** Belém-Pará, 2012. 190f. Tese (Doutorado em Ecologia Aquática e Pesca) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

SOUZA, I. S.; **Geotecnologia aplicada ao estudo das artes fixas da pesca artesanal na zona costeira do Baixo Sul da Bahia e Recôncavo Baiano.** Feira de Santana-BA, 2018. Dissertação (Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Universidade Estadual de Feira de Santana, 2018.

TRAVAGLIA, C.; PROFETI, G.; AGUILAR-MANJARREZ, J.; LOPEZ, N.A.; 2004. **Mapping coastal aquaculture and fisheries structures by satellite imaging radar. Case study of the Lingayen Gulf, the Philippines**. FAO Fisheries Technical Paper. No. 459. Rome, FAO. 2004. 45p. (available
128 at:http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/007/y5319e/y5 319e00.htm).

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

GERAÇÃO DE MODELOS 3D APROXIMADOS DE TELHADOS A PARTIR DE DADOS DE VARREDURA A LASER

MICHELLE SAYURI YANO YWATA[1]
ALUIR PORFÍRIO DAL POZ[2]

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP
Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT
[1]Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas
[2]Departamento de Cartografia, Presidente Prudente, SP
michelle.yano@gmail.com, aluir@fct.unesp.br

RESUMO - Este trabalho propõe um método para a geração de modelos 3D aproximados de telhados a partir de dados de varredura a LASER aerotransportado. Primeiramente, a nuvem de pontos LASER passa pelos processos de filtragem e classificação a fim de separar os pontos pertencentes aos telhados dos demais pontos da nuvem de pontos. Em seguida os pontos de telhados são segmentados através do método RANSAC (RANdom SAmple Consensus), a fim de identificar os pontos coplanares pertencentes a cada uma das faces do telhado. O método RANSAC desenvolvido neste trabalho realiza de forma automática a determinação dos limiares utilizados na etapa de análise da consistência entre os dados e o modelo hipotético obtido. Por fim, é realizada a detecção dos pontos das bordas de cada face, ajustamento de retas para representar essas bordas, e cálculo da intersecção dessas retas para a obtenção dos pontos de quina e cume que formarão o modelo 3D.

ABSTRACT - This research proposes a method for generation of approximate 3D roof models from airborne LASER scanning data. Firstly, the filtering and classification process is applied on the LASER point cloud to separate the points belonging to the roofs from the others points. Next, the roof points are segmented via RANSAC (RANdom SAmple Consensus) method, in order to identify the coplanar points of each roof face. The RANSAC method developed in this work determines automatically the thresholds used on the step of consistency analysis between the data and the model obtained. Lastly, the boundary points of each face is detected, then the adjustment of lines representing these boundaries is done, and the intersection between each line is calculated to obtain the corner and ridge points that will create the 3D model.

1 INTRODUÇÃO

A reconstrução tridimensional de edifícios tem sido uma área de pesquisa ativa nos campos de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Visão Computacional, isso porque a atualização dos modelos tridimensionais é de extrema importância para diversas aplicações como planejamento urbano, atualizações de cadastro, estudos ambientais (BENCIOLINI *et al*., 2018). A reconstrução 3D a partir de métodos de levantamento de campo tradicionais são muito custosos, tanto economicamente quanto em relação ao tempo. Já os métodos de fotogrametria digital sofrem com dificuldades como oclusões e baixo contrastes, o que dificulta a realização automática do processo de reconstrução.

No últimos anos os dados de varredura a LASER aerotransportado tem sido amplamente utilizados para produzir modelos 3D de edifícios de alta qualidade, pois ele é capaz de coletar em um curto espaço de tempo uma grande quantidade de pontos com coordenadas tridimensionais (CHEN *et al*., 2014). Isso facilita a automatização do processo de reconstrução, tornando-se mais vantajoso e atrativo em relação aos métodos tradicionais de Fotogrametria e Topografia.

A reconstrução de edifícios a partir de dados LASER pode ser realizada a partir de duas abordagens, denominadas *model-driven* e *data-driven* (TARSHA-KURDI *et al*., 2008). O *model-driven* baseia-se na procura do modelo mais adequado entre modelos primitivos de edifícios existentes em uma biblioteca de modelos. Os métodos baseados nessa abordagem consideram que uma primitiva de edifício pode ser descrita por um conjunto de parâmetros, o que implica no cálculo dos valores desses parâmetros para a construção tridimensional do modelo. A desvantagem desse método é ser dependente de uma biblioteca de modelos e estar sujeito a não conseguir modelar todos os tipos de edifícios existentes. Já o *data-driven* busca modelar cada parte da nuvem de pontos do edifício a fim de obter o melhor

modelo poliédrico para ele, fornecendo assim, modelos mais universais. Nos métodos baseados nessa abordagem, a detecção das faces dos telhados é uma operação crucial (TARSHA-KURDI *et al*., 2008).

Diversos autores têm apresentado o método RANSAC (RANdom SAmple Consensus) para a detecção de faces de telhados. Chen *et al*. (2012) apresentam uma abordagem de segmentação de dados LASER para a detecção de telhados de edifícios. Os pontos de terreno e não-terreno são separados através de filtros morfológicos, seguido da aplicação do método de crescimento de regiões para separar os pontos de edifício dos pontos de vegetação. Após isso, o método RANSAC é usado para refinar os telhados de edifícios obtidos na etapa anterior. Chen *et al*. (2014) propuseram uma adaptação do método RANSAC para a segmentação de planos de telhados considerando a consistência topológica entre os pontos, o que diminui a super- e sub-segmentação. Xu *et al*. (2017) apresentaram uma abordagem de extração de geometrias primitivas a partir de nuvem de pontos, incluindo objetos lineares, planares e cilíndricos. Primeiro, toda a nuvem de pontos é organizada através de uma estrutura baseada na técnica octree, levando em consideração a distância espacial, similaridade de forma e conectividade. Depois, um algoritmo RANSAC adaptado é aplicado para reconhecer e extrair as primitivas desses segmentos.

Neste contexto, este trabalho propõe um método para a geração de modelos 3D de telhado presentes em dados de varredura a LASER, a partir da modelagem de cada face do telhado. A segmentação das faces do telhado é feita através de um método RANSAC adaptativo, onde os limiares utilizados na análise da consistência entre os pontos e o modelo hipotético são obtidos automaticamente para cada face a partir da análise de histograma.

2 METODOLOGIA

O método proposto é divido em três etapas principais: 1) Filtragem e classificação da nuvem de pontos, a fim de separar os pontos pertencentes aos telhados dos demais pontos da nuvem de pontos; 2) Segmentação das faces dos telhados; e 3) Geração do modelo 3D.

2.1 Filtragem e classificação

Os processos de filtragem e classificação são realizados a partir do aplicativo LAStools, da Rapidlasso. Para iniciar a filtragem, a ferramenta *LASground* é aplicada à nuvem de pontos LASER. Essa ferramenta gera uma malha irregular a partir da nuvem de pontos de entrada e, a partir disso, classifica os pontos em "terreno" e "não-terreno". Em seguida, aplica-se a ferramenta *LASheight* para calcular a altura de cada ponto LASER acima da superfície do terreno. Essa ferramenta filtra os pontos classificados como "terreno" pelo *LASground*, gera um TIN formado por esses pontos de "terreno", e calcula a elevação de cada ponto "não-terreno" em relação a esse TIN. O próximo passo é classificar as regiões altas através da ferramenta *LASclassify*. Essa ferramenta exige que os pontos de "terreno" já tenham sido identificados pelo *LASground* e que a altura normalizada de cada ponto já tenha sido calculada pelo *LASheight*. Essencialmente, a ferramenta procura classificar as regiões altas em edifício ou vegetação, através da análise da altura, planaridade, e rugosidade de uma vizinhança.

2.2 Segmentação das faces do telhado

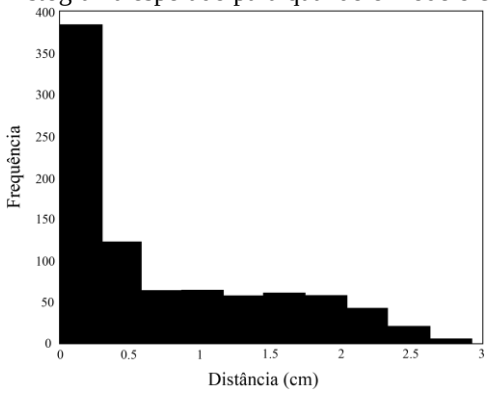
A segmentação das faces dos telhados dos edifícios é realizada através do método RANSAC adaptado para o caso da feição "Plano". Nesse caso, as etapas do algoritmo RANSAC ficam da seguinte forma:

1) Seja o modelo hipotético dado pela equação $AX + BY + C = Z$, que requer $n = 3$ observações para ser realizado e o conjunto P de todas as observações (nuvem de pontos LASER), tal que $\#P \geq n$.

2) Selecionar randomicamente um subconjunto *S1* com 3 pontos e determinar os três parâmetros (*A*, *B*, *C*) tendo por base esses 3 pontos.

3) Usar o modelo obtido para determinar o conjunto consenso *S1**, tal que *S1** contenha os pontos consistentes com esse modelo. Dois parâmetros são analisados para determinar se um ponto é consistente ou não com o modelo: distância e ângulo. O parâmetro de distância se refere à distância entre o modelo criado e os pontos do conjunto *S1** em análise, e o parâmetro angular se refere ao ângulo entre o vetor normal do modelo criado e o vetor gradiente em cada ponto do conjunto *S1** em análise. Quanto mais correto um ponto estiver do modelo criado, menor serão ambos parâmetros. Assim, se o modelo criado estiver correto, os histogramas gerados para ambos parâmetros terão a forma similar ao apresentado na Figura 1, com o pico à esquerda correspondendo aos pontos consistentes ao modelo criado. Basicamente, cada parâmetro é analisado automaticamente baseando-se em uma variação pré-definida para a largura das classes do histograma. Ao final, a largura de classe do histograma que apresentar o maior pico à esquerda é adotada como o limiar para os parâmetros (distância e angular). Os item a) e b) apresentam a estratégia adotada para a determinação dos limiares de distância e angular, respectivamente.

Figura 1 – Padrão de histograma esperado para quando o modelo criado estiver correto.



a) Determinação do limiar de distância: seja *p* um ponto em análise e π o modelo criado, o ponto *p* é compatível com o modelo π se a distância *d* entre os dois for menor que um dado limiar. A determinação desse limiar é realizada de forma automática para cada modelo π tendo por base os histogramas gerados a partir dos valores de distância entre os pontos em análise e o modelo π criado:
   - Calcular a distância (*d*) entre o modelo criado e todos os pontos em análise;
   - Construir histogramas com esses valores, com as larguras de classe assumindo os valores d_o, $d_o+\Delta d$, $d_o+2\Delta d$, ... $d_o+n\Delta d$, onde d_o é a largura de classe do primeiro histograma, Δd é um valor incremental e *n* é um número inteiro. Para que um modelo criado seja considerado correto, a seguinte condição de razão de frequências deve ser satisfeita: $f_d^2 / f_d^1 \leq L_d$, onde f_d^2 é a frequência da segunda classe, f_d^1 é a frequência da primeira classe do (n + 1)th histograma e L_d é um limiar pré-definido.
   - Se essa condição não for satisfeita até a largura de classe atingir um certo limiar, então o modelo criado é considerado incorreto, outros três pontos são selecionados e o processo é repetido desde a Etapa 3. Caso contrário, o modelo é considerado correto e o limiar de distância para esse modelo é a largura de classe do último histograma gerado.

b) Determinação do limiar angular: seja *p* um ponto em análise e π o modelo criado, o ponto *p* é compatível com o modelo π se o ângulo θ entre o vetor o normal a π e o vetor normal a *p* for menor que um dado limiar. A determinação desse limiar também é realizada de forma automática para cada modelo π tendo por base os histogramas gerados a partir dos valores angulares entre os pontos em análise e o modelo π criado:
   - Construir e analisar os histogramas de acordo com o mesmo procedimento usado para o parâmetro de distância. No entanto, os histogramas agora são construídos a partir das larguras de classe assumindo os valores θ_o, $\theta_o+\Delta\theta$, $\theta_o+2\Delta\theta$, ... $\theta_o+m\Delta\theta$, onde θ_o é a largura de classe do primeiro histograma, $\theta_o+m\Delta\theta$ é a largura de classe do último histograma e *m* é um número inteiro. A validação do modelo criado também é feita com base na razão de frequências entre a (f_θ^2) segunda e (f_θ^1) primeira classe do (m+1)th histograma, sob a condição $f_\theta^2 / f_\theta^1 \leq L_\theta$, sendo L_θ um limiar pré-definido.
   - Se essa condição não for satisfeita até $\theta_0 + m\Delta\theta > L_\theta^c$, o modelo criado é considerado incorreto, outros três pontos são selecionados e retorna-se à Etapa 3. Se o modelo for validado, o limiar angular para esse modelo sera a largura de classe do ultimo histograma gerado.

4) Se *#S1** for maior que um limiar *t*, usar *S1** para restabelecer o modelo definitivo; ao contrário, se *#S1** for menor que o limiar *t*, selecionar um novo subconjunto *S2*, tal que *#S2 = n*, e voltar à Etapa 3.

5) Em caso de sucesso, eliminar o subconjunto consensual *S1** de *P* e repetir o processo acima até que não seja possível achar um novo modelo candidato na região; caso contrário, encerrar porque nenhum modelo candidato foi encontrado na região.

2.2 Obtenção do modelo 3D

A geração do modelo 3D aproximado do telhado é realizada com base em três passos:

1) Detecção dos pontos de borda de cada uma das faces do telhado: após a segmentação de todas as faces dos telhados, é realizado o processo de detecção das bordas das faces segmentadas. Essa etapa é feita no aplicativo Matlab, a partir da ferramenta *boundary*, que realiza a detecção do contorno de conjuntos de pontos 2D ou 3D.
2) Ajustamento dos pontos de bordas: os pontos de borda detectados no passo anterior são ajustados através do método de regressão linear para a obtenção de retas que representem os lados das faces do telhado.

3) Cálculo da intersecção das retas: para a obtenção dos pontos de quina e cume que irão gerar o modelo 3D do telhado, realiza-se o cálculo da intersecção das retas obtidas no passo anterior.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Forma de análise dos resultados

Para a avaliação experimental do método proposto foi utilizado uma nuvem de pontos LASER da região de Presidente Prudente – SP, com densidade média de 8 pontos/ m^2.

Os resultados foram analisados visual e numericamente. A análise visual foi realizada a partir da inspeção visual dos polígonos de cada face extraída, sobrepostos nos polígonos considerados de referência obtidos a partir de restituição fotogramétrica. A análise numérica foi feita através do cálculo dos parâmetros de completeza (Equação 1) e correção (Equação 2), utilizando como referência os polígonos das faces extraídas manualmente a partir da restituição da imagem aérea do telhado, realizada através do aplicativo LPS. O parâmetro de completeza se refere à porcentagem da área de referência que foi extraída pelo método, e o parâmetro de correção está relacionado a quanto da área extraída está correta (FAZAN, 2014). A seguir são apresentadas as equações utilizadas para o cálculo da completeza e correção:

$$completeza = \frac{A_{E \cap R}}{A_R}\ 100\% \quad (1)$$

$$correção = \frac{A_{E \cap R}}{A_E}\ 100\% \quad (2)$$

onde:

- $A_{E \cap R}$ é a área do polígono resultante da intersecção entre os polígonos que descrevem os contornos das faces do telhado extraído e de referência;
- A_R é a área do polígono correspondente ao contorno da face do telhado de referência;
- A_E é a área do polígono correspondente ao contorno da face do telhado extraído.

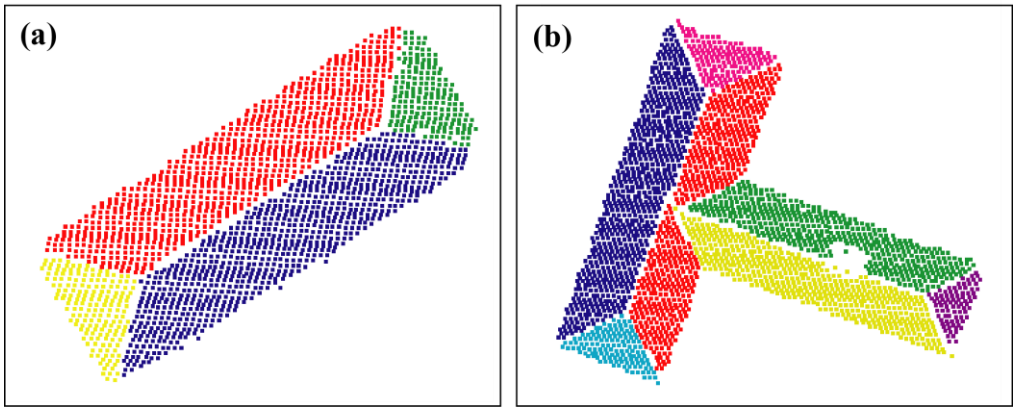
3.2 Resultados experimentais

A Figura 2 apresenta os dois edifícios utilizados nos experimentos deste trabalho, bem como a rotulação utilizada para cada face dos telhados. A Figura 2(a) apresenta o Edifício 1, composto por um telhado de forma retangular com quatro faces. A Figura 2(b) apresenta o Edifício 2, formado por um telhado com forma similar à letra "T" e sete faces.

Figura 2 – Imagem aérea e rotulação das faces dos edifícios utilizados. (a) Edifício 1. (b) Edifício 2.

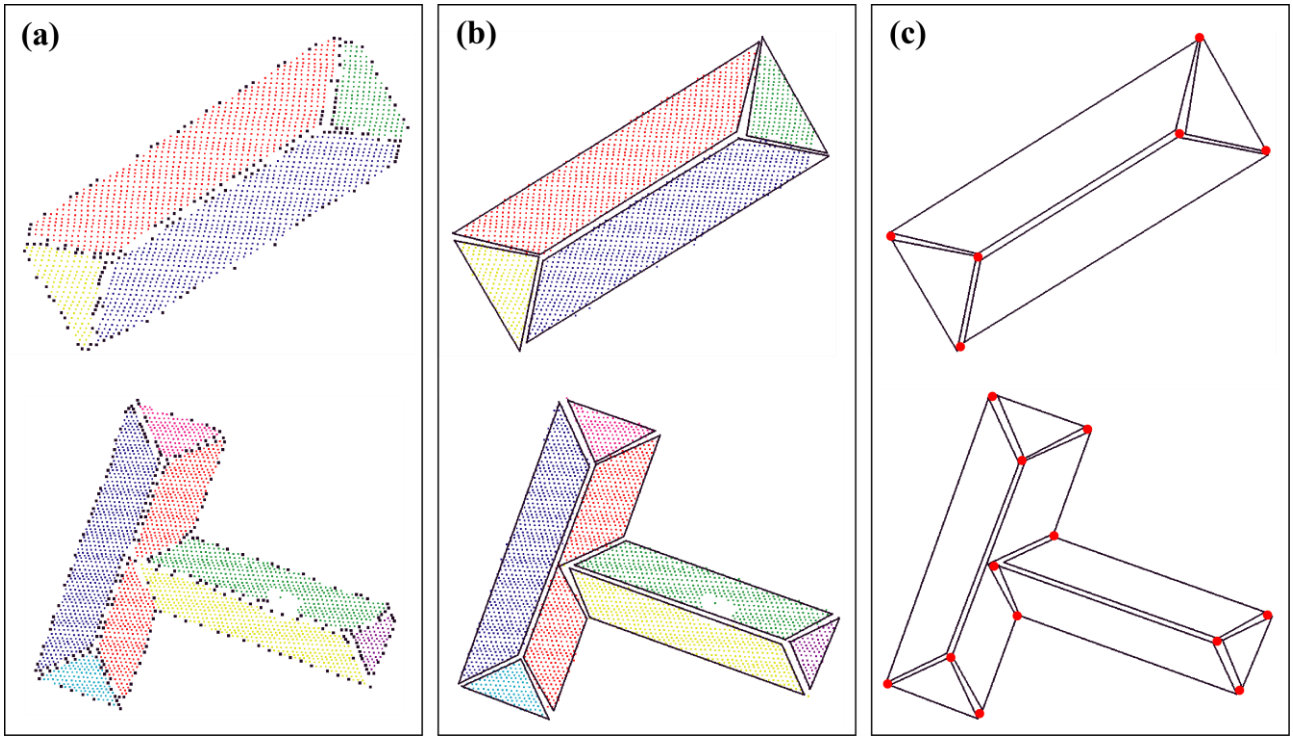
A Figura 3 apresenta a nuvem de pontos segmentada onde, para cada edifício, cada cor representa um conjunto de pontos coplanares identificados. É possível notar que o método de segmentação não detectou os pontos amostrados sobre as cumeeiras dos edifícios. Isso era esperado uma vez que os vetores normais desses pontos não obedecem ao critério de paralelismo, e assim, não são considerados pertencentes a algum plano. Essa mesma condição pode ser vista no objeto retangular presente no telhado do Edifício 2, que também não foi segmentado pelo método.

Figura 3 – Nuvem de pontos segmentada. (a) Edifício 1. (b) Edifício 2.



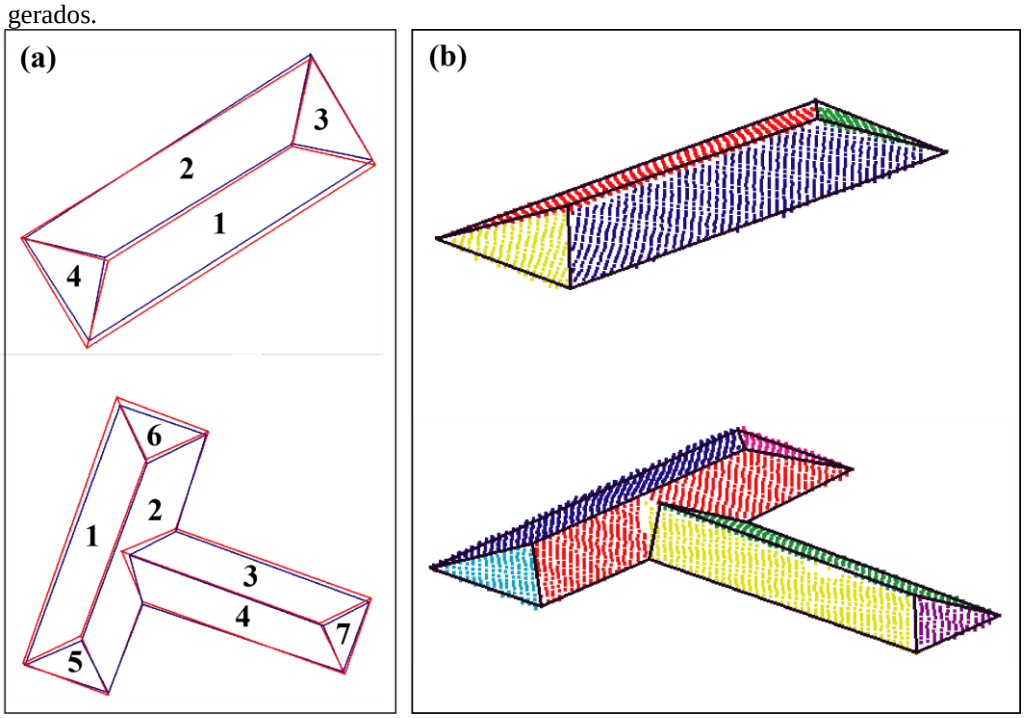
A Figura 4(a) apresenta o resultado da detecção dos pontos de bordas, e a Figura 4(b) apresenta as retas ajustadas a partir dos pontos de bordas detectadas. Como o método de segmentação não detecta os pontos de cumeeiras, não é possível gerar os modelos 3D de telhados com as lacunas deixadas entre os planos. Dessa forma, para obter os pontos de quina e cume do modelo 3D final, calcula-se as médias das coordenadas dos pontos referentes a uma mesma quina ou cume (pontos em vermelho na Figura 4(c)).

Figura 4 – (a) Pontos de borda detectados (preto). (b) Retas ajustadas. (c) Pontos de quinas e cumeeiras (vermelho) do modelo 3D final.



A Figura 5(a) apresenta o modelo 3D extraído (azul) sobreposto sobre o modelo 3D de referência (vermelho) obtido a partir de restituição fotogramétrica. A Figura 5(b) apresenta uma visualização tridimensional dos modelos gerados e a nuvem de pontos segmentada.

Figura 5 – (a) Modelo 3D extraído (azul) sobreposto sobre o modelo 3D de referência (vermelho). (b) Visualizaçao 3D dos modelos gerados.



O cálculo dos parâmetros de completeza e correção foram realizados comparando-se cada face de telhado extraída com sua respectiva face de referência. A Tabela 1 apresenta os valores obtidos para os dois edifícios.

Tabela 1 – Resultados dos parâmetros de completeza e correção.

Face	Edifício 1	
	Completeza (%)	Correção (%)
1	89.36	92.74
2	93.92	97.53
3	92.35	94.87
4	84.74	96.42
Média	90.09	95.39
Face	Edifício 2	
	Completeza (%)	Correção (%)
1	88.89	93.81
2	92.63	99.80
3	89.26	94.82
4	94.17	97.95
5	84.66	97.94
6	78.49	87.18
7	79.65	99.79
Média	86.82	95.89

No Edifício 1 os menores valores de completeza ocorreram nas Faces 1 e 4, e como pode ser visto pela Figura 5(a) a área extraída dessas duas faces são menores que a área das faces de referência, o que justifica os baixos valores de completeza. No Edifício 2 as faces que resultaram em valores de completeza abaixo de 90% (Faces 1, 3, 5, 6, 7) também são as faces que possuem área extraída menor que a área de referência.

Já o parâmetro de correção foi maior que 90% para todas as faces dos dois edifícios. Como a maioria das faces extraídas foram menores que as respectivas faces de referência, ou seja, a maioria das faces extraídas estavam contidas nas faces de referência, maior foi a chance da face extraída estar correta e assim fornecer maiores valores de correção.

Como pode ser vista pela Figura 5(a), no geral o modelo extraído foi menor que o modelo de referência. Isso se deve ao fato das bordas de telhados não serem bem definidas em dados de varredura a LASER, o que prejudica a extração da área correta dos telhados.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposto um método para a geração de modelos 3D aproximados de telhados, a partir da dados de varredura a LASER aerotransportados. Os processos de filtragem e classificação foram realizados para a separação dos pontos de telhado dos demais pontos da nuvem de pontos. Após isso foi realizada a segmentação dos pontos de telhado para a obtenção de cada face do telhado. Essa etapa foi realizada a partir do desenvolvimento de um método RANSAC que determina de forma automática os limiares utilizados durante a etapa de análise da consistência entre os pontos e o modelo hipotético obtido. Por fim, o modelo aproximado é gerado através da detecção dos pontos de borda das faces, ajustamento de retas para representar essas bordas e cálculo da intersecção dessas retas para a obtenção dos pontos de quina e cume. A precisão média dos parâmetros ajustados foi de 2.64 para o coeficiente angular e 19.70 para o coeficiente linear.

O processo de segmentação das faces não detecta os pontos amostrados sobre as cumeeiras, pois os vetores normais desses pontos não obedecem ao critério de paralelismo, ou seja, não seguem ao padrão de um plano. Sendo assim, o processo de segmentação deixou lacunas entre os planos detectados e foi necessário o cálculo das médias das coordenadas dos pontos referentes a uma mesma quina ou cume para a obtenção das coordenadas finais do modelo 3D. A discrepância média entre os pontos referentes a uma mesma quina ou cume foi de 0.78 m.

As bordas de telhados não são bem definidas em dados de varredura a LASER, o que resultou em modelos extraídos com área menor que os modelos de referência. Isso gerou resultados de correção maiores que 90%, uma vez que a maioria das faces extraídas estavam contidas nas faces de referência. Já os valores de completeza foram em torno de 80% em muitas faces, uma vez que menos área correta foi considerada extraída.

A partir da análise numérica e visual pode-se afirmar que o método proposto gera modelos 3D aproximados de telhado com resultados satisfatórios. No entanto, para uma melhor definição das bordas, recomenda-se o uso integrado de imagens aéreas, visto que feições desse tipo possuem melhores definições em imagens.

AGRADECIMENTO

À FAPESP pela concessão da bolsa de mestrado do primeiro autor (nº processo 2013/16452-8), à Sensormap pelo fornecimento dos dados de varredura a LASER, e à Engemap pelo fornecimento das imagens aéreas.

REFERÊNCIAS

BENCIOLINI, B.; RUGGIERO, V.; VITTI, A.; ZANETTI, M. Roof planes detection via a second-order variational model. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 138, p. 101–120, 2018.

TARSHA-KURDI, F.; LANDES, T.; GRUSSENMEYER, P. Extended RANSAC algorithm for automatic detection of building roof planes from LIDAR data. **The Photogrammetry Journal of Finland**, v. 21, n. 1, p. 97-109, 2008.

FAZAN, A. J. **Extração de contornos de telhados de edifícios no espaço-objeto baseada em snakes e programação dinâmica a partir de TIN/LASER e imagens aéreas de alta resolução.** Tese (doutorado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2014.

CHEN, D.; ZHANG, L.; LI, J.; LIU, R. Urban building roof segmentation from airborne LiDAR point clouds. **International Journal of Remote Sensing**, v. 33, p. 6497-6515, 2012.

CHEN, D.; ZHANG, L.; MATHIOPOULOS, P. T. A Methodology for Automated Segmentation and Reconstruction of Urban 3D Buildings from ALS Point Clouds. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing**, v. 7, n. 10, 2014.

XU, T.; TUTTAS, S.; HOEGNER, L.; STILLA, U. Geometric Primitive Extraction From Point Clouds of Construction Sites Using VGS. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 14, n. 3, 2017.

IDENTIFICAÇÃO DO USO DO SOLO POR ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NO SUL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PAJEÚ

JOSÉ GUSTAVO DA SILVA
LEIDJANE MARIA MACIEL DE OLIVEIRA
MARÍLIA MARQUES VELLOSO DA SILVEIRA

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Recife, PE
jgustavo.silva@outlook.com, leidjaneoliveira@hotmail.com, marilia.marques.vs@gmail.com

RESUMO - A análise de variabilidade de cobertura do solo no Sertão Pernambucano através de imagens geradas por Sensoriamento Remoto vem assumindo grande importância para o planejamento da utilização dos recursos naturais, monitoramento e análise ambiental nessa região. Este estudo teve como objetivo comparar NDVI, NDWI e SAVI atrelados ao Modelo de Elevação Digital (MDE) na área sul a Bacia do Rio Pajeú – PE para identificar o uso do solo. Foram adquiridas imagens TM – Landsat 5 da área em estudo, referentes ao dia 01/11/2008 na órbita 216 e ponto 66. O NDVI apresentou valores na faixa de 0,200 a 0,400, configurando uma cobertura vegetal e atividade fotossintética. O NDWI apresentou valores abaixo de 0, evidenciando neste estudo áreas com baixo teor de presença de água, vegetação seca, solo exposto e áreas urbanas. O SAVI demonstrou valores maiores que 0,16, em lugares distantes do rio, que representam uma significativa vegetação e valores entre 0,02 e 0,16, que representam solos expostos. Pontua-se ainda que as cartas georreferenciadas do NDVI e NDWI demonstram pixels que configuraram a presença da mata ciliar nas margens do Rio São Francisco e do Rio Pajeú.

ABSTRACT - The analysis of soil cover variability in Sertão Pernambucano through images generated by Remote Sensing has been of great importance for the planning of the use of natural resources, monitoring and environmental analysis in this region. This study aimed to compare NDVI, NDWI and SAVI coupled to the Digital Elevation Model (MDE) in the southern area of the Pajeú River Basin - PE to identify land use. TM - Landsat 5 images were acquired from the study area, referring to the 01/11/2008 in the orbit 216 and point 66. The NDVI presented values in the range of 0,200 to 0,400, configuring a vegetation cover and photosynthetic activity. NDWI presented values below 0, evidencing in this study areas with low water content, dry vegetation, exposed soil and urban areas. The SAVI showed values higher than 0.16, in places far from the river, which represent a significant vegetation and values between 0.02 and 0.16, which represent exposed soils. It is also noted that the georeferenced charts of NDVI and NDWI demonstrate pixels that configured the presence of ciliary forest on the banks of the São Francisco River and the Pajeú River.

1 INTRODUÇÃO

O Sertão pernambucano caracteriza-se por longos períodos de estiagem, resultando em um grande estresse hídrico na região, além de sofrer alterações na cobertura da vegetação nativa devido a atividades antrópicas de irrigação. Atualmente, o monitoramento do comportamento hídrico associado à variação da cobertura vegetal por meio de técnicas do Sensoriamento Remoto (SR) encontra-se cada vez mais recorrente no cenário mundial (Farias et al., 2017).

Quanto à técnica SR é fundamental para o registro do uso da terra ao longo do tempo, pois permite avaliar as mudanças ocorridas na paisagem. Um estudo interdisciplinar faz-se necessário para caracterizar alvos na superfície terrestre com a técnica SR devido à complexidade de analisar diversos fatores ambientais interagindo simultaneamente, entretanto, um dos mais importantes desses fatores é a cobertura vegetal, na qual foram criados diversos índices de vegetação com o objetivo de ressaltar o comportamento espectral da mesma em relação ao uso do solo e outros alvos (Santiago et al., 2009). Dessa maneira, o SR é uma ferramenta difundida no estudo dos recursos hídricos devido ao fornecimento de informações atualizadas facilitando diagnósticos de ocupações sustentáveis em bacias hidrográficas e parâmetros biofísicos.

Dentre os diversos índices de vegetação existentes, destacam-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Umidade por Diferença Normalizada (NDWI) e o Índice de Vegetação Ajustado para os efeitos do solo (SAVI).

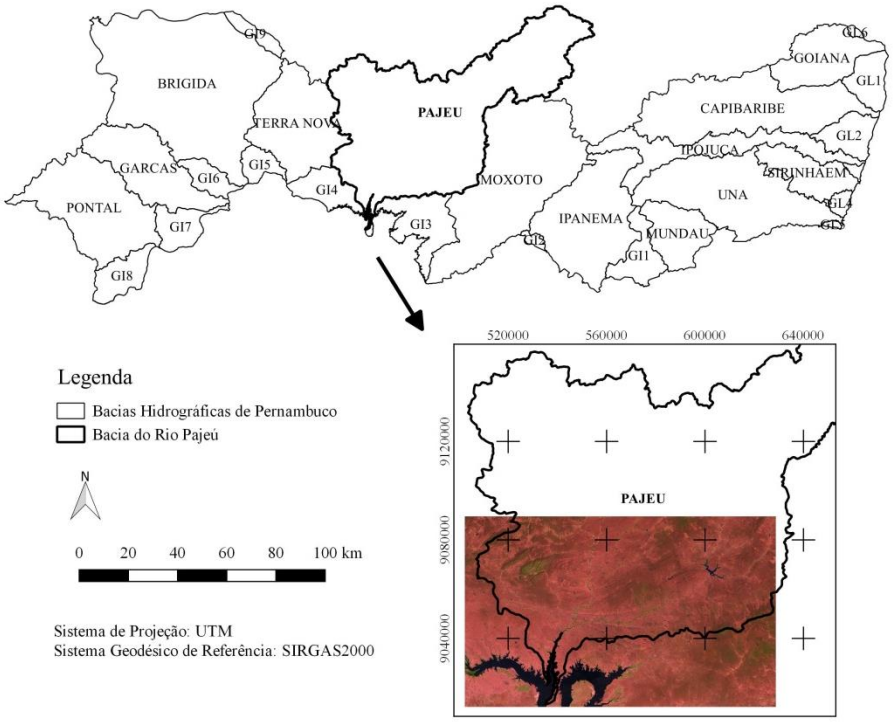
Farias et al. (2017) utilizaram o NDVI e NDWI para observar variabilidade espaço-temporal da cobertura do solo da Bacia Hidrográfico do Alto de Ipanema no munícipio de Buíque-PE, verificando o crescimento de uma cobertura vegetal e baixo teor de presença de água para os índices respectivamente já citados. Em relação ao SAVI, Santiago et al. (2009) utilizaram o índice para análise da cobertura vegetal no entorno da barragem de Botafogo-PE, encontrando pequenas fragmentações de solo exposto nos terrenos mais elevados e, ainda, pequenas ocupações humanas.

Como parte integrante dos recursos hídricos brasileiros está a Bacia do Rio Pajeú situada em sua porção Sul entre os municípios de Floresta e Carnaubeira da Penha inserida no Sertão pernambucano, de suma importância para o monitoramento, devido a longos períodos de estiagem. Desta forma, é importante pesquisas com SR para identificação de uso e ocupação do solo, assim, esta pesquisa tem como objetivo identificar o uso do solo por índices de vegetação no sul da bacia hidrográfica do Rio Pajeú.

2. METODOLOGIA DO TRABALHO

A área de estudo abrange a parte sul da Bacia do Pajeú – Pernambuco (Figura 1), localizada entre 07º 16’ 20” e 08º 56’ 01” de latitude sul, e 36º59’ 00” e 38º57’ 45” de longitude oeste, formando a Unidade de Planejamento Hídrico UP9. A bacia do rio Pajeú é a maior bacia do Estado de Pernambuco, com uma área de 16.685,63 km², correspondendo a 16,97% da área do Estado. A área de drenagem da bacia envolve 27 municípios dos quais 7 possuem suas sedes inseridas na bacia (Carnaíba, Carnaubeira da Penha, Floresta, Iguaraci, Itacuruba, Mirandiba e São José do Belmonte) (APAC, 2018).

Figura 1 – Localização da área sul da Bacia do Rio Pajeú – PE



Fonte: Autor (2018)

Utilizou-se a imagem correspondente ao dia 01/11/2008, do satélite Land Remote Sensing Satellite (Landsat 5), sensor Thematic Mapper (TM), com resolução espacial de 30 m para as bandas 1,2,3,4,5,7 e 120 m para a banda 6. As cenas georreferenciadas foram obtidas no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). A Tabela 1 detalha as características da imagem para processamento dos índices de vegetação utilizando-se o software livre QGIS.

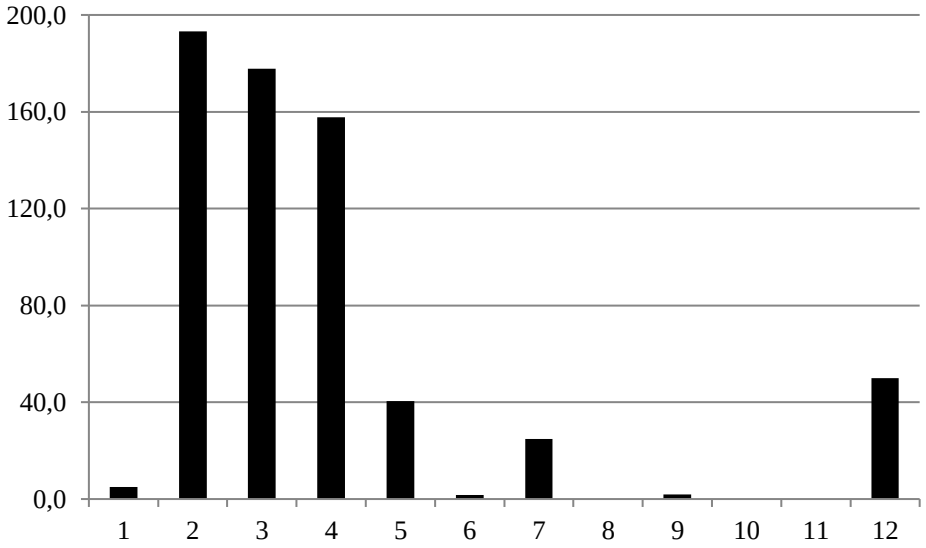
Tabela 1 - Data da imagem, hora, ângulo de elevação do Sol, órbita e ponto do satélite.

Data	Hora (UTM)	Ângulo de elevação do Sol	Órbita	Ponto
01/11/2008	12:25:19	61,7506	216	66

Fonte: USGS (2018)

Para a identificação dos índices pluviométricos na área estudada, foram utilizados dados de precipitação obtidos no site da APAC, no posto 32 pertencente à CHESF, no município de Floresta-PE. Foram analisados dados médios mensais de precipitação do ano de 2008, que corresponde a data da imagem TM Landsat 5 utilizada nesta pesquisa conforme visualização gráfica da Figura 2.

Figura 2 – Precipitação mensal (mm) de 2008 no município de Floresta – PE



Fonte: APAC (2018)

No Sul do Pajeú, especificamente no munício de Floresta, predomina o clima de estepe local. Em relação ao regime de chuvas, apresenta pouca pluviosidade ao longo do ano. A classificação do clima é BSh, de acordo com Köppen e Geiger (INMET). Observa-se que 0,0 mm é a precipitação média do mês Agosto, este o mais seco. Em contrapartida, em Fevereiro cai a maioria da precipitação anual, com uma média de 193,2 mm. Assim, destaca-se que o período chuvoso compreende os meses de Dezembro a Abril, e período de estiagem de Maio a Novembro, sendo este o período analisado.

Para processamento do NDVI e NDWI, utiliza-se a radiância espectral e a reflectância das bandas 3, 4 e 5 do TM Landsat5.

A primeira etapa para obtenção do NDWI e NDVI foi a calibração radiométrica, proposta por Markham e Baker (1987), dada pela equação:

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

onde: $L_{\lambda i}$ = radiância espectral de cada banda ($Wm^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$); "a" e "b" = radiância espectrais mínimas e máximas; *ND* = número digital (valor entre 0 e 255); i = cada banda do TM Landsat 5.

Sendo os valores de "a" e "b" retirados da Tabela 2 de descrição das bandas do TM Landsat 5, com os intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – a; radiância máxima – b) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA).

Tabela 2 - Dados de comprimento de onda (µm), coeficientes de calibração ($Wm^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$) e irradiância espectral no Topo da Atmosfera – kλi ($Wm^{-2}.\mu m^{-1}$).

Bandas	Comprimento de onda (µm)	Coeficientes de Calibração ($Wm^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$)		Irradiância espectral no Topo da Atmosfera- Kλi ($Wm^{-2}.\mu m^{-1}$)
		a	b	
3 (vermelho)	0,626-0,693	-1,17	264,0	1536
4 (IV-próximo)	0,776-0,904	-1,51	221,0	1031
5 (IV-médio)	1,567-1,784	-0,37	30,2	220

Fonte: Adaptado de Chander *et al*. (2009)

Em seguida, efetiva-se a determinação da reflectância espectral monocromática de cada banda (ρλi), que é dada em função da radiância espectral (Lλi), irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera (kλi), do ângulo zenital (Z), e distância Terra-sol (dr),conforme a equação obtida por Oliveira et al. (2010):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi . L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} . cosZ . d_r} \quad (2)$$

$$\cos Z = \cos(\tfrac{\pi}{2} - E) \quad (3)$$

$$d_r = 1 + 0{,}033 \cos(\tfrac{DSA.2\pi}{365}) \quad (4)$$

O processamento do NDVI é a partir da equação e Rouse et al. (1973) onde os resultado variam do -1 a +1, sendo que, em superfícies com vegetação verde, os valores variam de 0 a 1 e, na água ou nuvens, os valores são geralmente menores que 0. A função do índice é determinar as mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento e atividades da vegetação, possibilitando o perfil temporal de crescimento e pico de verde, ele é determinado como uma função da reflectância da banda do infravermelho próximo (ρIV) e a reflectância da banda do vermelho (ρV), conforme:

$$NDVI = \frac{\rho_{IV\rho} - \rho_v}{\rho_{IV\rho} + \rho_v} \quad (5)$$

O NDWI, proposto por Gao (1996), permite detectar com mais qualidade a mudança da biomassa vegetal no que concerne a quantidade de água em culturas agrícolas, pela configuração do estresse hídrico no ambiente, através da relação entre as bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio, pela equação:

$$NDWI = \frac{\rho_{IV} - \rho_{IVM}}{\rho_{IV} + \rho_{IVM}} \quad (6)$$

O Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (SAVI) considera os efeitos do solo exposto nas imagens analisadas, conforme Huete (1988), pela equação:

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV\rho} - \rho_V)}{L + \rho_{IV\rho} + \rho_V} \quad (7)$$

onde: L é o fator de ajuste sendo mais utilizado (L = 0,50); ρIVp é a reflectância da banda do infravermelho próximo (reflectância da banda4) e ρV é a reflectância da banda do vermelho (reflectância da banda 3).

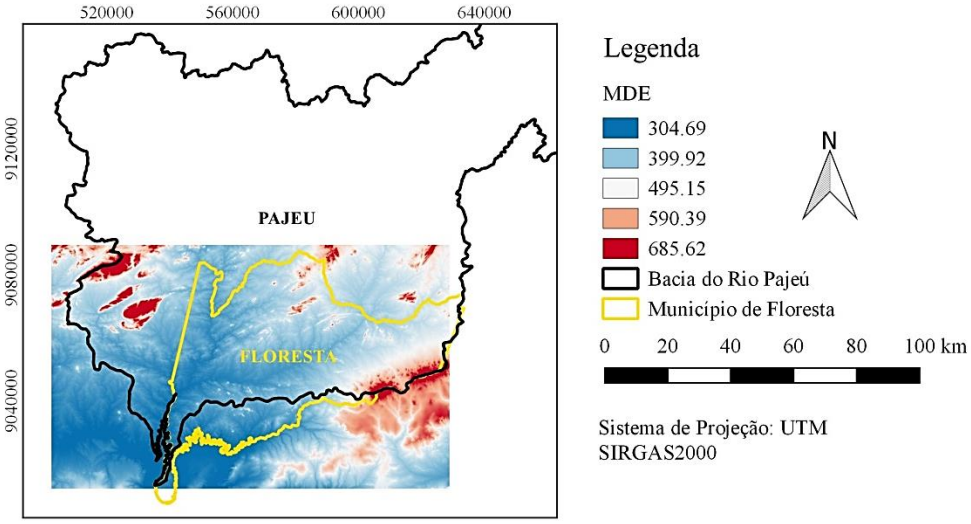
Para melhor configuração do Sul da bacia do Rio Pajeú foi processado no software de livre acesso QGIS o relevo sombreado, tendo como referência o Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em seu projeto Topodata – Banco de Dados Geomorfométricos (INPE, 2018).

Um Modelo Digital de Elevação (MDE) representa uma fonte para o conhecimento do relevo da superfície terrestre, permitindo a derivação de informações sobre a declividade, exposição solar e mapeamento da rede de drenagem de áreas extensas. Segundo IBGE (2018), trata-se de um modelo digital que representa as altitudes da superfície topográfica agregada aos elementos geográficos existentes sobre ela, como cobertura vegetal e edificações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3, a partir do MDE do Sul da bacia do Rio Pajeú, pode ser identificado o relevo característico da região, com altitudes que variam entre 304,69 e 685,62 m. As faixas com tonalidades em azul representam as altitudes mais baixas, já as com tonalidades avermelhadas caracterizam as maiores altitudes da superfície topográfica.

Figura 3 - MDE do Sul da Bacia do Rio Pajeú – PE

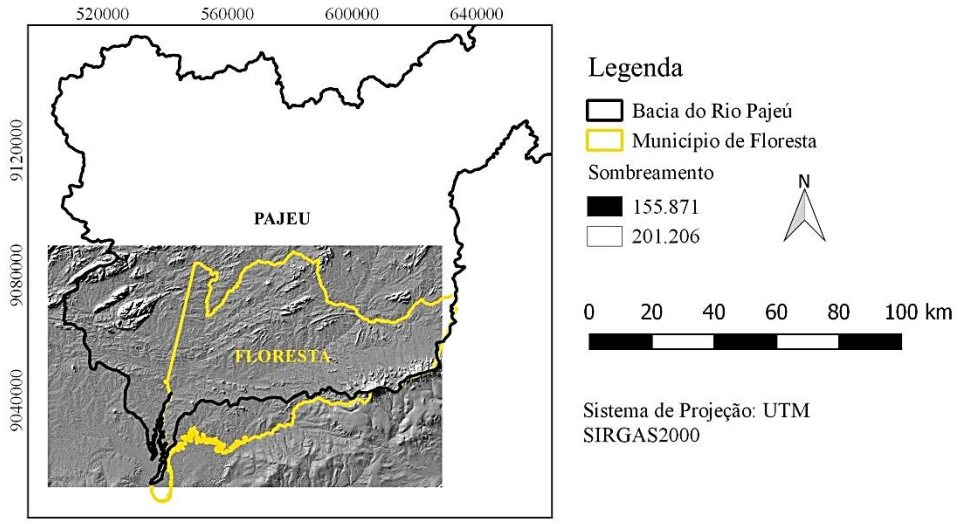


Fonte: Autor (2018)

O sombreamento foi criado a partir do MDE do tipo *raster* que permite calcular declividades por pixel. Assim, pode-se estabelecer o tipo de insolação, seu azimute de incidência e sua inclinação em relação ao horizonte. Por conseguinte, cria-se um mapa do relevo usando luz e sombra para proporcionar uma aparência mais tridimensional ao mapa, conforme Figura 4. O mapa de saída é uma única banda de cinza refletindo o valor de cinza dos pixels (LAPIG, 2018).

O crescente uso de modelos digitais de elevação traz a tona algumas questões sobre suas formas de visualização. No geral, os MDEs podem ser visualizados por meio de uma escala de cor, mas esse tipo de visualização não possibilita a representação de feições sutis do terreno. Então, muitos usuários recorrem à técnica de relevo sombreado, que destaca essas variações sutis da topografia e permite uma interpretação mais próxima do real da área estudada (Tinós et al., 2014).

Figura 4 - Relevo Sombreado do Sul da Bacia do Rio Pajeú – PE



Fonte: Autor (2018)

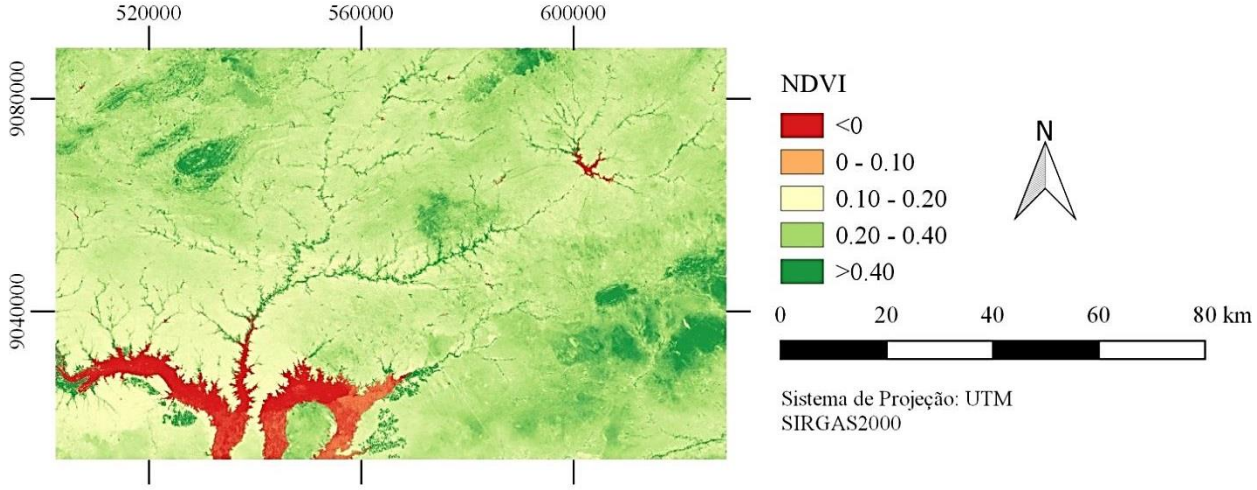
As relações entre o relevo e a declividade do terreno (Figuras 3 e 4) indicaram predominância de áreas de relevo plano e suave ondulado, mas também há existência de áreas com maiores altitudes, pois estes presentaram significativa declividade no Sul da Bacia do Rio Pajeú. Em conformidade com pesquisas da Embrapa (2016), para fins de cobertura no Pajeú, foi obtida a conclusão de área de vegetação natural representando três quartos da área da bacia, bem como as áreas de Caatinga aberta ocorrem em relevos plano e suave ondulado, já as áreas de Caatinga densa sugerem uma cobertura adequada do solo exposto.

A Figura 5 detalha o NDVI do Sul da bacia com o intuito de verificação das atividades da vegetação, com destaques para os picos de cor verde escuro. Segundo Huete & Tucker (1991), os valores de NDVI para os solos expostos são, geralmente, na faixa de 0,05 a 0,30, entretanto devido às propriedades óticas do solo, não se pode definir uma faixa rigorosa de valores de NDVI para solos com pouca ou nenhuma vegetação.

No ano de 2008 a região demarcada com NDVI com valores menores que 0,10 até 0,20 representam regiões com vegetação estressada ou área degradada pela ação antrópicas, enquanto que as áreas com NDVI maior que 0,40, em sua maioria são regiões de alto vigor vegetativo, de fato, quando comparadas com o relevo sombreado verificam-se que os pontos mais altos evidenciam maiores valores de NDVI (Figuras 4 e 5).

Nos estudos de Santiago et al. (2009) também se destacaram, no município de Buíque-PE (Bacia do Rio Ipanema), os valores menores que 0,15 até 0,25 representando regiões com vegetação estressada ou área degradada pela ação antrópica, enquanto que as áreas com NDVI maior que 0,35 são regiões de expressiva vegetação, o que valida os resultados desta presente análise.

Figura 5 – NDVI no Sul da Bacia do Rio Pajeú – PE

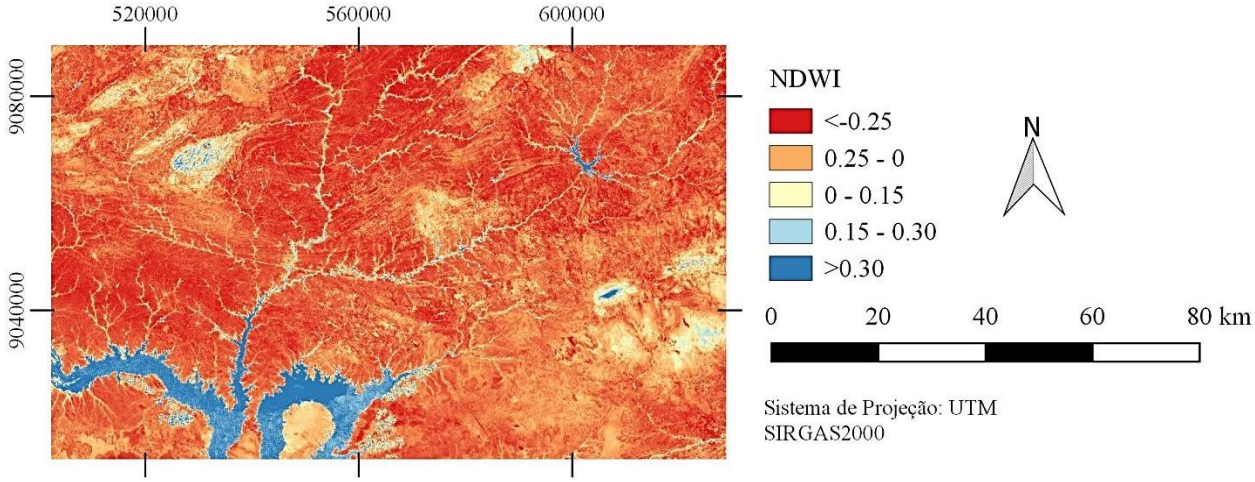


Fonte: Autor (2018)

Para a data das imagens coletadas, o NDWI apresentou valores entre -0,20 e 0,25, representados nas cores vermelho, laranja, amarelo e azul, respectivamente (Figura 6). Conforme Ferreira et al. (2012) os valores de NDWI negativos possuem uma correspondência com vegetação seca, solo exposto e áreas urbanas, enquanto que valores superiores a 0,1 foram identificadas como áreas com agricultura irrigada e corpos hídricos.

Salgueiro e Montenegro (2008) pontuaram que, no setor sul do Sertão, os valores de precipitação anuais são inferiores a 600 mm, com algumas áreas atingindo valores inferiores a 500 mm, sendo que no Sertão do São Francisco os valores médios chegam apenas a 400 mm/ano. Nesse sentido, o NDWI na região analisada (Figura 6) não obteve grande variação nos seus valores e apresentou valores abaixo de 0, o que pode ser atribuído ao baixo regime pluviométrico do Sertão no mês de novembro no ano de 2008, conforme Figura 2, evidenciando neste estudo áreas com baixo teor de presença de água devido ao período de seca.

Figura 6 – NDWI no Sul da Bacia do Rio Pajeú – PE

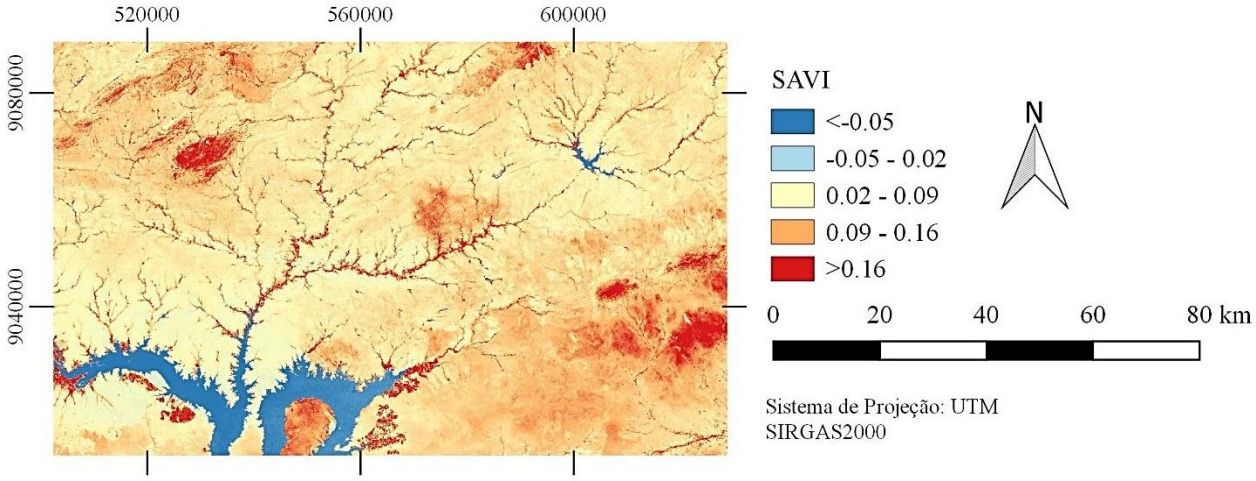


Fonte: Autor (2018)

O NDWI expõe que as classes de valores negativos indicam solos expostos ou área urbana, já as classes de 0 a 0,15 são áreas de mata ciliar e as classes representadas pelos valores entre 0,15 e 0,25 indicam áreas de vegetação esparsa e árvore de pequeno porte. Conforme os resultados de Oliveira et al. (2013), tanto no NDVI quanto no NDWI, a mata ciliar é representada com valores mais elevados que os solos expostos ou área urbana, por possuir alta taxa de umidade devido ao fato de se encontrar nas imediações dos corpos hídricos. Assim, observou-se nos NDVI e NDWI (Figura 5 e 6) esse comportamento de classes no Sul da bacia do Rio Pajeú.

Através da Figura 7 foi possível observar as classes de caracterização da superfície pelo SAVI, que variam entre -0,05 e 0,16, representadas pelas cores azuis, amarelo, laranja e vermelho, respectivamente. Dessa forma, torna-se uma ferramenta para o monitoramento de uso e ocupação do solo e estudos que abrangem a dinâmica da vegetação.

Figura 7 – SAVI no Sul da Bacia do Rio Pajeú – PE



Fonte: Autor (2018)

Santiago et al. (2009) afirmaram que o SAVI faz parte de um grupo de índices considerados híbridos por utilizarem a razão de bandas com parâmetros de ajuste para amenizar o efeito da presença de solo em meio à vegetação. Os parâmetros de ajuste podem ou não considerar os coeficientes da linha do solo, mas sempre expressam o intuito de minimizar o efeito de fundo do solo. O SAVI demonstra que valores maiores que 0,16 (Figura 7) caracterizam regiões com presença de vegetação. Pontua-se, ainda, que as regiões de maiores altitudes evidenciam os maiores valores de SAVI (Figura 3 e 7), o que foi observado pelo aumento de solo exposto.

4. CONCLUSÕES

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Água por diferença Normalizada (NDWI), o Índice de Vegetação Diferenciada Normalizada (SAVI) e o Modelo Digital de Elevação (MDE) apresentaram grande relevância na identificação do uso do solo pela análise da cobertura do mesmo, influenciada pelos eventos chuvosos da região. Os valores em pixels representaram a real configuração da superfície terrestre, evidenciando a sensibilidade e praticidade de estudos com índices de vegetação pelo sensor TM Landsat 5 em áreas do Sertão pernambucano.

Para o NDVI houve expressão de cobertura de alto teor vegetativo, com valores acima de 0,40 em áreas marginais do Rio Pajeú e nos pontos de pico da superfície como identificado no MDE. Entretanto, para o NDWI não houve grande variação e apresentou valores abaixo de 0, e isso pode ser atribuído ao período de estiagem no dia do imageamento em novembro de 2008, evidenciando áreas com baixo teor de presença de água e apenas pequenas concentrações também nos pontos de pico. Em contrapartida, o SAVI obteve valores na faixa entre -0,05 e 0,02 caracterizando regiões com presença de vegetação nas margens do Pajeú e nos pontos de pico, o que é nítido de ser observado pela definição do Rio em valores menores que -0,05, possibilitado pelo aumento do solo exposto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) pelos dados pluviométricos, ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) pela disponibilidade das imagens orbitais e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por disponibilidades de dados Geomorfométricos.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, L.J.O.; SILVA, A.B.; CAVALCANTI, E.A. **Uso e Cobertura das Terras da Bacia do Rio Pajeú, PE (Escala 1:100000) e suas Relações com o Relevo e a Desertificação**. IV Seminário da Rede Agrohidro, Embrapa, Brasília, DF, 2016, pp. 281-289.

ANDRADE, C. B.; OMENA, J. A. M.; VILLAR, A. C.; GUSMÃO, L.; RODRIGUES, D. F. B.; OLIVEIRA, L. M. M. **Características fisiográficas e índices de vegetação no sertão pernambucano**. VI Encontro de Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal de Pernambuco, 2018.

ALLEN, R.; BASTIAANSSEN, W.; WATERS, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **Surface energy balance algorithms for land (SEBAL)**. Idaho implementation - Advanced training and user's manual, version 1.0, 2002. 97p.

APAC. **Agência Pernambucana de Águas e Climas**. Sistema de Informação Geográfica. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/sighpe/>. Acesso: 25 de Maio de 2018.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Disponível em: < https://www.embrapa.br/>. Acesso: 25 de Maio de 2018.

FARIAS, M.O.; CANDEIAS, A.L.B.; OLIVEIRA, L.M.M.; ALMEIDA, D.N.O.; TAVARES, J.R. **Variabilidade espaço-temporal da cobertura do solo por índices de vegetação e água no Agreste Pernambucano**. Revista Brasileira de Agrotecnologia, p. 91-99, 2017.

FERREIRA, J. M. S.; FERREIRA, H. dos S.; SILVA, H. A. da; SANTOS, A. M. dos; GALVÍNCIO, J. D. **Análise Espaço-Temporal da Dinâmica da Vegetação da Caatinga no Município de Petrolina-PE**. Revista Brasileira de Geografia Física, pp. 904-922, 2012.

GAO, B. C. **NDWI-A Normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space**. Remote Sensing of Environment, p.257- 266, 1996.

HUETE, A. R. **Adjusting vegetation indices for soil influences**. International Agrophysics, v.4, n.4, p.367-376, 1988

HUETE, A.R.; TUCKER, C.J. **Investigation of soil influence in AVHRR red and near infrared vegetation index imagery**. International Journal of Remote Sensing, v.12, p. 1223 – 1242, 1991.

INMET - **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: < http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso: 26 de Maio 2018.

INPE - **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em: < http://www.inpe.br/>. Acesso: 26 de Maio de 2018.

IBGE - **Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística**. Modelos digitais de superfície. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso: 26 de Maio 2018.

LAPIG. **Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento**. Disponível em <https://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/>. Acesso: 22 de Agosto de 2018.

MARKHAM, B. L.; BARKER, L. L. **Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances**. International Journal of Remote Sensing, v.8, n.3, p.517-523, 1987.

OLIVEIRA, L. M. M. DE; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B. DA; MOURA, A. E. S. S. DE; GUSMÃO, A. C. V. EL.; SALGUEIRO, J. H. P. DE. B. **Índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do rio Tapacurá –PE**, in Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, RS, nov. 2013.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Prog. Rep. RSC 1978-1. Remote Sensing Cent., Texas A&M Univ., College Station, 1973.

SALGUEIRO, J.H.P.B.; MONTENEGRO, S.M.G.L. (2008). **Análise da distribuição espacial da precipitação na bacia do rio Pajeú em Pernambuco segundo método geoestatístico**. Revista Tecnologia Fortaleza, v. 29, n. 2, p.174-185, 2008.

SANTIAGO, M.M.; SILVA, H.A.; GALVINCIO, J.D.; OLIVEIRA, T.H. (2009). **Análise da Cobertura Vegetal Através dos Índices de Vegetação (NDVI, SAVI e IAF) no Entorno da Barragem do Botafogo-PE**. In Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, Abril 2009, 1, p. 3003-3009.

TINÓS, T.M.; FERREIRA, M.V.; ZAINE, J.E. ; RIEDEL, P.S. (2014). **Técnicas De Visualização De Modelos Digitais de Elevação para o Reconhecimento de Elementos de Análise do Relevo**. Revista Geociências, v. 33, n. 2, p.202-215, 2014.

USGS - **Serviço Geológico dos Estados Unidos**. Disponível em: < https://www.usgs.gov/>. Acesso: Maio de 2018.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

MAPEAMENTO DO CAFEEIRO NA REGIÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO DO PARAÍSO – MG

TALES CAMARGOS ABRANTES[1]*
PÂMELA AUDE PITHAN[1]
RIENE FILGUEIRAS DE OLIVEIRA[1]
MARGARETE MARIN LORDELO VOLPATO[2]

[1]Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
[1]Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CEPSRM
[1]Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Porto Alegre - RS - Brasil
[2]Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG
[2]Epamig Centro Sul, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras - MG - Brasil
{*abrantales, rienefilgueiras}@hotmail.com; pamelapithann@gmail.com; margarete@epamig.ufla.br

RESUMO - O Sensoriamento Remoto tem se dedicado ao estudo e investigação de metodologias mais eficientes, que sejam versáteis e de baixo custo, no mapeamento e caracterização de zonas cafeeiras ao longo de todo o território mineiro. Nesse sentido o presente trabalho tem como objetivo principal mapear o cafeeiro da região do município de São Sebastião do Paraíso – MG, a partir da classificação de imagens Sentinel 2A – MSI utilizando técnicas de SR. A área de estudo tem como ponto central o município de São Sebastião do Paraíso, localizado na região sudoeste do estado de Minas Gerais. Realizou-se a classificação utilizando o algoritmo classificador MAE (Mapeamento por Ângulo Espectral), a metodologia aplicada foi satisfatória, apresentando significativa acurácia nas classificações.
Palavras-chave: *Café; Classificação supervisionada; QGIS.*

ABSTRACT - Remote Sensing has been dedicated to the study and investigation of more efficient methodologies, which are versatile and low cost, in the mapping and characterization of coffee zones throughout the entire territory of Minas Gerais state, Brazil. In this sense, the main objective of this work is to map the coffee crop of the region of the city of São Sebastião do Paraíso - MG, using Sentinel 2A - MSI images using SR techniques. The study area is centered on the municipality of São Sebastião do Paraíso, located in the southwest region of Minas Gerais state. The classification was performed using the MAE (Spectral Angle Mapping) algorithm, the applied methodology was satisfactory, presenting significant accuracy in the classifications.
Key-words: *Coffee; Supervised classification; QGIS.*

1 INTRODUÇÃO

Diversos são os fatores que ainda dificultam a correta identificação e mapeamento de parques cafeeiros. Uma tecnologia que está em pleno desenvolvimento e tem se tornado cada vez mais atrativa para fins de obtenção de estatísticas agrícolas confiáveis e oportunas é o Sensoriamento Remoto (SR) (MOREIRA et al., 2010).

O SR é uma técnica com ampla gama de aplicações nos mais diversos ramos de investigação incluindo a Geografia e várias Ciências da Terra (e.g., Agronomia, Geologia, Hidrologia, Oceanografia, Ecologia, etc.), além de aplicações militares e de inteligência, humanitárias, econômicas, e de planejamento e gestão de recursos naturais (RICHARDS e JIA, 2006). Dados obtidos de sensores remotos permitem analisar e estudar o planeta Terra de uma posição privilegiada. Por meio deles é possível observar os ambientes mais longínquos, e até inacessíveis ao homem, por vezes dispensando a necessidade da obtenção de dados *in situ*. Além disso, é uma tecnologia que possibilita ampliar a visão humana nos âmbitos espectral, espacial e temporal do ambiente terrestre (JENSEN, 2009; NOVO, 2010).

A EPAMIG, nomeadamente o Geosolos – uma parceria entre EPAMIG, Embrapa Café e a Universidade Federal de Lavras (UFLA) – no âmbito da tecnologia do SR, têm se dedicado ao estudo e investigação de metodologias mais eficientes, que sejam versáteis e de baixo custo, no mapeamento e caracterização de zonas cafeeiras ao longo de todo o território mineiro. Essas metodologias para caracterização ambiental e o mapeamento da cultura cafeeira, bem como os resultados obtidos nos projetos desenvolvidos pela equipe de pesquisadores estão disponíveis para acesso gratuito e de forma interativa por meio de webmapping no sítio online: <http://www.epamig.ufla.br/geosolos>.

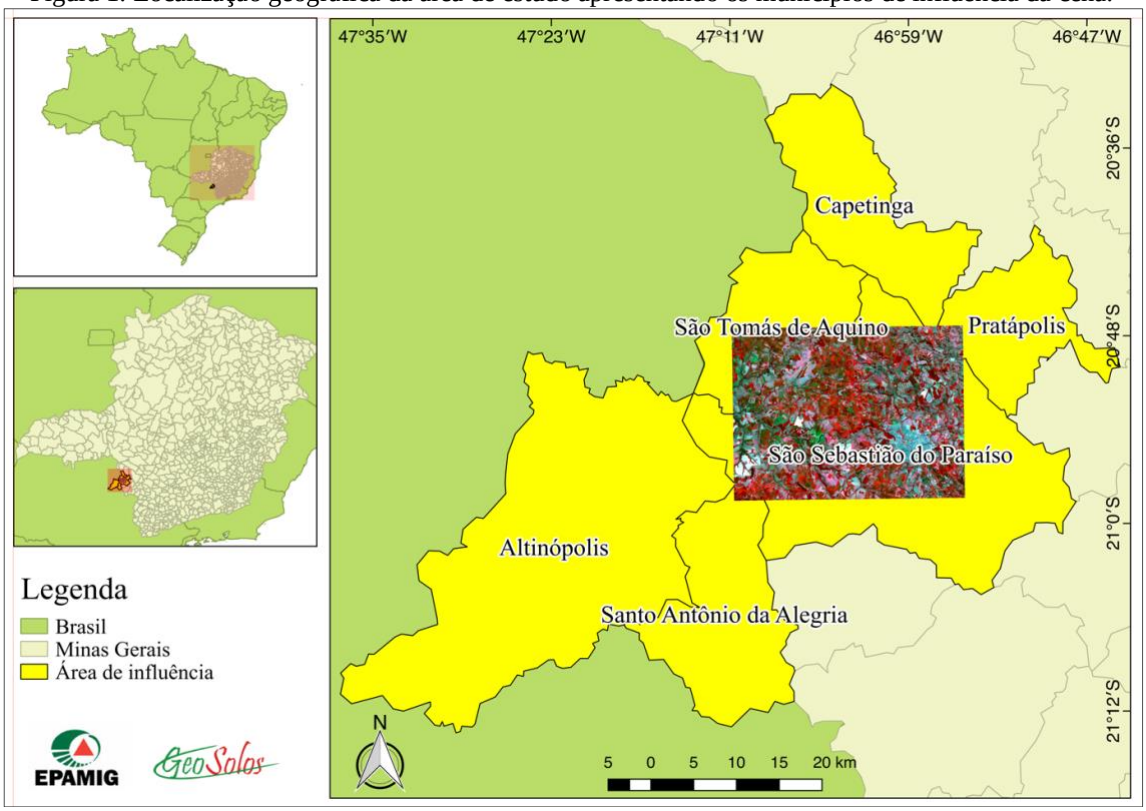
O Brasil, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2017), é o maior produtor e exportador mundial de café. Assim sendo, é indispensável que se compreenda a dinâmica dessa cultura. Uma alternativa que tem sido altamente eficiente e considerada promissora é o uso de ferramentas do SR para o mapeamento e estimativa da produção numa escala territorial mais abrangente. Baseado no exposto, este trabalho tem como objetivo principal mapear o cafeeiro da região do município de São Sebastião do Paraíso – MG, a partir da classificação de imagens Sentinel 2A – MSI utilizando técnicas de SR, avaliando os resultados das classificações estatisticamente.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Área de estudo

A área de estudo tem como ponto central o município de São Sebastião do Paraíso, localizado na região sudoeste do estado de Minas Gerais (Figura 1). A área da unidade territorial é de 814,925 km^2, com população, segundo estimativa do IBGE (2016), de 70.066 habitantes. A região se destaca no cenário nacional pela produção de café de alta qualidade, contando com um centro avançado de pesquisa em melhoramento genético sediado pela Epamig. Além disso, outras atividades desenvolvidas pela unidade voltadas para a cultura do café envolvem o manejo integrado de pragas e doenças; manejo da lavoura, tratos culturais, consórcio, poda; nutrição do cafeeiro e mapeamento das lavouras por técnicas de geoprocessamento e SR.

Figura 1. Localização geográfica da área de estudo apresentando os municípios de influência da cena.



Fonte: Autores (2018).

Condicionantes como altitude média em torno dos 980 m, vegetação predominante de um ecótono dos biomas Cerrado e Mata Atlântica, e temperatura média anual oscilando em torno dos 20 ºC, proporcionam a ocorrência de um clima quente e temperado, *Cwb* de acordo com a classificação Köppen-Geiger (2006). A estação chuvosa ocorre predominantemente no verão, garantindo, assim, uma pluviosidade média anual próxima dos 1500 mm.

2.2 Aquisição de dados

Foram utilizadas imagens do programa Copernicus - Sentinel 2A, sensor *MultiSpectral Instrument* (MSI), adquiridas em 28/08/2016, correspondentes à órbita relativa R038. Foi escolhida uma data da estação mais seca do ano,

que corresponde ao inverno no hemisfério sul, tendo observância ao período em que predomina menor cobertura de nuvens. As cenas são disponibilizadas gratuitamente pela European Space Agency (ESA) em parceria com a *United States Geological Survey* (USGS)/NASA através do sítio online Earth Explorer.

2.3 Processamento digital de imagem (PDI)

2.3.1 Pré-processamento de imagens

Inicialmente, foram realizadas conversões de radiância para reflectância e correção atmosférica das bandas 2, 3 e 4. Para esta, aplicou-se o método DOS1 (*Dark Objetc Subtration 1%*) (CHÁVEZ, 1996), o qual assume que alguns pixels dentro da imagem estão em completa sombra e suas radiações recebidas no satélite são devidas à dispersão atmosférica. Esta suposição é combinada com o fato de que poucos alvos na superfície da Terra são absolutos, de modo que uma suposta reflexão mínima de um por cento é melhor do que zero por cento (SONG *et al.*, 2001). Ao final das conversões de performance, criou-se um arquivo de composição colorida RGB (composição falsa-cor) das bandas 4, 3 e 2 para melhor identificação dos elementos de interesse do estudo na paisagem.

2.3.2 Classificação supervisionada e mapeamento

Os mapas de classificação foram obtidos segundo um conjunto de técnicas de Processamento Imagens Digitais (PDI) aliadas a algoritmos baseados em operações matemáticas. Inicialmente, foram adquiridas amostras de treinamento na cena, chamadas ROIs (*Regions of Interest*), que melhor representassem os alvos Água, Café, Vegetação, Área Urbana e Outros Usos. Buscou-se realizar estas amostragens de forma que fosse o mais representativo possível das classes avaliadas. Para a classificação da cena, foram testados três algoritmos classificadores, os quais: Mapeamento por Ângulo Espectral (MAE), Distância Mínima Euclidiana (DMin) e Máxima Verossimelhança (MAXVER). Para o produto final classificado foi usado o algoritmo que obteve maior performance em termos de avaliação visual, tendo sido, neste caso, o classificador MAE. Ao produto final ainda foram realizadas correções vetoriais manualmente para se alcançar melhores acurácias no mapeamento. Por fim, o nível de exatidão das classificações foi verificado em função do Índice ou Coeficiente Kappa.

2.3.2.1 Mapeamento por Ângulo Espectral

A classificação pelo algoritmo MAE, de acordo com Kruse *et al.* (1993), foi obtida por meio da equação (1).

$$\theta(x,y) = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i y_i}{(\sum_{i=1}^{n} x_i^2)^{\frac{1}{2}} * (\sum_{i=1}^{n} y_i^2)^{\frac{1}{2}}} \right) \quad (1)$$

em que, x é a assinatura espectral vetorial de um pixel na imagem; y a assinatura espectral vetorial de uma área de treinamento; n o número de bandas da imagem.

Assim sendo, um pixel pertence à classe que tem o menor ângulo, que pode ser definido como: $x \in C_k \Leftrightarrow \theta(x, y_k) < \theta(x, y_j) \ \forall \ k \neq j$, em que, C_k é a classe de cobertura da terra k; y_k a assinatura espectral da classe k e y_j a assinatura espectral da classe j.

2.3.2.2 Distância Mínima Euclidiana

A classificação pelo método das DMin é baseada na premissa da distância mínima euclidiana ou distância métrica, e foi obtida pela equação:

$$d(x,y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

em que, x é a assinatura espectral vetorial de um pixel na imagem; y a assinatura espectral vetorial de uma amostra e n o número de bandas da imagem.

Dessa maneira, a distância foi calculada para cada pixel na imagem associando-o à classe que apresentou a assinatura espectral mais próxima, de acordo com a função discriminante (CONGEDO; MUNAFÒ, 2012; RICHARDS; JIA, 2006):

$$x \in C_k \Leftrightarrow d(x, y_k) < d(x, y_j) \ \forall \ k \neq j$$

em que, C_k é a classe de cobertura da terra k; y_k a assinatura espectral da classe k e y_j é a assinatura espectral da classe j.

Uma das vantagens da metodologia é de ser uma técnica rápida e seu algoritmo é de fácil execução comparado a outros métodos como MAXVER, por exemplo (RICHARDS; JIA, 2006).

2.3.2.2 Máxima Verossimilhança

O algoritmo de Máxima Verossimilhança calcula as distribuições de probabilidade para as classes relacionadas ao teorema de Bayes, estimando se um pixel pertence a uma classe de cobertura de terra. Em particular, as distribuições de probabilidade para as classes são assumidas como forma de modelos normais multivariados (RICHARDS; JIA, 2006). Para utilizar este algoritmo, foi necessário um número suficiente de pixels para cada área amostral ou de treinamento permitindo o cálculo da matriz de covariância. A função discriminante, descrita por Richards e Jia (2006), foi calculada para cada pixel pela equação (3):

$$g_k(x) = \ln p(C_k) - \frac{1}{2} ln \left| \sum k \right| - \frac{1}{2} (x - y_k)^t \sum_k^{-1} (x - y_k) \quad 3)$$

em que, C_k é a classe de cobertura da terra k; x a assinatura espectral vetorial de um pixel na imagem; $p(C_k)$ a probabilidade de a classe correta ser C_k; y a assinatura espectral vetorial de uma área de treinamento; $|\Sigma_k|$ é a determinante da matriz de covariância dos dados na classe C_k; $\sum_k^{-1}$ o inverso da covariância da matriz e yk a assinatura espectral da classe k. Então:

$$x \in C_k \Longleftrightarrow g_k(x) > g_j(x) \forall k \neq j$$

Além disso, foi possível definir um limiar para a função discriminante a fim de excluir os pixeis abaixo desse valor da classificação. Considerando um limiar T_i a condição de classificação se tornou:

$$x \in C_k \Longleftrightarrow g_k(x) > g_j(x) \forall k \neq j$$

$$e$$

$$g_k(x) > T_i$$

Como mencionado, o processo classificador pode ser mais lento que o DMIN, ainda assim é uma das metodologias de classificação supervisionada mais comumente utilizadas no mapeamento e detecção de mudanças (JAY; GUILLAUME, 2014).

2.4 Softwares utilizados

Todas as etapas de PDI foram executadas no ambiente do software de domínio público QGIS Desktop, versão 2.18.9 Las Palmas. Os mapeamentos foram obtidos utilizando o *Semi-automatic Classification Plugin* (SCP), versão 5.3.6 Kourou, que é um complemento para QGIS capaz de executar várias tarefas de processamento com dados espectrais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na classificação, foi utilizado para análise o total de 113.917 pixels, e calculada a matriz de confusão para se avaliar a acurácia do mapeamento da cena. Na matriz, o erro de omissão refere-se aos pixels classificados erroneamente, e o risco do produtor expressa em porcentagem o erro de omissão. Já o erro de comissão refere-se aos pixels que foram assimilados para classes erradas, expresso em porcentagem como risco do usuário.

Os resultados apresentados e discutidos neste trabalho dizem respeito apenas à classificação obtida pelo MAE, visto que, comparativamente, os demais algoritmos testados (DMin e MAXVER) retornaram menor performance durante o processo de classificação da cena.

Na classificação semi-automática utilzando o MAE observou-se maior confusão entre as classes Café com Vegetação e Área Urbana com Outros Usos (Tabela 1). Isto resultou em valores mais elevados do risco do usuário nessas classes, com 24,71 e 34,70 %, respectivamente, para Café e Área Urbana. A precisão global dessa classificação, relacionando todos os pixels classificados corretamente com o total de pontos amostrados, foi de 82,69 % e o índice Kappa foi de 0,74; um nível de acerto estipulado com sendo muito bom.

Tabela 1. Matriz de confusão da classificação semi-automática pelo método MAE.

Matriz de confusão (semi-automática)		Classes da Verdade no Terreno (Referência)							
		Água	Café	Vegetação	Área Urbana	Outros	Σ	Erro de Comissão	Risco do Usuário
Classes da Imagem Classificada	Água	408	0	6	96	0	510	102	20,00%
	Café	8	20163	6503	38	69	26781	6618	24,71%
	Vegetação	0	2031	19097	0	0	21128	2031	9,61%
	Área Urbana	0	0	0	3805	2022	5827	2022	34,70%
	Outros Usos	11	3999	12	4919	50730	59671	8941	14,98%
Σ		427	26193	25618	8858	52821	113917		
Erro Omissão		19	6030	6521	5053	2091			
Risco do Produtor		4,45%	23,02%	25,45%	57,04%	3,96%			
Precisão Global		82,69%							
Índice Kappa		0,74							

A acurácia produzida, a acurácia do usuário e o índice Kappa apresentados na Tabela 2 expressam o total de pixels classificados corretamente para cada classe. Analisando o índice Kappa, a classe que apresentou maior concordância dos dados foi a Vegetação com o Kappa de 0,88; em seguida as classes Água, Outros Usos, Café e Área Urbana.

Tabela 2. Níveis de exatidão da classificação semi-automática pelo método MAE.

Classes	Acurácia Produzida	Acurácia do Usuário	Kappa
Água	95,55%	80,00%	0,80
Café	76,98%	75,29%	0,68
Vegetação	74,55%	90,39%	0,88
Área Urbana	42,96%	65,30%	0,62
Outros Usos	96,04%	85,02%	0,72

Na classificação submetida às correções vetoriais, realizadas manualmente, observou-se maior confusão entre as classes Água com Área Urbana e Café com Vegetação, resultando num risco do usuário equivalente a 20,00 e 17,59 %, respectivamente, para as classes Água e Café (Tabela 3). Vegetação e Área Urbana apresentaram menores valores para risco de usuário, com 5,42 e 2,08 %, respectivamente. A precisão global da classificação pós correção manual vetorial foi de 86,99% e o índice Kappa 0,80; indicando um nível de acerto excelente para a classificação.

Tabela 3. Matriz de confusão da classificação com correções vetoriais.

Matriz de confusão (corrigida)		Classes da Verdade no Terreno (Referência)							
		Água	Café	Vegetação	Área Urbana	Outros	Σ	Erro de Comissão	Risco do Usuário
Classes da Imagem Classificada	Água	408	0	6	96	0	510	102	20,00%
	Café	0	20987	4373	38	68	25466	4479	17,59%
	Vegetação	8	1207	21227	0	1	22443	1216	5,42%
	Área Urbana	0	0	0	3805	81	3886	81	2,08%
	Outros Usos	11	3999	12	4919	52671	61612	8941	14,51%
Σ		427	26193	25618	8858	52821	113917		
Erro Omissão		19	5206	4391	5053	150			
Risco do Produtor		4,45%	19,88%	17,14%	57,04%	0,28%			
Precisão Global		86,99%							
Índice Kappa		0,80							

A acurácia produzida, a acurácia do usuário e o índice Kappa apresentados na Tabela 4 expressam o total de pixels classificados corretamente para cada classe da classificação com correções vetoriais realizadas manualmente. Analisando o índice Kappa, a classe que apresentou maior concordância dos dados foi a Área Urbana, com o Kappa de 0,98. Em seguida as classes Vegetação, Água, Café e Outros Usos, respectivamente.

Tabela 4. Níveis de exatidão da classificação após correções vetoriais realizadas manualmente.

Classes	Acurácia Produzida	Acurácia do Usuário	Kappa
Água	95,55	80,00	0,80
Café	80,12	82,41	0,77
Vegetação	82,86	94,58	0,93
Área Urbana	42,96	97,92	0,98
Outros Usos	99,72	85,49	0,73

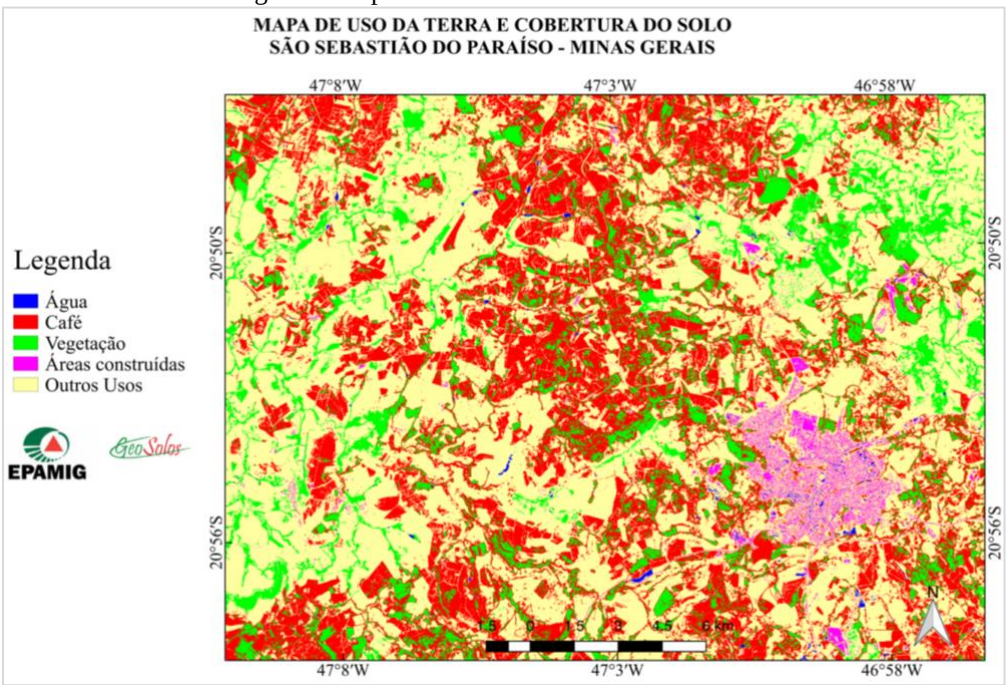
Na Tabela 5 são apresentadas as áreas de ocupação de cada classe de uso da Terra e cobertura do solo das imagens classificadas. Após a correção a área ocupada pela classe Água não se alterou. Ocorreu diminuição nas áreas de Café e Área Urbana e aumento em áreas das classes Vegetação e Outros Usos.

Tabela 5. Área de ocupação das classes de uso da terra e cobertura do solo na cena classificada, em que Δ é a diferença entre a Área Corrigida e Área sem correção manual.

Classes	Área (km^2)	Área Corrigida (km^2)	Δ (km^2)	Δ (%)
Água	1,61	1,61	0,00	0,00
Café	184,71	160,38	-24,33	-4,44
Vegetação	53,69	77,83	24,15	4,41
Área Urbana	11,20	9,12	-2,08	-0,38
Outros Usos	296,43	298,69	2,26	0,41

A Figura 2 se refere ao mapa de uso da Terra e cobertura do solo da cena classificada ao produto final, com a identificação de cada classe do estudo, a partir da imagem classificada com as correções vetoriais realizadas manualmente, dada melhor acurácia alcançada.

Figura 2. Mapa de uso da terra e cobertura do solo.



As confusões observadas na classificação pelo MAE entre as classes Café e Vegetação corroboraram com o fato de que a cultura do café e a vegetação natural apresentam elevada confusão espectral (MOREIRA *et al.*, 2010). Por essa razão, ainda tem sido um desafio mapear com maior precisão a cultura do café, registrando maior incidência de erros nos mapeamentos realizados com base em modelos empíricos como o MAE, que tem por objetivo estimar e estudar a dinâmica da cultura.

4 CONCLUSÕES

O método de classificação de Mapeamento por Anglo Espectral alcançou resultados satisfatórios no mapeamento da cultura do cafeeiro na região do município de São Sebastião do Paraíso – MG, utilizando dados Sentinel 2A – MSI, tendo em vista que a data da imagem corresponde ao período de senescência do café na região.

Embora classificadores empíricos automáticos têm atingido ótimas precisões no mapeamento da cobertura terrestre, muitas vezes, ainda é necessária a realização de correções manuais ou visuais. Dessa maneira, incentiva-se para o estudo de metodologias também de simples aplicação, que possam integrar a esses classificadores alcançando menores imprecisões em classes de maior confusão espectral.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Epamig, CAPES, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM).

Referências Bibliográficas

CHÁVEZ, P. S. J. Image-based atmospheric corrections - revisited and improved. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 62, n. 9, p. 1025–1036, 1996.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. **Monitoramento agricola- Safra 2015/2016**, v. 3, n. 9, p. 1–174, 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 22 Maio. 2018.

EPAMIG. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais: institucional. Acesso em 10 jan. 2017. Disponível em: <http://www.epamig.br/index.php?option=com_content&task=view&id=12&Itemid=51>.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores IBGE: estimativa de produção agrícola.** [S.l: s.n.], 2017.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed.; Tradução de Epiphanio, J. C. N. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

KRUSE, F. A.; LEFKOFF, A. B.; BOARDMAN, J. W.; HEIDEBRECHT, K. B.; SHAPIRO, A. T.; BARLOON, P. J.; GOETZ, A. F. H. The spectral image processing system (SIPS)—interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. **Remote Sensing of Environment**, v. 44, n. 2–3, p. 145–163, 1993. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003442579390013N>. Acesso em: 14 Jul. 2018.

MOREIRA, M. A.; RUDORFF, B. F.; BARROS, M. A.; DE FARIA, V. G.; ADAMI, M. Geotecnologias para mapear lavouras de café nos estados de Minas Gerais e São Paulo. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 1123–1135, 2010.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

QGIS Development Team. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.

RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 4. ed. Berlin: Springer, 2006. Disponível em: <http://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-30062-2.pdf>. Acesso em: 11 Jul. 2018.

SONG, C.; WOODCOCK, C. E.; SETO, K. C.; LENNEY, M. P.; & MACOMBER, S. A. Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects? **Remote Sensing of Environment**, v. 75, n. 2, p. 230–244, 2001.

MAPEAMENTO FOTOGRAMÉTRICO COM USO DE VANT PARA O AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO GEOLÓGICO NA CIDADE DE BLUMENAU-SC

MÁRIO LUIZ LOPES REISS 1
TATIANA SUSSEL GONÇALVES MENDES 2
MÁRCIO ROBERTO MAGALHÃES DE ANDRADE 3
RODOLFO MOREDA MENDES 3

1 Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Instituto de Geociências – IGEO
Departamento de Geodésia
Laboratório de Pesquisas em Fotogrametria – LAFOTO
Porto Alegre, RS

2 Universidade Estadual Paulista – UNESP
Instituto de Ciência e Tecnologia – ICT
Departamento de Engenharia Ambiental, São José dos Campos, SP

3 Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN
São José dos Campos, SP

mario.reiss@ufrgs.br, tatiana.mendes@unesp.br, marcio.andrade@cemaden.gov.br, rodolfo.mendes@cemaden.gov.br

RESUMO – Os Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANT) tem se tornado cada vez mais populares nas tarefas de aquisição de imagens para fins de mapeamento fotogramétrico, uma vez que permitem adquirir imagens de alta resolução de pequenas áreas a um baixo custo. A tecnologia VANT tem sido usada em diversas aplicações do estudo e monitoramento de áreas de risco de desastres naturais, como por exemplo, áreas de risco de deslizamento ou movimento de massa. Nesse sentido, este trabalho apresenta uma metodologia, em desenvolvimento, de monitoramento de uma área na cidade de Blumenau-SC que visa usar Modelos Digitais de Elevação (MDE), obtidos a partir da tecnologia VANT, para gerar variáveis relacionadas ao relevo e ao uso e cobertura da terra; calcular a estabilidade de locais críticos da encosta; e gerar um modelo tridimensional passível de imersão, permitindo a integração de dados, a visualização e a compreensão das áreas suscetíveis a deslizamentos.

ABSTRACT - Unmanned aerial vehicle (UAV) has become increasingly popular in the task of image acquisition for photogrammetric mapping, obtaining high resolution images of small areas at a low cost. UAV technology has been used in many applications in the study and monitoring of risk areas of natural disasters, such as landslides. In this sense, this work presents a monitoring methodology in development for an area of Blumenau city aiming to use Digital Elevation Models (DEM) derived by VANT technology to generate variables related to relief and land use/land cover; to calculate the stability of critical slope sites; and to generate an immersive tri-dimensional model allowing the data integration, visualization, and understanding areas of susceptible of landslides.

1 INTRODUÇÃO

Uma melhor compreensão dos processos de escorregamentos é necessária para identificar os mecanismos que desencadeiam tais eventos, para desenvolver métodos de mapeamento de suscetibilidade de escorregamentos e de monitoramento confiáveis, e para manter os registros históricos de escorregamentos (LUCIEER et al., 2014).

Para o estudo de instabilidade de encostas baseado em abordagens mecânicas e geotécnicas é necessário conhecer e quantificar as características do meio físico para, então, serem aplicadas em modelos de estabilidade. As características do meio físico baseiam-se em variáveis do relevo (área de contribuição, forma, declividade), clima (precipitação) e solo

(espessura, densidade, coesão, ângulo de atrito e condutividade hidráulica). Outra variável importante é o uso e cobertura da terra, como pode ser visto nos trabalhos de Brito et al. (2016) e Rocha e Schuler (2016).

Além disso, o monitoramento das áreas suscetíveis ao escorregamento necessita que os levantamentos sejam periódicos devido às constantes modificações que estas áreas sofrem pela ação e ocupação humana. É neste sentido que a Fotogrametria, usando a tecnologia VANT e as técnicas de processamento de imagens e de visão computacional, apresenta vantagens em termos de custo e temporalidade da aquisição de imagens, permitindo modelar a superfície topográfica e suas possíveis mudanças morfológicas; e obter informação do uso e cobertura da terra em regiões suscetíveis ao escorregamento (TESA et al., 2016). Peternel et al. (2017) ainda ressaltam sobre a vantagem da utilização do VANT para o monitoramento de áreas de escorregamento em locais de difícil acesso.

A Fotogrametria é uma ciência, arte e tecnologia em que há mais de um século vem se consolidando para aplicações onde os modelos tridimensionais são necessários. O Dr. Albrecht Meydenbauer, inventor do termo em 1867, teve seu primeiro intento medir estruturas de edificações para sua documentação e monitoramento, mas ao longo do tempo, a Fotogrametria se mostrou viável para a medição de qualquer tipo de objeto que pudesse ser fotografado. Um par de fotos orientadas, tomadas de pontos de vista diferentes de uma mesma região de um ou mais objetos é o requisito mínimo necessário para que se possa extrair medidas da região de sobreposição entre as fotos. Poucos pontos de apoio (PA) necessitam ser medidos no terreno para permitir a orientação das imagens, porém, é possível também que as fotos tenham suas orientações determinadas diretamente por meio de sensores de posicionamento e orientação acoplados às plataformas de aquisição.

Atualmente, as plataformas de aquisição de fotografias aéreas mais populares são os Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANT), as quais permitem adquirir imagens de alta resolução de pequenas áreas a um baixo custo, apresentando-se como alternativa às aquisições fotogramétricas que envolvem plataformas e câmeras convencionais. Modelos Digitais de Elevação (MDE) altamente detalhados podem ser obtidos a partir de algoritmos robustos conhecidos por *Structure from Motion* (SfM), os quais realizam o reconhecimento automático de padrões nas imagens com sobreposição e a reconstrução tridimensional da superfície topográfica. A tecnologia VANT tem sido usada em diversas aplicações dentro do estudo e monitoramento de áreas de risco de desastres naturais, como por exemplo, áreas de risco de deslizamento ou movimento de massa (LUCIEER et al., 2014; TURNER et al., 2015).

O Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMANDEN), ligado ao Ministério de Ciências e Tecnologias, Inovações e Comunicações, foi criado em 2011 com a missão de realizar, em âmbito nacional, o monitoramento contínuo de condições hidro-meteorológicas capazes de deflagrar processos que produzam risco eminente de ocorrência de desastres naturais oriundos do excesso de água, como deslizamentos de encostas, inundações e enxurradas. Em 2014, um projeto Pró-Alertas da CAPES foi contemplado com o objetivo de realizar a integração de veículos autônomos e redes de sensores para aquisição de dados remotos para prevenção e mitigação de desastres naturais. Com isso, está em curso, entre as duas das universidades participantes do projeto Pró-Alertas (PUC-RS e UFRGS) e o CEMADEN, o desenvolvimento de uma metodologia de monitoramento de uma área de interesse na cidade de Blumenau-SC usando MDE produzidos a partir de imagens adquiridas com a tecnologia VANT. A cidade de Blumenau-SC possui áreas de risco de deslizamento e inundação que demandam um monitoramento constante. A partir de 2018, o CEMADEN por meio do projeto REMADEN/REDEGEO, iniciou um processo de instalação de Plataformas de Coleta de Dados Geotécnicos no município.

Nesse sentido, este trabalho apresenta o uso da tecnologia VANT para produzir um Modelo Digital de Terreno (MDT) de uma área de encosta da cidade de Blumenau-SC, e a partir desse modelo, gerar variáveis relacionadas ao relevo e ao uso e cobertura da terra para mapear áreas suscetíveis a deslizamentos, calcular a estabilidade de locais críticos da encosta e gerar um modelo 3D passível de imersão para permitir a integração de dados, a visualização e a compreensão do processo de escorregamento de modo a subsidiar tomadas de decisão.

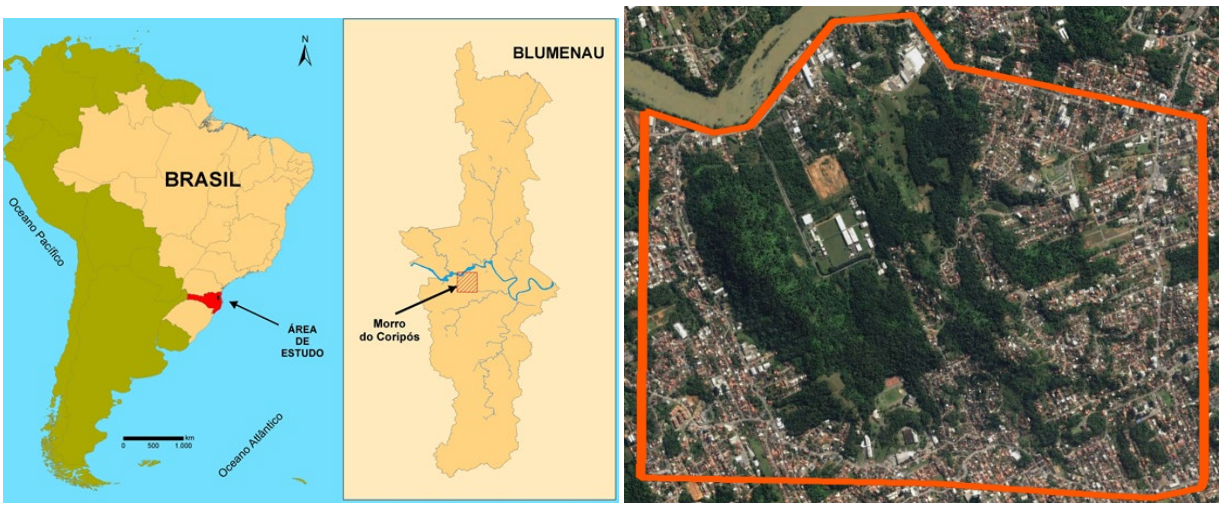
2 METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Área de estudo

A área de estudo encontra-se no Município de Blumenau-SC, Região Sul do Brasil (Figura 1a) e trata-se especificamente do Morro do Coripós (Fig.1b), onde o projeto REDEGEO está promovendo a implantação de um conjunto de equipamentos de monitoramento geotécnico compostos por pluviômetros automáticos para a coleta de dados sobre a quantidade de chuva acumulada e sensores de umidade de solo para a coleta de dados de quantidade de água no solo. Na face sul do Morro do Coripós, o CEMADEN também tem instalado um sistema de monitoramento de deslocamento de terreno que utiliza uma Estação Total Robotizada (ETR) e 100 prismas óticos.

Figura 1 - Área de Estudo: (a) Localização da área de estudo (Município de Blumenau-SC) no contexto da América do Sul. (b) Imagem aérea do Morro do Coripós (área de estudo) em Blumenau-SC.

(a) (b)



(a) (b)

Fonte: (a) os autores; (b) os autores, adaptado de Google Earth, 2018).

O Morro do Coripós apresenta um histórico de deslizamentos severos relacionados ao evento meteorológico de novembro de 2008. Neste evento, que atingiu o Vale do Itajaí, Blumenau foi o segundo município que mais sofreu, com 24 óbitos num total de 135. Na Figura 2 é possível observar a ocorrência de deslizamentos rasos e a destruição de moradias ao longo da Rua Maestro Francisco Baumgarten e Rua Germano Grosch no Morro dos Coripós, em Blumenau.

Figura 2 - Imagem aérea do Morro do Coripós após o evento de 2008.

Fonte: GEOPROSPEC (2011).

Muitas informações geotécnicas e geofísicas foram geradas para o Morro do Coripós após o evento relatado (GEOPROSPEC, 2011). Desta forma, procura-se avançar em estudos que permitam compreender os mecanismos relacionados com os deslizamentos ocorridos, os principais fatores envolvidos, os índices de chuva e de umidade dos solos que são críticos para estes fenômenos serem deflagrados.

2.2 Métodos aplicados na avaliação de áreas de risco

A avaliação de risco de deslizamentos pode ser efetuada por diferentes abordagens considerando a melhor solução para cada situação demandada. Também é necessário considerar o grau de conhecimento existente, a complexidade do fenômeno em jogo e a disponibilidade efetiva de dados.

A simulação das condições de deflagração de deslizamentos em encostas por intermédio de modelos numéricos é uma abordagem que permite avaliar os mecanismos e as condições de ruptura em maciços de solo em diferentes cenários. Dados topográficos e geotécnicos são fundamentais para a realização destes estudos.

O projeto REDEGEO propõe-se avaliar a estabilidade de encosta do Morro do Coripós em Blumenau-SC através de modelos matemáticos de base física por meio de três metodologias:

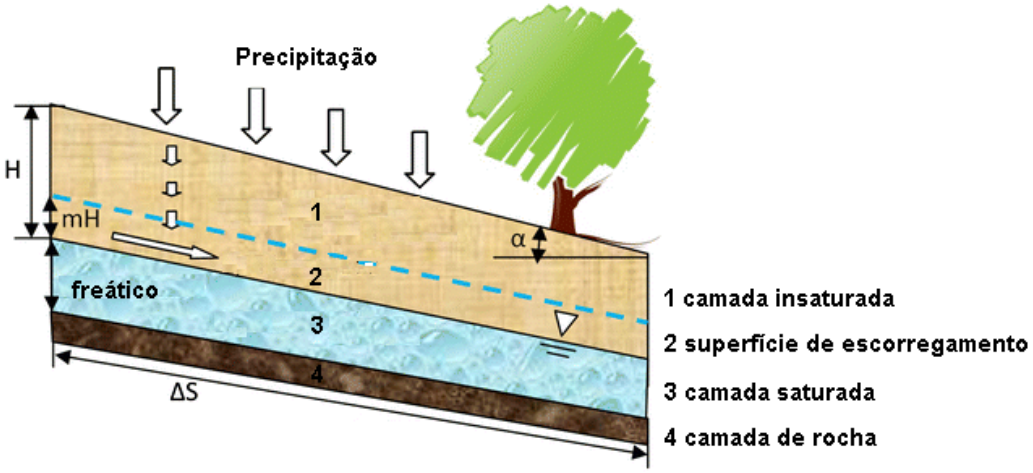
a) Mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos rasos para áreas de encostas usando o Modelo TRIGRS;
b) Cálculo de estabilidade em seções topográficas (topo – base) em locais críticos das encostas usando o software SLOPE/W;
c) Desenvolvimento de maquetes digitais das áreas de risco de deslizamentos passíveis de imersão, como forma auxiliar de integração, visualização, investigação e modelagem de dados tridimensionais, por meio do ambiente do software GEOVISIONARY.

A base física dos modelos considera o cálculo do Fator de Segurança (FS) como a razão entre as forças resistentes e forças desestabilizadoras atuantes em maciços de solo em uma encosta (Equação 1), com destaque para o fluxo descendente da água e a contribuição da saturação parcial para a resistência ao cisalhamento do solo (Figura 3).

$$FS = \frac{\tan\emptyset}{\tan\theta} + \frac{c' - \Psi(Z,t)\rho w \tan\emptyset}{\rho s \, Z \, \mathrm{sen}\theta \cos\theta} \quad (1)$$

Onde: ϕ é o ângulo de atrito interno em graus; θ é o ângulo da encosta em graus; c' é a coesão efetiva c dada em kPa; ψ é carga de pressão dada em kPa; Z é a profundidade do solo em m; t é o tempo em segundos; ρ_w é a densidade da água dada em kN/m^3; e ρ_s é a densidade do solo dada em kN/m^3;

Figura 3. Infiltração de águas da chuva numa encosta e saturação do maciço de solo na formação de deslizamentos.



Fonte: Adaptado de Liao et al. (2010).

Estas metodologias para a avaliação de deslizamentos ensejam a produção de dados topográficos com elevada acurácia na localização das imagens aéreas e obtenção de MDT de alta resolução. No caso dos modelos de estabilidade, a variação do parâmetro ângulo da encosta é bastante sensível no cálculo do FS, por isso a exigência de dados topográficos de detalhe.

2.2.1 Mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos (TRIGRS)

O modelo TRIGRS (*Transient Rainfall Infiltration and Grid-based Regional*) (IVERSON, 2000; BAUM et al., 2002) pela sua característica transiente permite calcular a estabilidade a escorregamentos em diferentes condições de espessuras de solo considerando o avanço da infiltração decorrente da intensidade e da duração da chuva ao longo do tempo. Assim, é possível elaborar diferentes cenários relacionados aos materiais geotécnicos e eventos hidrológicos por meio de simulação.

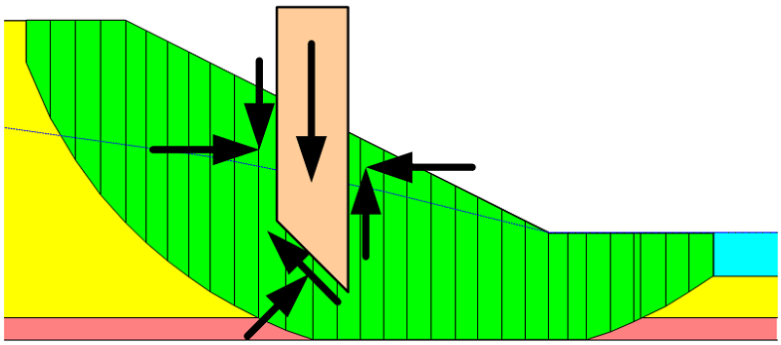
O modelo funciona a partir da associação entre um modelo hidrológico, que se baseia na equação unidimensional de infiltração de Richards e outro de estabilidade, por meio de uma rotina em Linguagem Fortran. O modelo supõe a existência de uma frente de infiltração, considerando apenas o fluxo na direção vertical, tendo como base a solução unidimensional da equação de Richards. A entrada dos dados no TRIGRS é feita, inicialmente, por meio de um Modelo Digital do Terreno, para a construção dos mapas de ângulo da encosta e de direção de fluxo (LISTO e VIEIRA, 2015).

2.2.2 Cálculo de estabilidade em seções topográficas (SLOPE/W)

O software SLOPE/W (GEO-SLOPE, 2012) adota a formulação do Equilíbrio Limite Geral desenvolvida por Fredlund (FREDLUND e KRAHN, 1977; FREDLUND et al., 1981) nos métodos integrados no módulo que permite o cálculo do FS. Os tipos de análise de equilíbrio limite consideram a ideia de separar uma massa deslizante potencial em fatias verticais como técnica de análise numérica em engenharia geotécnica.

A Figura 4 ilustra uma massa típica de deslizamento discretizada em fatias e as possíveis forças na fatia. Forças normais e de cisalhamento atuam na base da fatia e nos lados da fatia. Para isto, adota uma equação com respeito ao momento de equilíbrio e outra equação com respeito as forças horizontais de equilíbrio, sendo uma das variáveis chave das equações é a Força Normal na base das fatias

Figura 4 - Discretização de fatias e forças que compõem uma massa deslizante.



Fonte: GEO-SCLOPE (2012).

Considerando o fenômeno em análise, deslizamentos translacionais rasos, é coerente pressupor que a base das fatias é paralela à superfície topográfica, envolvendo a necessidade de dados de inclinação das encostas confiáveis e precisos.

2.2.3 Maquetes digitais das áreas de risco de deslizamentos (GEOVISIONARY)

Para a produção de maquetes virtuais voltadas para ambiente de imersão em realidade virtual será utilizado o software Geovisionary, desenvolvido pela Virtalis em colaboração com o *British Geological Survey* (BGS) voltados para dados geológicos.

O Geovisionary é especializado na visualização de alta resolução de dados espaciais com capacidade para adicionar análise e interpretação de conjuntos de dados grandes e complexos, integrar grandes volumes de dados de múltiplas fontes, permitindo uma maior compreensão dos diversos conjuntos de dados espaciais.

Desta forma, pretende-se desenvolver a geovisualização em realidade virtual voltada para a área de desastres naturais com os objetivos de explorar o potencial desta tecnologia para a visualização em detalhe das áreas suscetíveis a riscos geológicos de deslizamentos e criar uma interface de comunicação com os agentes envolvidos (*stakeholders*).

Exemplo de aplicação desta ferramenta em desastres naturais está sendo desenvolvido por pesquisadores da Universidade Nacional de Energia da Malásia (*Universiti Tenaga Nasional* - UNITEN) denominado de VIGMASS (*Virtual Geo-Hazards Monitoring and Asset Management System*) (VIRTALIS, 2018).

2.3 Geração do Modelo Digital de Terreno

Um dos dados fundamentais para as análises de risco de deslizamento é o MDT, o qual foi gerado a partir de fotografias adquiridas por meio de uma plataforma VANT. O equipamento trata-se de um micro VANT de asa fixa eBee do fabricante Parrot/SenseFly, com autonomia de 40 minutos e alcance de 3 km.

O VANT é equipado com uma câmara Canon PowerShot Elph 110 HS rotacionada no sistema em -90º, com resolução de 16.1 megapixel, focal de 4,37113 mm, pixel quadrado com tamanho de 1,33945 micrômetros, quadro focal 6,17219×4,62914 mm, com 4608×3456 pixels (Figura 5).

Figura 5 - (a) VANT eBee e (b) sua câmera fotográfica.

(a) (b)

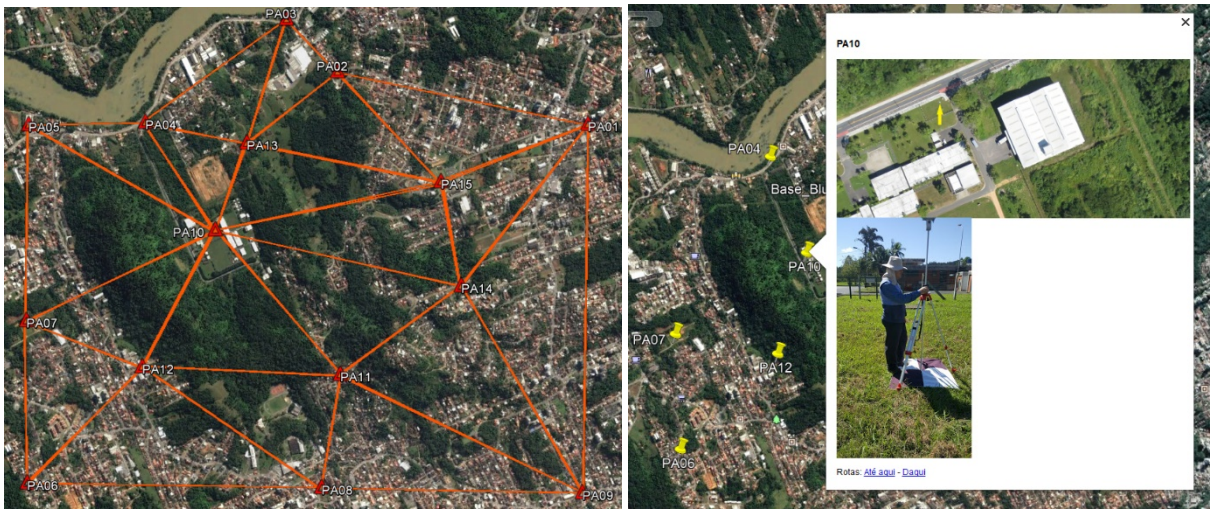
Fonte: Elaborado pelos autores.

O processo de mapeamento topográfico usando VANT segue ao fluxo do processo fotogramétrico:

1. Planejamento da cobertura de fotografias, dos pontos de apoio e dos pontos de controle de qualidade (PCQ) pré-sinalizados;
2. Pré-sinalização de alvos para PA e PCQ;
3. Aquisição das imagens;
4. Medição de PA e PCQ pré-sinalizado e fotoidentificáveis no terreno;
5. Pré-processamento das imagens, aplicação do georreferenciamento direto sobre as imagens e geração de Modelo Digital de Superfície (MDE) aproximado;
6. Identificação nas imagens de pontos fotoidentificáveis e dos alvos de apoio pré-sinalizados e medidos no terreno;
7. Determinação dos parâmetros de orientação exterior das fotografias;
8. Geração do MDT da área de estudo.

Como auxílio do Google Earth, foi possível planejar a distribuição dos PA e o local de pouso e decolagem do equipamento para a aquisição das imagens (Figura 6). Os PA e os PCQ foram planejados a estarem geometricamente bem distribuídos na área de interesse. Caso no local planejado não se encontrassem pontos bem definidos na cena, estes eram pré-sinalizados por meio de um alvo de pano.

Figura 6 - PA. (a) Planejados; (b) Executados.



(a) (b)

Fonte: os autores, adaptado de Google Earth, 2018.

Ao todo foram planejados 15 PA, buscando uma distribuição homogênea e regularmente espaçada, tanto quanto fosse possível, dadas as características do terreno. Os PCQ não foram planejados nesta etapa, devido à limitação de tempo para as aquisições das imagens e do levantamento das coordenadas. Os PCQ serão planejados e medidos ao término dos processamentos do trabalho, em uma campanha específica para esta atividade. Dos PA planejados, apenas 5 foram possíveis de serem sinalizados e medidos, outros PA foram levantados em feições que pudessem ser fotoidentificáveis em regiões próximas aos planejados. Enquanto os PA eram medidos, foram adquiridas as fotografias com o VANT eBee.

Em escritório, os dados foram processados, inicialmente as coordenadas dos PA medidos em campo com GNSS, no qual, em campo, foi definida uma base provisória para o processamento relativo. Paralelamente a isso, procedeu-se o pré-processamento com as fotos, a associação delas aos dados de navegação do VANT. Com essa associação, realizou-se uma a determinação aproximada dos parâmetros de orientação exterior (POE), juntamente com os parâmetros de orientação interior (POI), em um ajustamento pelo método de feixes de raios em serviço, com a adição de parâmetros de efeitos sistemáticos ao modelo funcional, que relaciona o espaço objeto com o espaço imagem. Ao ter em posse as coordenadas dos PA, realizou-se a introdução destes ao sistema, com um reajuste, para melhorar a qualidade dos parâmetros do bloco. Foi obtido um RMS em relação aos pontos de apoio melhor que 0,5 pixel (4 cm). O pixel médio para a cobertura fotográfica planejada foi de 8 cm. Tendo-se os POE e POI determinados, procedeu-se a densificação da nuvem de pontos em todo o bloco, a geração da rede de triângulos aos pontos, e a geração do MDE. Todos os procedimentos descritos foram realizados por meio do Software Agisoft Photoscan.

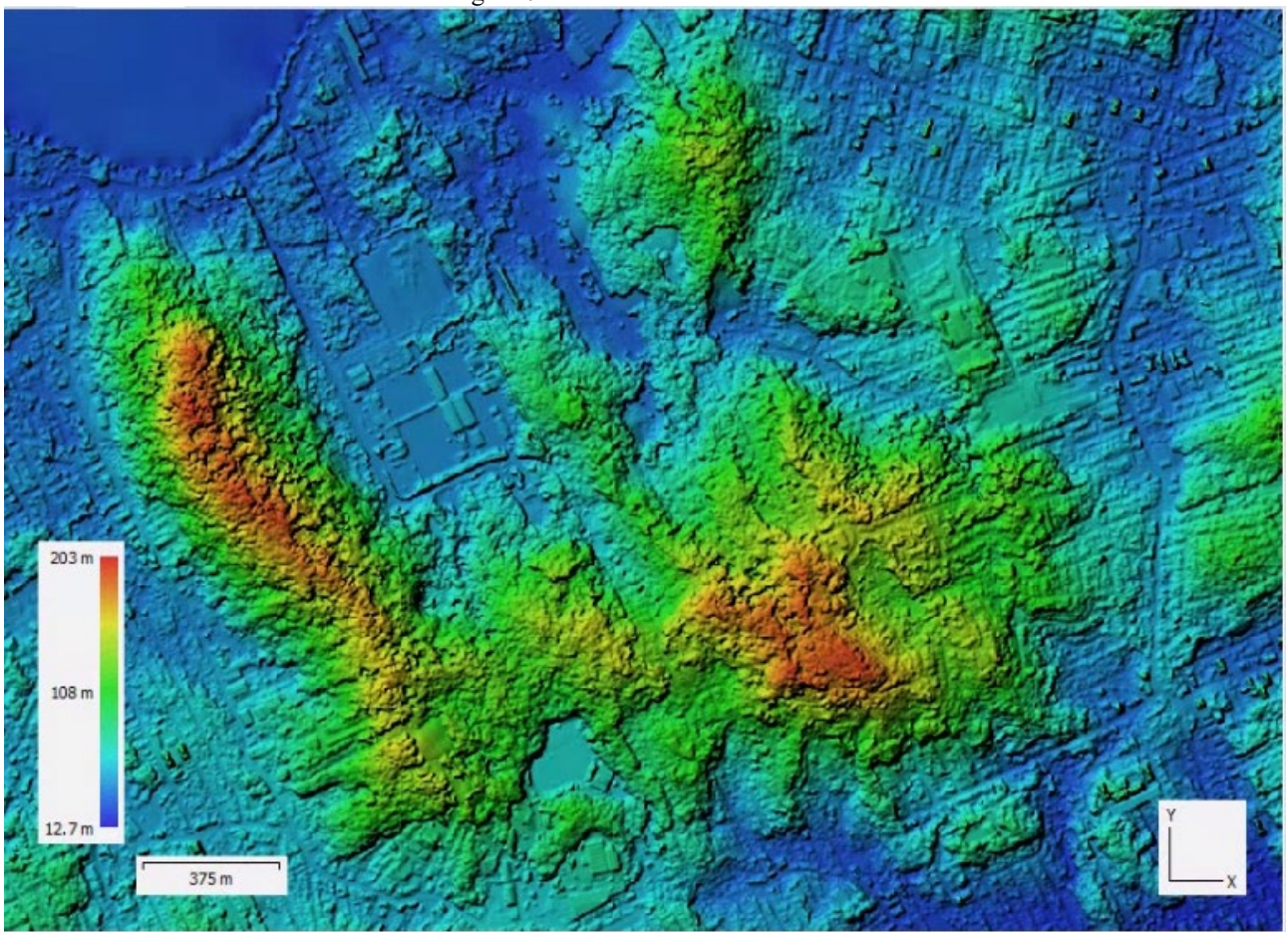
3 RESULTADOS E CONCLUSÕES

Foi produzido um MDE a partir das fotografias adquiridas com o VANT eBee, conforme de ilustrado na Fig. 7. Com este modelo será possível realizar integrar com outros dados geotécnicos para propiciar a análise geológica de perfis da área de interesse. Foi possível verificar a viabilidade do uso do VANT para prover MDE de forma rápida. Ao todo, foram necessárias 48 horas contínuas para a aquisição dos dados em campo o processamento para a geração do MDE. No futuro, mais 8 horas serão necessárias para a aquisição de PCQ, sem considerar o deslocamento até a área de interesse. As análises geológicas estão em andamento, para serem apresentadas em trabalhos futuros.

Algumas etapas futuras serão desenvolvidas com o objetivo de melhorar e dar prosseguimento ao trabalho:

a) Extrair o MDT a partir do MDE, identificando e eliminando as árvores;
b) Realizar novo levantamento para os PCQ, com o objetivo de avaliar a qualidade posicional dos produtos cartográficos gerados;
c) Restituir via estação fotogramétrica e software que permita a visão estéreo, como o Erdas Imagine, para melhor definir o MDT e os variados usos de solo;
d) Realizar as análises geológicas e avaliações de risco, conforme descrito na Seção 2.2.

Figura 7 - MDE da área de interesse.



Fonte: os autores.

Agradecimentos

A equipe agradece à FINEP (Projeto REMADEN/REDEGEO - Carta Convite MCTI/FINEP/FNDCT 01/2016) pelo apoio financeiro e à FUNCATE pelo apoio administrativo dos recursos, à CAPES por meio do projeto Pró-Alertas (88887.091734/2014-01), ao projeto REUNI do Governo Federal, que proporcionou a aquisição de parte dos equipamentos utilizados no trabalho, à UFRGS pela cessão dos equipamentos e espaço físico para a realização deste trabalho e à ICT/UNESP pela cessão do equipamento GNSS.

REFERÊNCIAS

BAUM; R. L. et al. TRIGRS: A Fortran Program for Transient Rainfall Infiltration and Grid-Based Regional Slope-Stability Analysis. **U.S. Geological Survey Open-File Report**, V. 2, 2002, 35 p.

BRITO, M. M.; WEBER, E. J.; KRIGGER, V. S.; LEITZKE, F. P. Análise dos fatores condicionantes de movimentos de massa no município de Porto Alegre a partir de registros históricos. **Revista Brasileira de Cartografia**, V. 68, N. 1, p. 1853-1872, 2016.

FREDLUND, D. G. et al. Relationship between limit equilibrium slope stability methods. **Proc lOth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, Stockholm, 15-19 June 1981 V. 3, p. 409-416. Publ Rotterdam: A. ,4. Balkema, 1981.

FREDLUND, D.G.; KRAHN, J. Comparison of slope stability methods of analysis. **Canadian Geotechnical Journal**, V. 14, N. 3, p. 429-439, 1977.

GOOGLE. Google Earth Pro. Version 7.1. 2018. Nota (Maciço do Morro do Coripós, Blumenau–SC). Disponível em: <http://www.google.com/ intl/pt-BR/earth/download/gep/agree.html>. Acesso em 02/07/2018.

GEOPROSPEC. Relatório Geológico-Geofísico - Maciço do Morro do Coripós, Blumenau-SC. **Relatório técnico**. 2011, 10p. 7 mapas.

GEO-SLOPE. Stability Modeling with SLOPE/W: An Engineering Methodology. 2012, 238p.

IVERSON, R. M. Landslide triggering by rain infiltration. **Water Resources Researc**h, V. 36, p. 1897-1910, 2000.

LIAO, Z. et al. Prototyping an experimental early warning system for rainfall-induced landslides in Indonesia using satellite remote sensing and geospatial datasets. **Landslides,** V. 7, p. 317–324, 2010.

LISTO, F. L. R.; VIEIRA, B. C. Influência de parâmetros geotécnicos e hidrológicos na previsão de áreas instáveis a escorregamentos translacionais rasos utilizando o modelo TRIGRS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, V. 16, nN. 3, p. 485-500, 2015.

LUCIEER, A.; JONG, S. M.; TURNER, D. Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multi-temporal UAV photography. **Progress in Physical Geography**, V. 38, N. 1, p. 97-116, 2014.

PETERNEL, T.; KUMELJ, S.; OSTIR, K.; KOMAC, M. Monitoring the Potoška planina landslide (NW Slovenia) using UAV photogrammetry and tachymetric measurements. **Landslides**, V. 14, p. 395-406, 2017.

ROCHA, A. P.; SCHULER, C. A. B. Avaliação do espaço temporal da suscetibilidade de movimentos de massa utilizando ortofotocartas e modelagem espacial multicritério na dinâmica de áreas de risco nas microrregiões do Jordão e Ibura, Recife-PE. **Revista Brasileira de Cartografia**, V. 68, N. 9, p. 1747-1770, 2016.

TESA, G.; PESCI, A.; NINFO, A.; GALGARO, A. Fast surveying of a sea cliff and a landslide based on structure from motion photogrammetry. **In:** Proceeding of II Virtual Geoscience Conference, Bergen, Noruega, p. 14-15, 2016.

TURNER, D.; LUCIEER, A.; JONG, S. M. Time Series Analysis of Landslides using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). **Remote Sensing**, V. 7, p. 1736-1757, 2015.

VIRTALIS. Geovisionary Part of Malaysia's Virtual Geo-Hazards Monitoring and Asset Management System. Disponível em: <https://www.virtalis.com/blogs/2018/05/18/geovisionary-part-malaysias-virtual-geo-hazards-monitoring-asset-management-system/>. Acesso em: 18 de Setembro de 2018.

PROCESSAMENTO E AVALIAÇÃO DE ORTOMOSAICOS DE FOTOGRAFIAS DE PEQUENO FORMATO UTILIZANDO O AGISOFT PHOTOSCAN

RENATA MIRANDA DA SILVA

NATHALIA ROSE SILVA DA PURIFICAÇÃO

DANIEL CARNEIRO DA SILVA

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
eng.renatamiranda@gmail.com, nathaliarosesilva@gmail.com, carneirodasilvadaniel@gmail.com

RESUMO - Os softwares para processamento de dados obtidos através de VANT disponíveis no mercado atualmente têm processos automatizados que praticamente excluem a interferência humana durante suas etapas. Esses softwares também são adequados para o processamento de fotografias aéreas obtidas com câmeras digitais de pequeno formato montadas em aeronaves leves, o que pode atender ao mercado entre os mapeamentos com VANT e com a fotogrametria convencional de grande formato. Este trabalho mostra o processamento dos dados obtidos em um levantamento experimental na área histórica do município de Olinda/Pernambuco. Todo o processamento foi realizado no software Agisoft PhotoScan com a coleta de novos pontos de controle via levantamento GNSS. A metodologia utilizada inclui o fluxo de trabalho disponível no software com geração de produtos cartográficos intermediários e posterior avaliação da precisão posicional dos ortomosaicos produzidos de acordo com PEC planimétrico. Os resultados obtidos não foram considerados satisfatórios, sendo as ortofotocartas produzidas classificadas na classe B do PEC.

ABSTRACT - The commercially available VANT data processing software currently has automated processes that virtually exclude human interference during its stages. These software are also suitable for the processing of aerial photographs obtained with small-format digital cameras mounted on light aircraft, which may serve the market between VANT mappings and conventional large-format photogrammetry. This work shows the processing of the data obtained in an experimental survey in the historical area of the municipality of Olinda / Pernambuco. All the processing was performed in the Agisoft PhotoScan software with the collection of new control points via GNSS survey. The methodology used includes the workflow available in the software with the generation of intermediate cartographic products and subsequent evaluation of the positional accuracy of the orthomotics produced according to planimetric PEC. The results obtained were not considered satisfactory, and the orthophotographs produced were classified in class B of the PEC.

1 INTRODUÇÃO

Devido à facilidade de acesso ao público, tem crescido nos últimos anos a obtenção de dados por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para fins aerofotogramétricos. Para o processamento destes dados, existem atualmente no mercado diversos softwares que utilizam visão computacional (*SFM – Structure From Motion*) para identificar e correlacionar nas imagens os pontos necessários para a fototriangulação e reconstrução 3D, além de algoritmos de correspondências (*SIFIT – Scale Invariant Feature Transform*) que identificam pontos homólogos em outras imagens, mesmo com diferenças de escala, rotação e iluminação. Estes softwares são de uso mais simples para não fotogrametristas, pois possuem um alto grau de automatização dos processos e são capazes de processar uma grande quantidade de imagens. Ao mesmo tempo em que profissionais da área têm controle completo sobre a precisão dos resultados, através da análise do relatório gerado com o fim do processamento.

Segundo Silva et al. (2014), as etapas automatizadas nestes softwares podem ser concluídas apenas com as posições dadas pelo sistema GNSS, porém é conveniente o uso de pontos de apoio e de checagem medidos com procedimentos adequados para manter a qualidade. Como as imagens possuem normalmente uma dimensão do *Ground Sample Distance* (GSD) de poucos centímetros, é interessante manter a precisão do processamento nesta ordem.

As imagens utilizadas neste trabalho foram obtidas através de um levantamento experimental com câmera de pequeno formato realizado no Centro Histórico de Olinda-PE executado em duas edições, identificadas como voo 258-1 e voo 258-2 executados na mesma decolagem, para fornecerem dados abundantes por se tratar de experimento dos softwares de controle das tomadas. Realizou-se uma aquisição de novos pontos de controle via levantamento GNSS a fim de analisar o resultado do reprocessamento dos dados que foi desenvolvido como atividade complementar da disciplina de Fotogrametria III do Curso de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Para analisar a precisão planimétrica dos produtos obtidos utilizou-se o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Sobre o Software Utilizado

O Agisoft PhotoScan Profissional permite gerar nuvens de pontos densas georreferenciadas, polígonos texturizados, Modelos Digitais de Elevação (MDE) e ortomosaicos a partir de um conjunto de imagens que possuam alta sobreposição. Foi utilizada a versão comercial do software, disponível no Laboratório de Processamento de Imagens – LAPROIM do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE.

2.2 Informações da Câmera

A câmera utilizada foi um modelo compacto CANON EOS REBEL T5 com resolução de 5184x3456 pixels, GSD de 11,8 cm e distância focal de 18mm. A câmera foi previamente calibrada, sendo os dados obtidos na calibração convertidos para obtenção dos parâmetros de calibração através do software Agisoft Lens. A Tabela 1 apresenta estes parâmetros, sendo Cx e Cy as posições do centro perspectivo da câmera; K1, K2 e K3 os parâmetros de distorção radial simétrica; P1, P2, P3 e P4 os componentes da distorção descentrada; b1 e b2, parâmetros de afinidade.

Tabela 1 - Parâmetros da Câmera obtidos por conversão no Agisoft Lens

Parâmetros de Calibração

Cx	2,76984	**b1**	0,761499	**P1**	0,00196447	**P3**	0
Cy	29,0443	**b2**	0,0144001	**P2**	0,00031569	**P4**	0
K1	-0,177291	**K2**	0,22167	**K3**	-0,1684	**K4**	0,0892219

2.2 Métodos

A metodologia adotada seguiu o fluxo de trabalho disponível no software Agisoft PhotoScan no modo automático, executando as seguintes etapas:

a) Inserção do bloco de fotografias a ser processado;
b) Inserção das coordenadas dos centros de cada fotografia através do arquivo *log GPS;*
c) Pré-Calibração da câmera;
d) Alinhamento das fotografias: etapa de procura dos pontos homólogos entre as imagens sobrepostas, estimativa da posição da câmera para cada foto e construção do modelo de nuvem de pontos esparsos;
e) Marcação dos pontos de controle;
f) Importação das coordenadas dos pontos de controle;
g) Otimização do alinhamento da câmera;
h) Construção da nuvem de pontos densa;
i) Construção do modelo de malha poligonal;
j) Construção do modelo texturizado;

k) Classificação da Nuvem de pontos em duas categorias (pontos do terreno e demais pontos);
l) Construção do Modelo Digital de Elevação (MDE);
m) Construção do Ortomosaico.

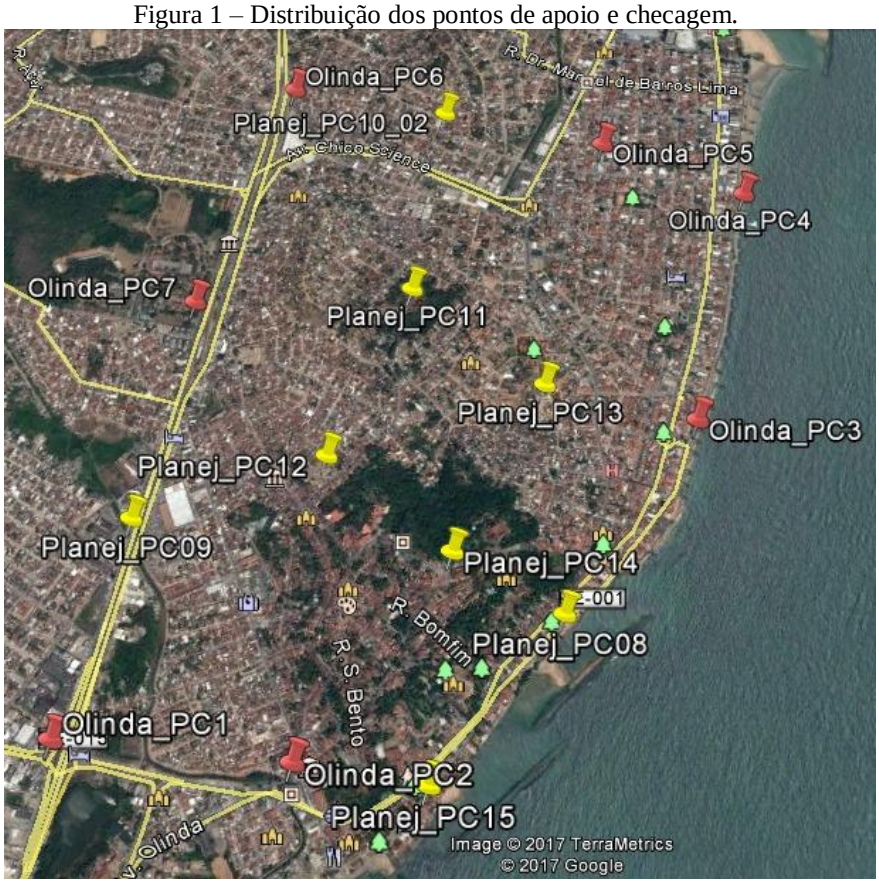
A avaliação da precisão foi realizada nas ortofotocartas produzidas a partir dos ortomosaicos construídos no software.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Obtenção dos Pontos de Controle

Na Figura 1 é possível observar a distribuição dos pontos de apoio e checagem que foram obtidos via levantamento GNSS e utilizados no processamento dos dados.

Figura 1 – Distribuição dos pontos de apoio e checagem.



Fonte: *Google Earth.*

Tabela 2: Coordenadas dos Pontos de Apoio e de Checagem

ID Ponto	PONTOS DE APOIO		ID Ponto	PONTOS DE CHECAGEM	
	E (m)	N(m)		E (m)	N(m)
PC_06	295.583,415	9.115.627,262	PC_03	297020,7740	9114171,7500
PC_01	294.860,357	9.113.164,014	PC_05	296756,5590	9115328,1210
PC_04	297.272,635	9.115.082,021	PC_07	295245,5170	9114715,6160
PC_11	296.036,595	9.114.710,6190	PC_08	296499,3510	9113505,3900
PC_12	295.743,094	9.114.076,2620	PC_09	295067,9480	9113891,6320
PC_02	295.632,955	9.113.053,702	PC_10	296167,9810	9115483,9870
PC_13	296.495,645	9.114.324,0030	PC_15	296068,3520	9112957,1420
PC_14	296.161,208	9.113.714,4510			

3.2 Processamento dos dados no Agisoft PhotoScan

Com a coleta dos novos pontos de controle realizada, os mesmos foram processados no software Topcon Tools v.8.2, utilizando o ponto RECF da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), para a data de 22 de Abril de 2017 (data em que ocorreu o levantamento), como controle para o ajustamento.

Foram executados os processos com bloco composto pela mesclagem das fotografias dos dois voos 258-1 e 258-2, com oito 8 pontos de controle distribuídos no centro e nas bordas do bloco e com pré-calibração. Neste processamento foram inseridos os parâmetros de calibração da câmera descritos na Tabela 1.

Todas as etapas descritas na metodologia foram realizadas no processamento dos dados. A Tabela 3 apresenta as discrepâncias obtidas entre as coordenadas reais dos pontos de apoio e suas coordenadas na fotografia nas direções X, Y e Z. O valor total em cm apresentado equivale a raiz do erro médio quadrático (REMQ).

Tabela 3 - Discrepância dos pontos de apoio (Relatório Agisoft PhotoScan).

	Label	**X error (cm)**	**Y error (cm)**	**Z error (cm)**	**Total (cm)**
Processamento com fotografias mescladas dos voos 258-1 e 258-2, 8 pontos de apoio distribuídos no centro e nas bordas com pré-calibração.	PC_06	0,9691	0,8174	-1,9959	2,3645
	PC_01	0,1421	0,8612	0,1598	0,8873
	PC_04	-0,3064	-0,6489	2,0799	2,2002
	PC_11	-0,2000	0,2108	1,5242	1,5516
	PC_12	-0,9348	-0,8040	-0,7333	1,4346
	PC_02	1,0026	-1,1184	-0,2720	1,5249
	PC_13	-0,7781	0,4977	-1,2185	1,5290
	PC_14	-0,1140	-0,1398	1,1202	1,1346
	Total (cm)	0,6695	0,7106	1,3223	1,6445

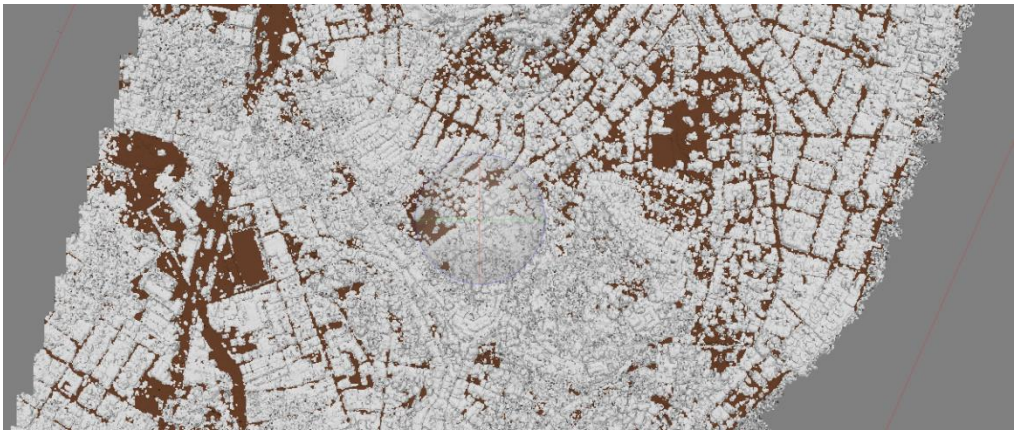
A partir da análise dos resultados obtidos observa-se que no processamento realizado a discrepância entre as coordenadas reais dos pontos e seu valor extraído do bloco de fotografias processado está na ordem dos centímetro, havendo um menor erro total na direção X. Observa-se ainda que os pontos PC_04 e PC_06 apresentaram maior discrepância posicional com erros maiores que 2cm. Para verificação e comparação destas discrepâncias apresentadas pelo software Agisoft PhotoScan foi realizado o estudo estatístico para validação dos resultados de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC.

3.3 Modelo Digital de Elevação

O PhotoScan permite a criação do Modelo Digital do Terreno (MDT) e Modelo Digital de Superfície (MDS) a depender dos dados selecionados no momento de construção do MDE.

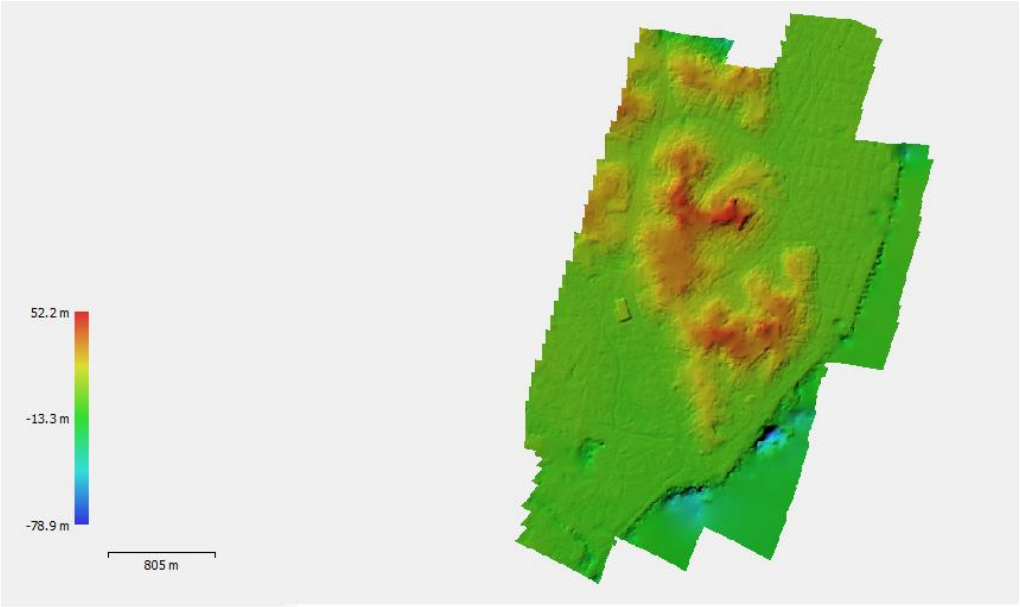
Neste trabalho objetiva-se construir o MDT para que seja possível a extração de curvas de nível que representam o terreno e não as regiões acima dele, como construções e vegetação, por exemplo. Para isso, foi realizada uma classificação na nuvem de pontos densa através da ferramenta "*Dense Cloud - Classify ground point*", dividindo-a em duas categorias: pontos do terreno e demais pontos. Aqui, observou-se um aspecto importante para que as classes de pontos no terreno e pontos acima do terreno fossem bem diferenciadas: É necessário alterar o ângulo máximo que é utilizado como limiar para definir se um ponto pertence ou não ao solo. O valor adotado como padrão no software é de 15 graus, porém o resultado da classificação com esse parâmetro apresentou falhas, devido ao fato da região estudada ser íngreme, onde pontos que estavam acima do terreno, como telhados de edificações situadas em áreas mais planas, foram considerados como pontos do tipo "*ground*". Deste modo, foram realizados testes aumentando e diminuindo o valor do ângulo máximo e verificando-se que, ao diminuir este parâmetro, a classificação apresentou melhores resultados. Um recorte na nuvem de pontos densa classificada com limiar de 5 graus foi efetuado para observar os detalhes das categorias criadas (Figura 2).

Figura 2 - Classificação da Nuvem de Pontos Densa. Categoria 1 – Pontos acima do terreno (em branco), Categoria 2 – Pontos do terreno (marrom).



Assim, com a seleção dos pontos do terreno para construção do MDE, foi gerado um MDT para cada processamento. O resultado de um deles pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3 - Modelo Digital do Terreno (MDT).



3.4 Construção do Ortomosaico

O ortomosaico também foi construído no PhotoScan utilizando a superfície do MDE como parâmetro. O produto obtido no software pode ser considerado como uma ortofoto verdadeira, já que o mesmo corrige o erro de paralaxe, exibindo um mosaico em que as fachadas dos imóveis não são visíveis. O resultado é apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Ortomosaico gerado no PhotoScan.

3.4 Avaliação Planimétrica da Acurácia Posicional

As cartas, segundo sua exatidão, são classificadas nas Classes A, B e C, de acordo com os critérios do PEC que foi regulamentado no Decreto Nº 89.817, estabelecendo as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Brasileira para os documentos cartográficos produzidos no território brasileiro. Como essa norma não é bastante detalhada quanto aos procedimentos e testes a serem obedecidos na elaboração e apresentação dos produtos, existe na literatura brasileira inúmeros trabalhos acadêmicos que sugerem métodos, estatísticas e diversos outros detalhes aplicáveis à testes de qualidade posicional. Neste trabalho serão utilizados como referência os valores de PEC Planimétrico e EP (Erro-Padrão) conforme valores da Tabela 4, para a escala 1:2000, estimada para a ortofoto desse trabalho, comparados com o EMQ dos pontos de checagem, avaliado com o vetor resultante da discrepância entre as coordenadas de campo e as da ortofoto.

Tabela 4 - Critérios do PEC

Carta	PEC Planimétrico	Erro-Padrão
Classe A	0,5mm x Escala	0,3mm x Escala
Classe B	0,8mm x Escala	0,5mm x Escala
Classe C	1,0mm x Escala	0,6 mm x Escala

Fonte: BRASIL (1984).

3.5 Discrepâncias dos Pontos de Verificação ou checagem e enquadramento do produto cartográfico no PEC

Os pontos não utilizados no processamento das imagens como pontos de controle foram adotados como pontos de verificação que servem como análise comparativa entre as coordenadas dos mesmos no terreno e suas coordenadas no

ortomosaico produzido. A Tabela 5 e 6 apresentam os resultados da análise das discrepâncias e os parâmetros estatísticos estudados, respectivamente. Sendo o erro planimétrico as discrepâncias resultantes nas direções Este e Norte e o EMQ, e Desvio Padrão (em função do erro planimétrico) calculados com as seguintes fórmulas:

$$EMQ = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(X_i^{observado} - X_i^{medido})^2}{n}} \quad (1)$$

$$DP = s = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - \overline{X})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Tabela 5 – Análise das discrepâncias entre as coordenadas dos pontos de checagem

ID Ponto	Terreno		Carta		ΔE(m)	ΔN (m)	Erro Planimétrico (m)
	E (m)	N(m)	E (m)	N(m)			
PC_03	297020,7740	9114171,7500	297021,3001	9114172,2466	-0,53	-0,50	0,7234
PC_05	296756,5590	9115328,1210	296757,9796	9115328,8070	-1,42	-0,69	1,5776
PC_07	295245,5170	9114715,6160	295245,2985	9114716,1406	0,22	-0,52	0,5682
PC_08	296499,3510	9113505,3900	296499,3667	9113505,2027	-0,02	0,19	0,1879
PC_09	295067,9480	9113891,6320	295067,9744	9113891,7237	-0,03	-0,09	0,0955
PC_10	296167,9810	9115483,9870	296168,3876	9115485,1602	-0,41	-1,17	1,2416
PC_15	296068,3520	9112957,1420	296067,4264	9112956,3161	0,93	0,83	1,2405

Tabela 6 - Parâmetros Estatísticos avaliados

EMQ(Este)	EMQ (Norte)	EMQ (resultante)	Desvio Padrão
0,6934 m	0,6648 m	0,9606 m	0,5662 m

Para realizar o enquadramento do ortomosaico produzido no PEC, levou-se em consideração as discrepâncias dos pontos de verificação apresentados na Tabela 5 e o valor do EMQ resultante como parâmetro estatístico (Tabela 6), tendo em vista que o desvio padrão original não é considerado um bom indicador na determinação da precisão do produto cartográfico. Deste modo, foram calculados os valores do PEC e do Erro Padrão para o produto representado na escala 1:2.000 (Tabela 7).

Tabela 7 - Valores de referência para escala 1:2000

Classe	PEC Planimétrico	Erro - Padrão
A	0,5 mm x 2000= 1000 mm ou 1,0 m	0,3 mm x 2000 = 600 mm ou 0,6 m
B	0,8 mm x 2000= 1600 mm ou 1,6 m	0,5 mm x 2000 = 1000 mm ou 1,0m
C	1,0 mm x 2000= 2000 mm ou 2,0 m	0,6 mm x 2000 = 1200 mm ou 1,2 m

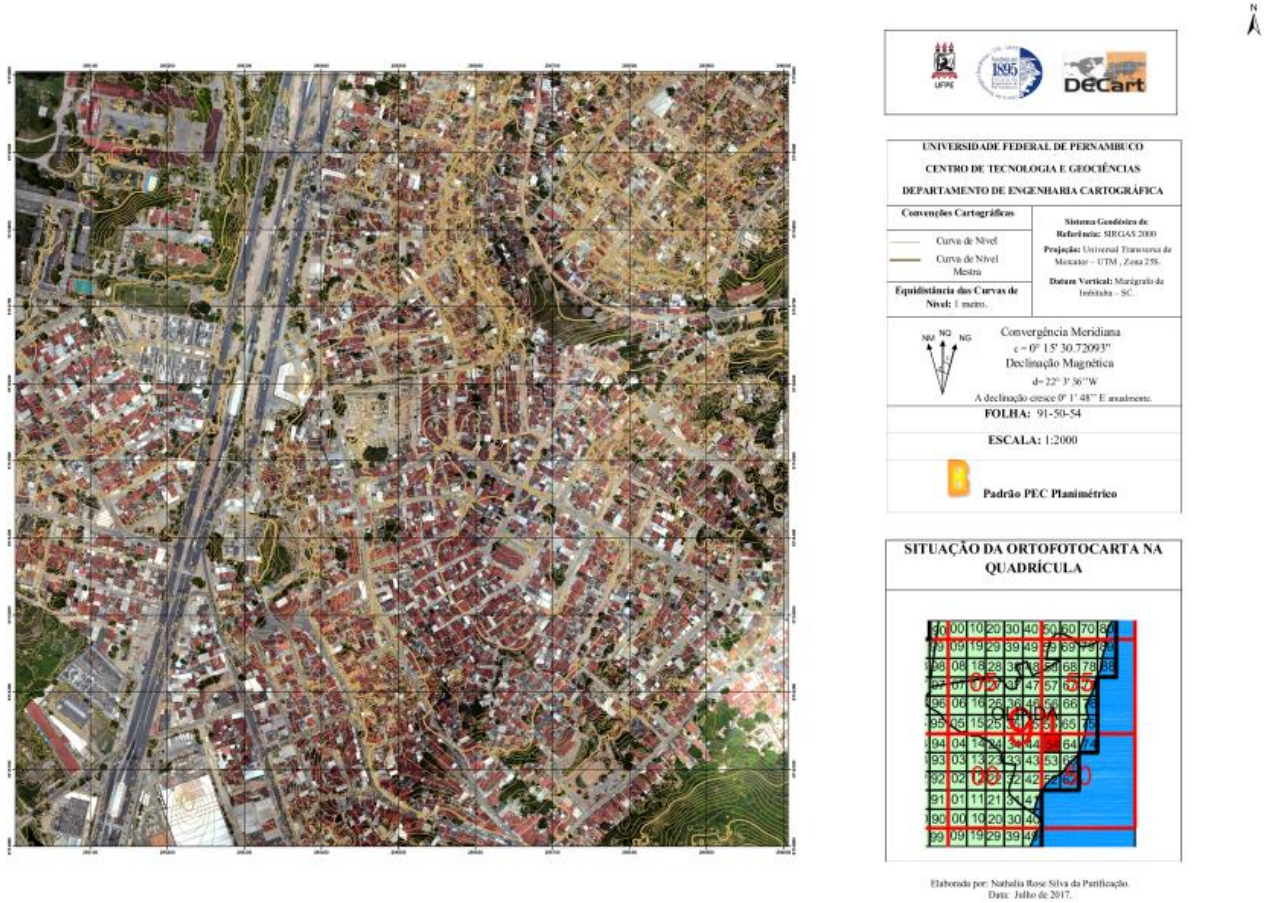
Associando os valores de referência apresentados na Tabela 7 com as discrepâncias e EMQ resultante, e levando em consideração que a classificação de um produto cartográfico deve atender aos seguintes critérios: i) 90% dos erros dos pontos coletados no produto cartográfico, quando comparados com as suas coordenadas levantadas em campo por método de alta precisão, devem apresentar os valores iguais ou inferiores aos previstos no PEC; ii) apresentar os valores

de erro-padrão (EP) também iguais ou inferiores aos previstos para a escala considerada; observa-se que todos pontos de checagem possuem discrepância individual menor que 1,6m e que o EMQ resultante é menor que 1,0m, ficando então definida a classificação do ortomosaico com enquadramento na Classe B do PEC.

3.6 Ortofotos

Foram produzidas ortofotocartas, ou ortofotos, usando o padrão de articulação da malha do Projeto Unibase que estabelece uma base única para os municípios que compõem a Região Metropolitana do Recife a partir do ortomosaico gerado. De acordo com a área representada no ortomosaico ficou definida a elaboração de três ortofotocartas de folhas número 91-50-54, 91-50-64 e 91-50-53. Uma das folhas é apresentada na Figura 5.

Figura 5 – Ortofocarta Olinda – Folha 91-50-54.



4 CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento do trabalho foi possível analisar os resultados obtidos no processamento dos dados com o uso de software Agisoft Photoscan produzido a partir de visão computacional para fins de mapeamento 3D que coincide com os produtos tradicionais da fotogrametria, incluindo modelos digitais de terreno e superfície e também mosaicos ortorretificados. No caso da ortorretificação são obtidas ortofotos verdadeiras, nas quais a correção dos telhados e topos de prédios aparecem na posição correta. Enquanto na Fotogrametria convencional são utilizados procedimentos com grande influência do operador, naqueles softwares, como no Agisoft PhotoScan, os processos são automatizados. Mesmo com a automatização há a necessidade de verificação posterior dos indicadores de precisão do software e qualidade visual das emendas no mosaico.

As ortofotocartas produzidas foram apresentadas numa escala arbitrada de 1:2000 devido à necessidade de observação de detalhes da área de estudo. A avaliação da altimetria não foi realizada neste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ pela concessão dos recursos que permitiram a aquisição das fotografias aéreas para este trabalho, pelo Edital Chamada Universal MCTI/CNPq N 14/2012

REFERÊNCIAS

BRASIL. 1984. Decreto N° 89.817 de 20 de Junho de 1984. **Normas Técnicas Da Cartografia Nacional.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.html

CONCAR. **Especificação Técnica Para A Aquisição De Dados Geoespaciais Vetoriais. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. 2.ed**. Exército Brasileiro – CONCAR-EB Brasil. 2011.

PHOTOSCAN. **Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition, Version 1.0.** Agisoft. 2014. Disponível em: http://www.agisoft.ru/pdf/photoscan_pro_1_0_en.pdf

SILVA et al. **Qualidade de Ortomosaicos de Imagens de VANT Processados com os Softwares APS, PIX4D e PHOTOSCAN**. In: V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2014, Recife/PE. V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2014.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias daGeoinformaçãoRecife - PE, 08-09 de Nov de 2018.

RECONSTRUÇÃO 3D DE MONUMENTOS HISTÓRICOS A PARTIR DE IMAGENS OBTIDAS POR RPAS

ALEX SORIA MEDINA[1]
LEONARDO ERCOLIN FILHO[1]
ELIZABETE BUGALSKI DE ANDRADE PEIXOTO[1]
ANDREA TEDESCO[2]

[1]Universidade Federal de Paraná - UFPR
Setor de Ciências da Terra- CT
Departamento de Geomática, Curitiba, Pr
asmedina@ufpr.br; Leonardo.ercolin@ufpr.br
[2]Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG
Setor de Ciências Exatas e Naturais
Departamento de Geociências, Ponta Grossa, Pr
atedesco@uepg.br

RESUMO - Os RPAs (Remotely Piloted Aircrafts) permitem a obtenção de dados para realizar a reconstrução 3D de uma forma rápida e eficaz. Nos últimos anos, esta nova tecnologia vem sendo usada em trabalhos de topografia, arqueologia e em levantamento do patrimônio edificado e tem permitido melhorar as técnicas e as metodologias de levantamentos para a obtenção de nuvem de pontos. Neste trabalho apresentamos o uso de RPA na obtenção de informação tridimensional da Casa de Manobras do Reservatório do Alto São Francisco da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR. Este trabalho se insere dentro do projeto intitulado Combinação de Métodos de Levantamentos Terrestres para a Documentação e Registro do Patrimônio Paranaense do Departamento de Geomática da UFPR, com o apoio da iniciativa privada através da empresa MUNDI Serviços de Geodésia, Cartografia e Segurança do Trabalho. O produto resultante deste trabalho foi o modelo tridimensional da edificação em formato digital,apropriado para sua impressão 3D, facilitando desta maneira a sua difusão ao público e promovendo a proteção do patrimônio edificado.

ABSTRACT –The RPAs (Remotely Piloted Aircrafts) allow you to obtain data to perform 3D reconstruction quickly and efficiently. In recent years, this new technology has been used in surveying, archeology and surveying of buildings, among others, improving the technique and methodology for obtaining point clouds. In this work we present the use of RPA to obtain the three - dimensional information of the Upper San Francisco Reservoir Maneuver House of the Paraná Sanitation Company – SANEPAR, within the project Combination of Methods of Land Surveys for Documentation and Registration of Patrimony Paranaense of the Department of Geomatics of UFPR, with the support of the private enterprise through the company MUNDI Services of Geodesy, Cartography and Work Safety. The final product of this work is a three-dimensional model produced by 3D printing facilitating its diffusion to the public and promoting the protection of the built heritage.

1 INTRODUÇÃO

Os RPAs (Remotely Piloted Aircrafts), no Brasil denominados VANTs (Veículos Aéreos Não-Tripulados), têm despertado um interesse expressivo, tanto no campo comercial quanto no militar e na pesquisa, para a coleta de dados cartográficos. Os métodos tradicionais, como levantamentos topográficos e aerofotogramétricos, apresentam limitações para a obtenção das informações necessárias aos mapeamentos devido à dificuldade de acesso aos sítios de interesse, à complexidade geométrica dos objetos a serem levantados, à resolução temporal e ao elevado custo.Os RPAs possibilitam a obtenção de informações georreferenciadas de forma rápida e eficaz, permitindo inclusive a modelagem tridimensional de edifícios, sendo úteis na geração de modelos 3D de cidades para o planejamento urbano, na avaliação de danos ao patrimônio edificado, na conservação de monumentos e na arquitetura e turismo digital (SORIA *et. al*.,

2013; LOZANO e ALONSO, 2016). Por tratar-se de técnica de Sensoriamento Remoto, permite a redução dos custos com recursos humanos e aquisição de dados em menor tempo.

A princípio, a grande vantagem do uso de RPAs, que colocou a tecnologia de maneira expressiva no mercado, foi a aquisição de dados com baixo custo. Atualmente, tem-se também como vantagem a precisão dos dados levantados pois a técnica possibilitou que os resultados obtidos substituíssem equipamentos de coleta mais onerosos, apresentando resultados semelhantes e com as mesmas possibilidades de integração a um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Além disso, a geração de nuvem de pontos possibilita a reconstrução tridimensional de uma edificação e sua impressão 3D. Neste sentido, os RPAs abrem-se a um novo campo de desenvolvimento tecnológico, no âmbito da preservação e difusão do patrimônio arquitetônico edificado, ajudando no cadastramento por meio de documentação de modelos 3D em arquivos digitais. Os modelos tridimensionais obtidos pelos processamentos das nuvens de pontos fornecem uma informação cartográfica precisa, permitindo futuros projetos de restauração objetivando a sua preservação, como também a sua difusão como elemento do patrimônio arquitetônico.

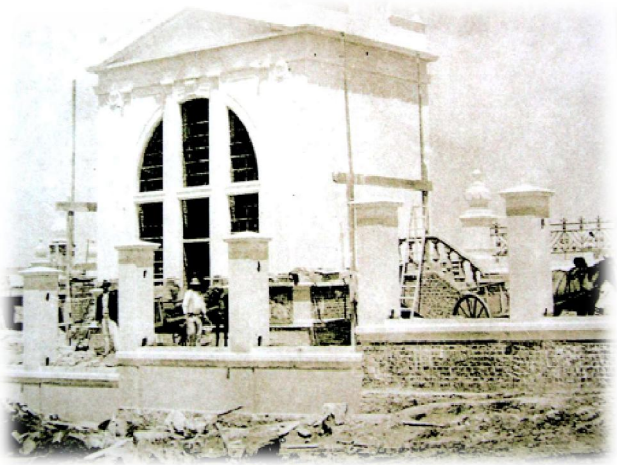
Neste estudo são apresentados os resultados obtidos na produção de um modelo digital, a partir de nuvem de pontos obtidas por RPA, de uma edificação com valor patrimonial. A área de estudo selecionada foi o Reservatório do Alto São Francisco, pertencente à companhia de saneamento do Estado do Paraná – SANEPAR, localizado em Curitiba-Pr. O propósito deste estudo se conecta com os objetivos do projeto de Combinação de Métodos de Levantamentos Terrestres para a Documentação e Registro do Patrimônio Paranaense, junto com a parceria da iniciativa privada representada pela empresa MUNDI.

2 ÁREA DE ESTUDO: CASA DE MANOBRAS DO RESERVATÓRIO DO ALTO SÃO FRANCISCO

O Reservatório do Alto São Francisco compreende todo o seu conjunto edificado constituído pelo reservatório, casa de manobras, chafariz e muros. A arquitetura sugere a influência do movimento Eclético, predominante tanto em Portugal como no Brasil no início do século XX, que propõe um modelo arquitetônico e paisagístico historicista, resultado da mistura de estilos diversos.

A casa de manobras, objeto de estudo desse trabalho, foi construída em alvenaria de tijolo sobre embasamento de pedra, expressa em sua arquitetura o ecletismo da época, reunindo na composição simétrica, elementos clássicos como o frontão triangular. As pilastras, capitéis ecornijas possuem soluções formais influenciadas por um "pré-modernismo" como o vão em arco pleno, interrompido por colunas, e os ornamentos de desenho geométrico executados em massa. A Casa de manobras é igualmente parte integrante da estrutura do reservatório obedecendo ao mesmo princípio estrutural, em alvenarias estruturais portantes tradicionais de tijolos maciços de barro de dois furos sobre embasamento de pedras irregulares ambas argamassadas, como mostra a Figura 1(SECRETARIA DE ESTADO DA CULTURA, 2018).

Figura 1 – Construção da Casa de Manobras



Fonte: Acervo Unidade de Serviço de Educação Sócio-Ambiental SANEPAR (2018)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Fotogrametria aérea com RPA

O RPA usado para este levantamento foi um quadricóptero DJI Phantom 4, com câmera de resolução de 12 megapixels. Anterior ao processo de aquisição das fotografias para o detalhamento do monumento, procedeu-se o planejamento do voo, levando em consideração as dimensões da edificação e os elementos de interesse próximos.

Foram realizados nove voos, de forma circular, como um processo sistemático de aquisição de imagens para a construção de um objeto 3D, com o objetivo de obter todo o detalhamento do monumento. O ponto central dos círculos foi coincidente com o centro do telhado do objeto, sendo que os raios foram de 7, 10 e 12 metros. Para cada raio foram realizados 3 voos com diferentes alturas de voo, sendo estas de 10, 15 e 20 metros, com sobreposição de 10 graus entre as fotos, ou seja, cada voo gerou 36 fotos. Considerando todos os voos circulares e diferentes alturas de voo foram coletadas 324 (36 fotos por voo X3 raios X3 alturas para cada raio) imagens.

O processamento foi realizado com o programa Agisoft Photoscan, o qual possui um algoritmo de visão computacional chamado SIFT (*Scale - Invariant Feature Transform*) que realiza a busca dos pontos homólogos sem levar em consideração a escala. Num primeiro momento os pontos são detectados nas fotos de origem e gera-se um descritor com base na vizinhança. Esses descritores são utilizados posteriormente para detectar correspondências nas fotos. Depois os parâmetros de orientação interior e exterior são resolvidos por um algoritmo que refina como se fosse um "*bundler*". A reconstrução da superfície com densidade de pontos é realizada através de mapas de profundidade. Por fim, gera-se a textura a partir de um particionamento da superfície e a combinação de fotos, que melhora a visualização do modelo digital.

Figura 2 – Planejamento das tomadas das fotografias com os voos circulares

Fonte: os autores (2018)

3.1 Apoio topográfico

O levantamento topográfico foi realizado para dar apoio ao levantamento fotogramétrico. Para tal, implantou-se uma poligonal fechada com quatro estações. A partir de cada estação foram determinadas as coordenadas de alvos pré-sinalizados nas quatro faces da Casa de Manobras. Cada face tinha, em média, 20 pontos totalizando 78 pontos de controle, dos quais foram selecionados alguns para servirem de pontos de verificação subsidiando a formação do modelo fotogramétrico. Na figura 3 observa- se a fachada principal da casa de Manobras com os pontos pré-sinalizados.

Figura3– Pontos de apoio obtidos por topografia

Fonte: os autores (2018)

4. RESULTADOS

A partir da nuvem de pontos foram gerados os seguintes produtos:modelo 3D, renderização e animações, documentos arquitetônicos (ortofotos, cortes e fachadas, modelos digitais apropriados para a impressão 3D e modelos para realidade aumentada). A figura 4 mostra a fachada principal e a figura 5 uma vista superior evidenciando o telhado, no modelo 3D, no qual podem ser evidenciadas, nitidamente, as formas geométricas da casa de manobras.

Figura 4 – Modelo 3D fachada principal - vista frontal da Casa de Manobras

Fonte: os autores (2018)

Figura 5 – Modelo 3D - vista de cima da Casa de Manobras

Fonte: os autores (2018)

Sobre o modelo 3D digital realizaram-se os procedimentos necessários para a geração de um modelo apropriado para a impressão 3D. O primeiro passo foi a geração de um modelo de superfície, ou seja, um modelo sólido, considerando o nível de resolução da tecnologia de impressão 3D, para que não se perdesse informação que caracterize a geometria do objeto possível de ser representada. A figura 6 ilustra a impressão 3D, a qual passou por um processo de pintura com as cores do monumento em questão.

Figura 6 – Impressão 3D da Casa de Manobras

Fonte: os autores (2018)

Para a avaliação dos resultados obtidos com o RPA foram medidos, sobre a nuvem de pontos, alturas e larguras das principais formas arquitetônicas como a porta e as janelas da fachada principal do reservatório, e comparadas com as medidas obtidas no levantamento topográfico. A tabela 1 mostra os valores obtidos e os erros calculados.

Tabela 1 - Medidas das larguras e alturas das janelas e portas sobre a nuvem de pontos e a partir do Levantamento Topográfico

	Janela Esquerda Inferior		Porta Central		Janela Direita Inferior	
	Largura (m)	Altura (m)	Largura (m)	Altura (m)	Largura (m)	Altura (m)
	1,1434	1,9294	1,0338	2,9510	1,1496	1,9598
RPA	1,1436	1,9297	1,0338	2,9515	1,1494	1,9596
Média	1,1435	1,9296		2,9513	1,1495	1,9597
	1,145	1,983	1,042	2,981	1,143	1,986
Topografia	1,148	1,985	1,045	2,984	1,146	1,982
Média	1,147	1,984	1,044	2,983	1,145	1,984
Dif. entre as médias	0,0035	0,054	0,010	0,032	0,0045	0,025

Uma vez efetuadas as médias entre os dados do levantamento topográfico e as médias obtidas com os dados do levantamento por RPA, procedeu-se a análise dos resultados obtidos. Esta análise foi realizada em função das medidas das dimensões homólogas das formas arquitetônicas da fachada principal do Reservatório.

Na avaliação estatística dos resultados obtidos nos dois levantamentos, verificou-se se existe diferença significativa entre os comprimentos (distâncias) das formas arquitetônicas (janelas e porta), para isto foi usado o teste estatístico "t" que realiza a comparação entre as médias das medidas pareadas (amostras pareadas) de dois grupos: o grupo 1 corresponde ao levantamento topográfico e o grupo 2 ao levantamento por RPA.

As estatísticas calculadas para a janela da esquerda, porta central e janela da direita são; 0,55; 1,25 e 0,58 respectivamente. Como todos os valores de "t" calculados são menores $|t| < t_{\alpha/2} = 2,277$ aceitou-se a hipótese de que não existe diferença significativa entre as distâncias obtidas com o levantamento topográfico e o realizado com o RPA a um nível de significância de 5%, o que significa que estas diferenças seriam quase imperceptíveis nas escalas arquitetônicas de 1:100 e 1:50, nas quais o erro de grafismo estaria no intervalo de 1 a 3 cm (DOCCI e MAESTRI, 2008)

5 CONCLUSÕES

Os levantamentos fotogramétricos realizados com RPAs têm permitido a obtenção de dados 3D com diferentes resoluções, facilitando sobremaneira a divulgação e uma melhor gestão na preservação do patrimônio cultural de um estado. Neste trabalho,comprovou-se o potencial dos RPAs de baixo custo para a obtenção de nuvens de pontos de alta resolução espacial aplicando técnicas fotogramétricas, permitindo a obtenção de modelos foto realísticos 3D digital. Estes dados também podem ser utilizados para realizar a recuperação e restauração de monumentos que tenham sofrido danos.

REFERÊNCIAS

DOCCI, M; MAESTRI, D. **Manuale di Rivelamento architettonico e Urbano**. Editori. Laterza&Figli. Bari – Itália, 2008.

LOZANO, J. F.; ALONSO, G. G. Uso de drones para la documentación 3D del patrimonio arquitectónico integrado en el proyecto Geoparque Las Loras (Burgos-Palencia) el Castillo Medieval de Úrbel. **Mapping.**V, 25 52-59. 2016.

MEDINA, S. S. S. **Análise de produtos fotogramétricos para cadastramento de monumentos históricos**. Tese de Doutorado apresentada no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR - Curitiba, PR. 2002.

MEDINA, A. S. **Uma proposta de metodologia para a extração semi-automática de formas arquitetônicas planas utilizando dados provenientes de Laser Escaner Terrestre.** Tese de Doutorado apresentada no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, Curitiba, PR. 2012.

SILVA, A. B. A; MEDINA, A. S.; SILVEIRA, D. S.; VECCHIA, L. F. D.**Pontos (devista) sobre o patrimônio; entre o escaneamento e a fotogrametria.** SIGraDi 2016 Congreso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital Buenos Aires, Argentina.

SECRETARIA DE ESTADO DA CULTURA – COORDENAÇÃO DO PATRIMÔNIO CULTURAL. Reservatório do Alto São Francisco. Disponível em:
< http://www.patrimoniocultural.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=224 > Acesso em 15 ago. 2018.

MEDINA, A. S.; MARTINEZ, J.; ARIAS, P.; ARMESTO, J.; ANTUNES, A. F. B.Three-Dimensional Modeling of theRomanesqueChurch of Santa Maria de Castrelos (Vigo – Spain) UsingTerrestrial Laser Scanner. **ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XL-5/W2, p. 601-604, jul. 2013. DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-601-2013.

REMOÇÃO DOS EFEITOS DA COLUNA D'ÁGUA E CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS OLI/LANDSAT-8 PARA O MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO AQUÁTICA SUBMERSA NO RESERVATÓRIO DE NOVA AVANHANDAVA

LUIZ HENRIQUE DA SILVA ROTTA[1]
FERNANDA SAYURI YOSHINO WATANABE[1]
NILTON NOBUHIRO IMAI[1]
ENNER ALCÂNTARA[2]

Universidade Estadual Paulista – UNESP
[1]Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT
Departamento de Cartografia, Presidente Prudente, SP
luizhrotta@gmail.com, fernanda.watanabe@unesp.br, nilton.imai@unesp.br
[2]Instituto de Ciência e Tecnologia – ICT
Departamento de Engenharia Ambiental, São José dos Campos, SP
enner.alcantara@unesp.br

RESUMO – A construção de reservatórios altera o ambiente podendo favorecer o crescimento descontrolado da vegetação aquática submersa (VAS). O uso de sensoriamento remoto para o monitoramento dessa macrófitas se destaca, principalmente em grandes áreas geográficas. Assim, o objetivo desse estudo é mapear a VAS do Reservatório de Nova Avanhandava por meio de classificação não-supervisionada em imagens OLI-Landsat-8. Para isso, a resposta espectral do fundo do reservatório foi calculada com base na teoria de transferência radiativa na coluna d'água. Observou-se que a remoção do sinal proveniente da coluna d'água foi fundamental para o mapeamento da vegetação submersa da área de estudo. A classificação isodata da imagem em reflectância do substrato (R^b) foi capaz de localizar com acurácia (80%) a presença das macrófitas submersas.

ABSTRACT –Aquatic environments are changed by the construction of reservoirs and it may favor the uncontrolled growth of submerged aquatic vegetation (SAV). The use of remote sensing to monitoring this kind of macrophytes is highlighted mainly in large areas. Therefore, the aim of this study is to map the VAS of the Nova Avanhandava Reservoir based on unsupervised classification of OLI/Landsat-8 images. For this, the bottom spectral response of the reservoir was calculated based on the radiative transfer theory through the water column. It was observed that remove the signal from the water column was fundamental in submerged vegetation mapping of the study area. The isodata unsupervised classification on the bottom reflectance image (R^b) was able to map with high accuracy (80%) the presence of the SAV.

1 INTRODUÇÃO

Reservatórios artificiais vêm sendo construídos para diversas finalidades: irrigação, prevenção de cheias, irrigação, navegação, abastecimento de água potável, pesca, recreação e geração de energia elétrica. Os principais produtores primários em reservatórios são os fitoplâncton, bactérias fotoautotróficas, algas do perifíton e macrófitas (TUNDISI e MATSUMURA-TUNDISI, 2008). Os principais grupos ecológicos de macrófitas são: emersas, com folhas flutuantes, submersas e flutuantes (THOMAZ e ESTEVES, 2011). No período chuvoso, o aumento da vazão do reservatório provoca a fragmentação da vegetação aquáticas submersa (VAS), arrastando essas macrófitas pelo reservatório em direção à usina hidrelétrica, prejudicando a navegação, a pesca, a captação de água, lazer e principalmente a geração de energia (MARCONDES et al., 2003).

Gestores de corpos d'água, especialmente de reservatórios de hidroelétrica, necessitam conhecer a distribuição espacial da VAS para tomar medidas de controle, quando necessárias. O uso de sensoriamento remoto para o monitoramento de macrófitas se destaca, principalmente em grandes áreas geográficas. De acordo com Dekker et al. (2001), se a coluna d'água é suficientemente transparente e o substrato está a uma profundidade onde uma quantidade

suficiente de radiação consegue atingir o fundo e ser refletida para fora do corpo d'água, então é possível mapear macrófitas submersas, recife de corais, etc.

Imagens hiperespectrais do Airborne Imaging Spectroradiometer for Applications (AISA) Eagle foi utilizado por Mishra et al. (2007) para detectar e classificar as algas marinhas, os recifes de corais e os habitats bentônicos. Hunter et al. (2010) utilizaram dados do Compact Airborne Spectrographic Imager-2 (CASI-2) para mapear a distribuição de macrófitas em lagos com profundidade média menor que 2,5 m no Reino Unido. Métodos para classificar VAS em águas rasas (menor que 3 m) da Flórida (EUA) usando o sensor CASI aerotransportado foi apresentado por Pande-Chhetri et al. (2014). Visser et al. (2015) investigaram a possibilidade de criar mapas da VAS em águas rasas usando sensoriamento remoto óptico de baixa altitude.

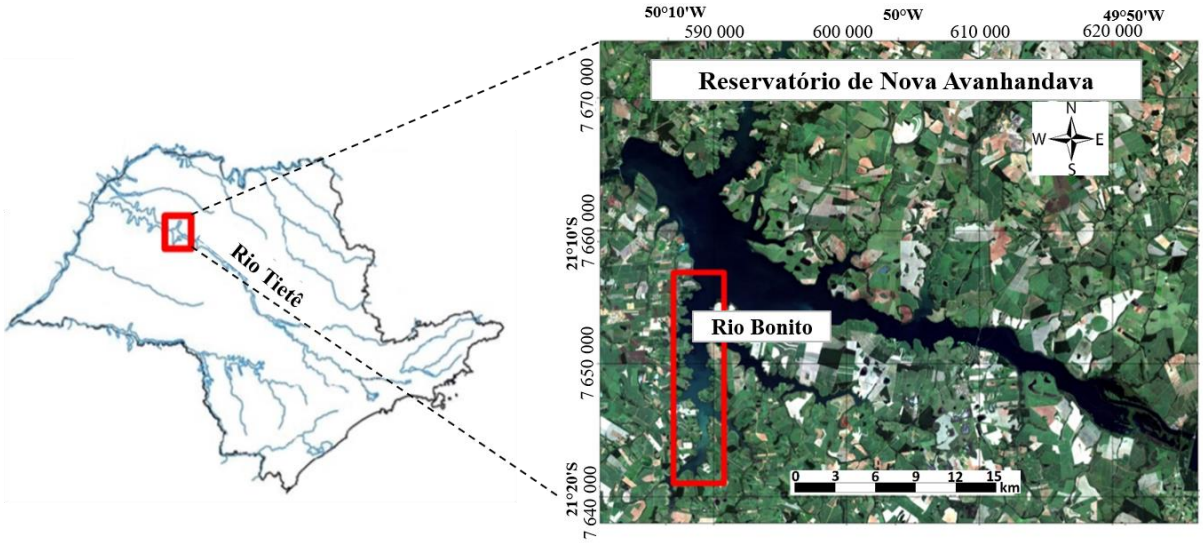
Mishra et al. (2007) ressaltaram a importância em remover o efeito da coluna d'água para mapear com acurácia ambientes bentônicos. Trabalhos mostraram que o uso de métodos simples de classificação em imagens de reflectância de superfície (logo acima da coluna d'água) pode não apresentar resultados satisfatórios no estudo da VAS em reservatórios com águas relativamente profundas (ROTTA et al., 2013; BOSCHI, 2011). Assim, o objetivo do presente trabalho é mapear a vegetação submersa do Reservatório de Nova Avanhandava por meio de classificação não-supervisionada em imagens OLI-Landsat-8. Para isso, a resposta espectral do fundo do reservatório será calculada com base na teoria de transferência radiativa na coluna d'água.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

O presente trabalho foi realizado no Reservatório de Nova Avanhandava (Figura 1). A usina hidroelétrica (UHE) desse reservatório está localizada no município de Buritana-SP e está em operação desde 1982. O reservatório conta com uma área de 210 km² e a barragem tem 2.038 m de comprimento. O levantamento dos dados em campo foi feito especificamente no Rio Bonito, em pontos amostrais distribuídos ao longo da área indicada com um retângulo vermelho na Figura 1.

Figura 1 – Localização do Reservatório de Nova Avanhandava em relação ao estado de São Paulo (Brasil). Imagem do sensor OLI/Landsat-8 em composição colorida com as bandas 432 (RGB) adquirida em 4 de julho de 2013 (WGS-84/UTM 22S). O retângulo vermelho no Rio Bonito indica a área de levantamento dos dados em campo.

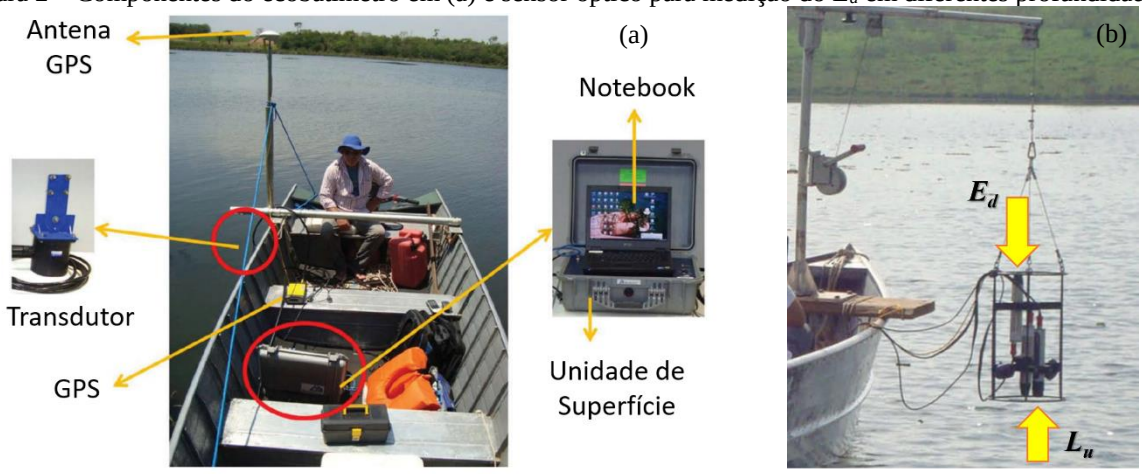


2.2 Levantamento de dados em campo

Foi realizada uma campanha de campo nos dias 4 e 5 de julho de 2013 para a coleta de dados com o sonar digital científico BioSonics DT-X (Ecobatímetro – Figura 2a) (http://www.biosonicsinc.com/). Esse equipamento permitiu coletar medidas de profundidade do corpo d'água e a altura da VAS. Os dados acústicos foram registrados em inúmeros transectos georreferenciados. A irradiância descendente (E_d) e a radiância ascendente (L_u) foram coletadas em diferentes profundidades (Figura 2b) em 19 pontos do reservatório entre os dias 28 e 30 de junho de 2013 usando o sensor óptico

TriOS/RAMSES (ACC-VIS) (http://www.trios.de). Esse sensor hiperespectral tem 190 bandas com resolução de 3.3 nm entre os comprimentos de onda 320 e 950 nm.

Figura 2 – Componentes do ecobatímetro em (a) e sensor óptico para medição do E_d em diferentes profundidades



Fonte: Adaptado de Rotta et al. (2016a)

O coeficiente de atenuação difusa (K_d) é calculado por meio da taxa de atenuação da irradiância com a profundidade (Kirk, 2011). Radiância e irradiância diminuem exponencialmente com a profundidade, portanto, K_d pode ser representado por (Mobley, 1994):

$$E_d(Z) = E_d(0^-)e^{-K_d Z} \quad (1)$$

Onde,
E_d(Z): Irradiância descendente na profundidade Z;
$E_d(0^-)$: Irradiância descendente logo abaixo da superfície da água;

O coeficiente de atenuação da radiância ascendente (K_{Lu}) pode ser escrito como (Mueller, 2003):

$$L_u(Z) = L_u(0^-)e^{-K_{Lu} Z} \quad (2)$$

Onde,
L_u(Z): Radiância ascendente na profundidade Z;
$L_u(0^-)$: Radiância ascendente logo abaixo da superfície da água;

2.3 Cálculo da reflectância do substrato

Para calcular a reflectância do substrato (fundo do corpo d'água) a partir da reflectância de superfície da imagem, ou seja, remover a influência da coluna d'água, foi utilizado a equação proposta por Dierssen et al. (2003) (Equação 3).

$$R^b = \frac{R_{rs} Q_b}{t} \frac{exp(-K_{Lu} Z)}{exp(-K_d Z)} \quad (3)$$

Onde,
R^b: Irradiância do substrato;
Q_b: razão E_u/L_u sobre o substrato, considerado como sendo π;
t: transmitância da radiância ascendente e da irradiância descendente através da interface ar-água, sendo considerado o valor 0.54 (MOBLEY, 1994).

Assim, com base nos valores de K_{Lu} e K_d calculados através das medidas feitas em campo com o espectroradiômetro, da profundidade do corpo d'água medido com o ecobatímetro e a reflectância de sensoriamento remoto (R_{rs}) obtida por meio da imagem OLI/Landsat-8, foi possível calcular a reflectância do fundo do reservatório, ou seja, a reflectância do substrato (R^b) para cada pixel da imagem. Vale ressaltar que foi utilizada imagem Landsat-8 Level-2, ou seja, produto em reflectância de superfície já corrigida atmosfericamente.

2.4 Classificação

As imagens OLI/Landsat-8 adquiridas em 4 de julho de 2013 foram classificadas por meio do algoritmo de agrupamento Isodata, que realiza uma classificação não-supervisionada por regiões. A classificação não-supervisionada é um método pelo qual os pixels são atribuídos a classes sem que o usuário tenha conhecimento prévio da existência ou nomes dessas classes. O algoritmo de agrupamento Isodata baseia-se na abordagem por k-médias, introduzindo várias verificações nos agrupamentos formados no processo iterativo de atribuição. Essas verificações estão relacionadas ao número de pixels atribuídos aos agrupamentos e suas formas no domínio espectral (RICHARDS, 2013).

Tanto a imagem de R^b quanto de R_{rs} foram classificadas para poder compará-las, ou seja, para verificar se a remoção dos efeitos da coluna d'água fizeram algum efeito no processo de identificação da VAS por meio da classificação das imagens. O processo de classificação por Isodata foi configurado para gerar um número de 10 classes espectrais, com 3 iterações e número mínimo de pixel para cada classe igual a 100. Foram utilizadas as bandas 1 (azul costal), 2 (azul), 3 (verde) e 4 (vermelho) do sensor OLI, com o centro de banda em 443 nm, 482 nm, 561 nm e 654 nm, respectivamente.

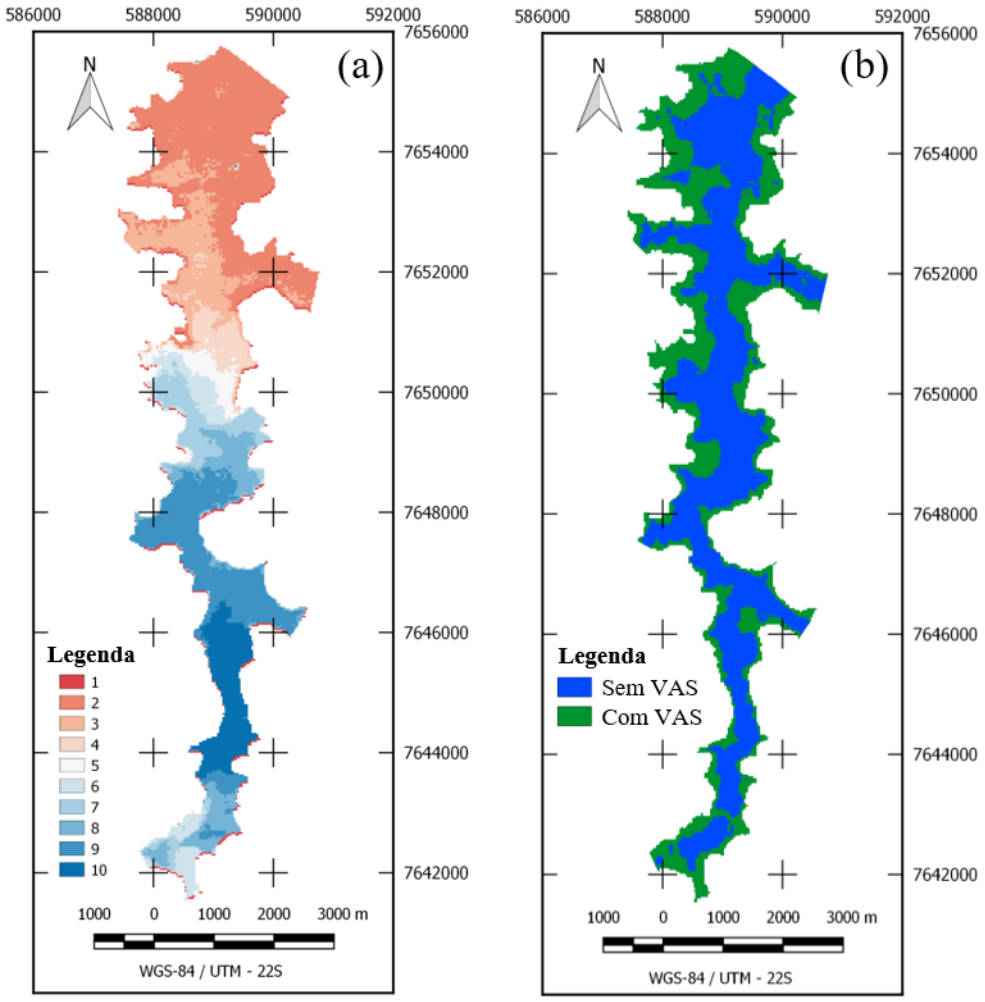
A avaliação da classificação foi feita com base nos dados do ecobatímetro. Assim, com a informação sobre os locais com presença da VAS adquiridos com o sonar, foi possível observar a eficácia da classificação, ou seja, verificar se com a imagem foi possível mapear os locais de ocorrência das macrófitas submersas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3a mostra o resultado da classificação isodata na imagem OLI em $R_{rs}(0+)$, ou seja, logo acima da coluna d'água. Como um dos principais fatores limitantes para o crescimento da vegetação submersa é a disponibilidade de radiação, essa macrófita se desenvolve nas margens dos corpos d'água. Esse padrão marginal não foi observado ao realizar a classificação na imagem em R_{rs}. Essa classificação em 10 classes espectrais mostrou uma tendência que segue à da transparência da água na área de estudo representado pelo K_d (ROTTA et al., 2016a) ou pelo disco de Secchi (ROTTA et al. 2016b). Isso indica que sem remover o sinal proveniente da coluna d'água não é possível mapear a VAS da área de estudo por meio de classificação de imagens.

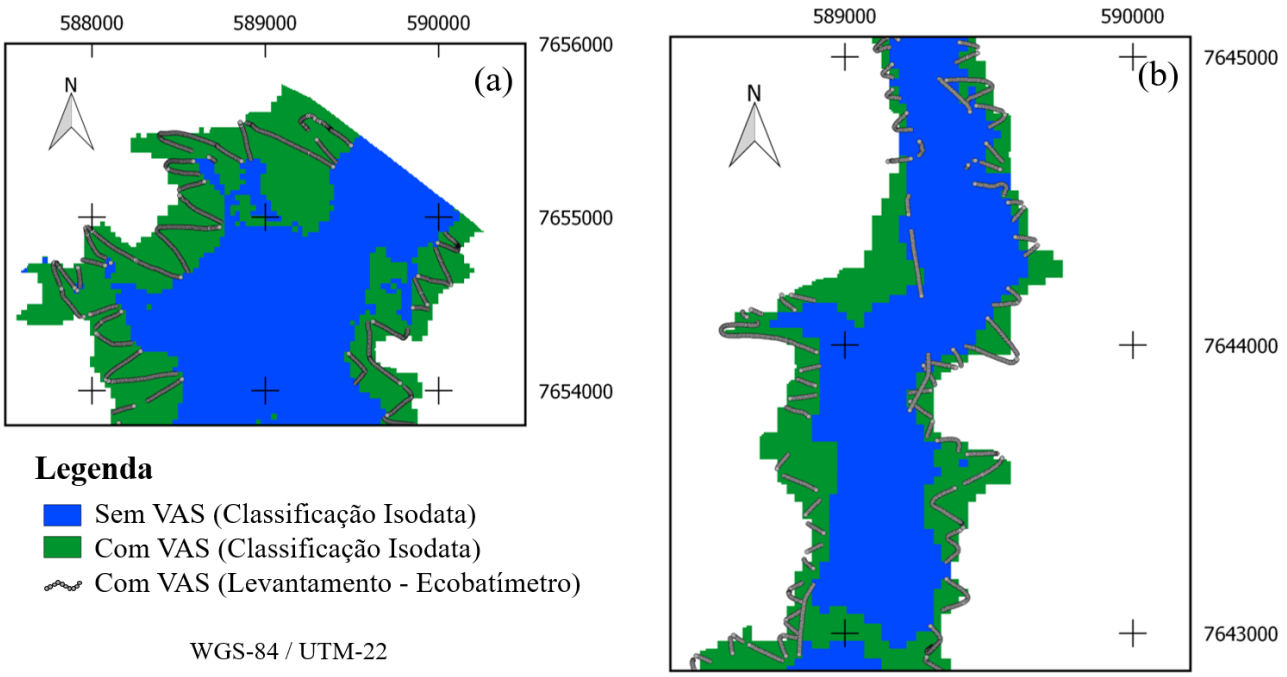
A Figura 3b mostra o mapa da distribuição da VAS na área de estudo como resultado da classificação isodata na imagem OLI em R^b, ou seja, reflectância após remoção do sinal proveniente da coluna d'água. Das 10 classes espectrais geradas, duas foram atribuídas à classe temática "Com VAS" e oito à classe "Sem VAS". Essa atribuição de classe espectral em classe temática foi feita com base nos dados adquiridos com o ecobatímetro. Foi possível verificar uma grande diferença na classificação da imagem em R_{rs} com a imagem em R^b, mostrando uma forte influência do sinal da coluna d'agua no produto final da classificação.

Figura 3 – Classificação Isodata da imagem em R_{rs} (Reflectância de sensoriamento remoto acima da coluna d'água) em (a) e classificação Isodata da imagem em R^b (Reflectância do substrato) em (b).



Verificou-se uma alta acurácia da classificação isodata com base na imagem em R^b. Com o ecobatímetro foi possível identificar pontos com a presença da VAS nos transectos levantados em campo. Desses pontos identificados com a presença de VAS pelo ecobatímetro, cerca de 80% coincidiram com as regiões com VAS da classificação isodata. A Figura 4 mostra duas regiões (jusante em (a) e montante em (b)) comparando a classificação com os transectos levantados em campo. Com base na Figura 4 pode-se afirmar que a classificação isodata da imagem em R^b foi satisfatória no mapeamento da VAS da área de estudo. Observa-se uma maior exatidão do mapeamento na região a jusante (Figura 4a), provavelmente devido à maior transparência da água nesse local, o que favorece a identificação do alvo.

Figura 4 – Comparação entre os transectos levantados com o ecobatímetro com a presença de VAS (verdade terrestre) e a classificação isodata da imagem em R^b à jusante em (a) e à montante em (b).



5 CONCLUSÃO

Levando-se em conta o que foi observado conclui-se que a remoção do sinal proveniente da coluna d'água foi fundamental para um mapeamento acurado da vegetação submersa da área de estudo. Nesse sentido, o modelo desenvolvido por Dierssen et al. (2003) para calcular a reflectância do substrato se mostrou adequado diante o objetivo proposto. Além disso, o sensor OLI/Landsat-8 forneceu sinal suficiente e de qualidade para o estudo de ambientes aquáticos bentônicos, inclusive o produto Level-2 corrigido atmosfericamente.

A classificação isodata na imagem em reflectância de sensoriamento remoto de superfície (logo acima da coluna d'água) não apresentou resultado satisfatório no mapeamento da VAS. Já a classificação isodata da imagem após a remoção do sinal da coluna d'água foi capaz de localizar com acurácia (80%) a presença das macrófitas submersas no reservatório estudado. Isso indica que a metodologia adotada no presente trabalho poderia ser utilizada para mapear a presença de VAS em outros reservatórios brasileiros com características limnológicas similares, auxiliando gestores de reservatórios na tomada de decisão.

Recomenda-se para trabalhos futuros o teste de outros classificadores para o mapeamento da vegetação submersa, inclusive a classificação supervisionada.

REFERÊNCIAS

BOSCHI, L. S. Espacialização do biovolume de plantas aquáticas submersas a partir da integração de dados obtidos por sensores remotos. 162 f. **Tese** (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2011.

DEKKER, A. G.; BRANDO, V. E.; ANSTEE, J. M.; PINNEL, N.; KUTSER, T.; HOOGEBOOM, E. J.; PETERS, S.; PASTERKAMP, R.; VOS, R.; OLBERT, C.; MALTHUS, T. J. M. Imaging spectrometry of water. In: VAN DER MEER, F. D.; DE JONG, S. M. **Imaging spectrometry: basic principles and prospective applications**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001.

DIERSSEN, H. M.; ZIMMERMAN, R. C.; LEATHERS, R. A.; DOWNES, T. V.; DAVIS, C. O. Ocean color remote sensing of seagrass and bathymetry in the Bahamas Banks by high-resolution airborne imagery. Limnol. Oceanogr.: V. 48(1) part 2, p. 444-455, 2003.

HUNTER, P.D.; GILVEAR, A.N.; WILLBY, N. J.; KELLY, A. Mapping macrophytic vegetation in shallow lakes using the Compact Airborne Spectrographic Imager (CASI). **Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst**. V. 20, p. 717–727, 2010.

KIRK, J.T.O. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**, third ed. New York: Cambridge University Press, 2011.

MARCONDES, D. A. S.; MUSTAFÁ, A. L.; TANAKA, R. H. Estudos para manejo integrado de plantas aquáticas no reservatório de Jupiá. In: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (Editores). **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: EDUEM, 2003.

MISHRA, D. R.; NARUMALANI, S.; RUNDQUIST, D.; LAWSON, M.; PERK, R. Enhancing the detection and classification of coral reef and associated benthic habitats: A hyperspectral remote sensing approach. **Journal of Geophysical Research**, V. 112, C08014, p. 1-18, 2007.

MOBLEY, C.D. **Light and water: radiative transfer in natural waters**. San Diego: Academic Press, 1994.

MUELLER, J. L.; In-Water Radiometric Profile Measurements and Data Analysis Protocols. In: Mueller J.L., Fargion G. S., and Mcclain C. R. (Editors), **Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation**. NASA, Goddard Space Flight Space Center, Greenbelt, Maryland 20771, Revision 4, Volume Iii, 2003.

PANDE-CHHETRI, R.; ABD-ELRAHMAN, A.; JACOBY, C. Classification of submerged aquatic vegetation in black river using hyperspectral image analysis. **Geomatica**, V. 68 (3), p. 169–182, 2014.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis - An Introduction**. 5th Edition. Berlin: Springer, 2013.

ROTTA, L. H. S.; ALCÂNTARA, E. H.; WATANABE, F. S. Y.; RODRIGUES, T. W. P.; IMAIM N. N. Atmospheric correction assessment of SPOT-6 image and its influence on models to estimate water column transparency in tropical reservoir. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, V. 4, p. 158–166, 2016b.

ROTTA, L. H. S.; IMAI, N. N.; BOSCHI, L. S. Imagem de Alta Resolução Espacial na Detecção de Macrófitas Submersas – Estudo de Caso. **Revista Brasileira de Cartografia**. V. 65(1), p. 95–109, 2013.

ROTTA, L. H. S.; MISHRA, D. R.; ALCÂNTARA, E. H.; IMAI, N. N. Analyzing the status of submerged aquatic vegetation using novel optical parameters. **International Journal of Remote Sensing and Remote**, V. 37 (16), p. 3786-3810, 2016a.

THOMAZ, S. M.; ESTEVES, F. A. Comunidade de macrófitas aquáticas. In: ESTEVES, F. A (Coordenador) - **Fundamentos de Limnologia**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VISSER, F.; BUIS, K.; VERSCHOREN, V.; MEIRE, P. Depth Estimation of Submerged Aquatic Vegetation in Clear Water Streams Using Low-Altitude Optical Remote Sensing. **Sensors**, V. 15, p. 25287-25312, 2015.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.

SENSORIAMENTO REMOTO PARA MAPEAMENTO DA SUPERFÍCIE TERRESTRE: FERRAMENTA WEB NO PROCESSO DE SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS

RICARDO FREDDO[1]
ROGÉRIO RODRIGUES DE VARGAS[1]
NATÁLIA CARVALHO DE AMORIM[2]
ALEXANDRE BERNARDINO LOPES[3]

Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA[1]
Laboratório de Sistemas Inteligentes e Modelagem – LabSIM
Universidade Federal do Paraná – UFPR[2]
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – Setor de Ciências da Terra
Universidade Federal do Paraná – UFPR[3]
Centro de Estudos do Mar – CEM
ricardo.freddo@hotmail.com, rogvar@gmail.com, carvalho.natalia03@gmail.com, ablopesrp@ufpr.br

RESUMO – O Sensoriamento Remoto apresenta elevado potencial quando aplicado ao monitoramento de fenômenos naturais e sociais, podendo ser utilizado como ferramenta de apoio à tomada de decisão tanto no contexto urbano quanto no rural, demonstrando sua utilidade quando aplicado ao mapeamento da superfície terrestre. Para facilitar a interpretação das imagens de sensores, surgem as diversas técnicas computacionais, potencializando ainda mais o uso do Sensoriamento Remoto nos meios citados. Este trabalho aplica o algoritmo ckMeansImage no processo de segmentação de imagens com o objetivo de mapear áreas da superfície da Terra, identificando áreas de inundação ocasionadas pelo Rio Uruguai e áreas agrícolas para manejo diferenciado, a área de estudo compreende o município de Itaqui - RS. O algoritmo gerou resultados satisfatórios, uma vez que tornou possível a distinção de padrões presentes nas imagens, bem como possibilitou observar o comportamento do Rio Uruguai durante o período de cheia, podendo concluir que o algoritmo apresenta potencial para contribuições nos contextos urbano e rural.

ABSTRACT – Remote Sensing presents high potential when applied to the monitoring of natural and social phenomena, and can be used as a tool to support decision making in both urban and rural contexts, demonstrating its usefulness when applied to terrestrial surface mapping. In order to facilitate the interpretation of the sensor images, the various computational techniques emerge, further enhancing the use of Remote Sensing in the mentioned means. This work applies the ckMeansImage algorithm in the image segmentation process with the objective of mapping areas of the Earth 's surface, identifying flood areas caused by the Uruguay River and agricultural areas for differentiated management. The study area comprises the municipality of Itaqui - RS . The algorithm generated satisfactory results, since it made possible the distinction of patterns present in the images, as well as allowed to observe the behavior of the Uruguay River during the flood period, being able to conclude that the algorithm presents potential for contributions in contexts urban and rural.

1 INTRODUÇÃO

A constante evolução das tecnologias da informação e comunicação proporcionou a criação de novas metodologias, bem como o avanço nas técnicas já existentes para aquisição e análise da geoinformação. Cemin (2009) comenta que as inovações em sensores de alta resolução potencializaram significativamente as diversas formas de obtenção e uso da geoinformação nas mais diversas áreas produtivas.

Neste contexto, o Sensoriamento Remoto surge como uma ferramenta de vasta aplicabilidade, podendo ser utilizado como uma das principais fontes de informações para monitoramento de fenômenos naturais ou sociais, servindo de apoio à tomada de decisão para gestores (VILELA, 2010).

O Sensoriamento Remoto fornece dados da superfície da Terra com consistência e periodicidade, obtendo dados para fins urbanos (cadastro, planejamento urbano, inferência demográfica), agrícolas (previsão de safras, erosão do solo, condição das culturas), ecológicos (regiões alagadas, florestas, oceanos), florestais (controle de desflorestamento, produção de madeira), oceanográficos (monitoramento de óleo, estudos costeiros), cartográficos (mapeamento

topográfico, atualização de terra, mapeamento temático), hidrológicos (mapeamento de áreas afetadas por inundações), e muitas outras aplicações (NOVO, 2010).

A prática de obter informações sobre a Terra e superfícies de água usando imagens adquiridas a partir de uma perspectiva aérea, utilizando radiação eletromagnética em uma ou mais regiões do espectro eletromagnético, refletida ou emitida da superfície da Terra pode ser definida como Sensoriamento Remoto (CAMPBELL; WYNNE, 1944).

A utilização de técnicas e ferramentas de Sensoriamento Remoto demonstram potencialidade para representar a superfície terrestre, uma vez que imagens de satélites podem ser obtidas de forma gratuita em *sites* como o do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), repositório do Land Viewer (disponível no endereço: https://eos.com/landviewer/) ou USGS (U. S. Geological Survey, disponível em: https://www.usgs.gov/), entre outras formas de aquisição de imagens.

Imagens de Sensoriamento Remoto podem ser geradas a partir de sensores imageadores acoplados em satélites ou por meio de aeronaves ou Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), caracterizando assim as técnicas fotogramétricas. Tais imagens, em sua forma original, muitas vezes não permitem uma análise precisa e de qualidade. Portanto, é necessário executar processamentos computacionais aplicado às imagens.

De acordo com Albuquerque e Albuquerque (2002), processar uma imagem é um método de transformações sucessivas que geram grupos destacados entre si a partir da detecção de padrões, permitindo obter informações com maior facilidade. O processamento de imagens está dividido em três categorias, que são: o realce de imagens (melhora a visualização das imagens), restauração de imagens (objetiva reconstruir imagens danificadas) e análise de imagens (extrair informações das imagens). Geralmente é preciso unir estas três categorias para que um resultado de qualidade seja obtido (BOTELHO, 2007). Na última etapa do processamento de imagens, ou seja, a análise, ocorre a busca de detalhes que formem padrões, atribuindo-lhe rótulos.

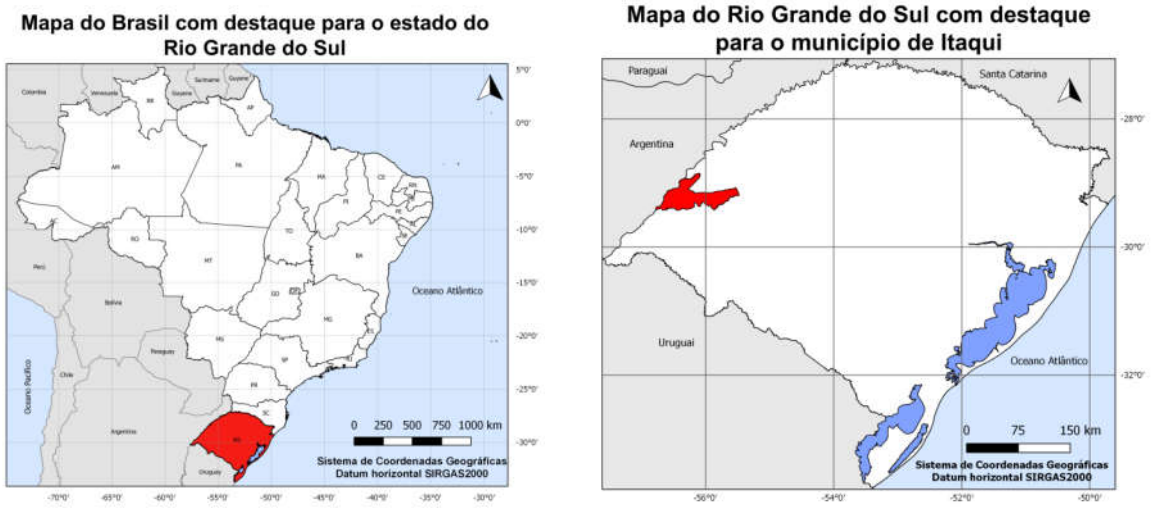
O Sensoriamento Remoto e as suas tecnologias mostram grande importância principalmente quando aplicado ao monitoramento de fenômenos ambientas (DA SILVA, et. al., 2005), tais como inundações e cheias, bem como na produção agrícola, área na qual esta ciência contribui através do monitoramento de culturas para diversas finalidades.

Desse modo, este trabalho aplica o Algoritmo ckMeansImage (VARGAS, 2018) no processo de segmentação de imagens de Sensoriamento Remoto para dois casos no município de Itaqui-RS, são eles: identificação de áreas de inundação ocasionadas pelo Rio Uruguai e identificação de áreas agrícolas para manejo diferenciado. A área de estudo, a ferramenta utilizada e os resultados e discussões serão apresentados nas seções que seguem.

2 METODOLOGIA

Para a realização dos experimentos, foram selecionadas duas imagens de satélite que recobrem parte do município de Itaqui, localizado no estado do Rio Grande do Sul. A Figura 1 apresenta a localização do município de Itaqui.

Figura 1 – Localização do município de Itaqui.



Fonte: Autor (2018).

2.1 Identificação de áreas de inundação

A imagem utilizada para identificar áreas de inundação é do satélite Sentinel-2, datada de 02 de junho de 2017, quando o Rio Uruguai encontrava-se 10,96 metros acima do seu nível normal. A imagem é uma composição das bandas 483 (*red, infrared* e *green,* respectivamente), com resolução espacial de 10 metros, possuindo resolução radiométrica de 12 *bits* e tempo de revisita (resolução temporal) de 5 dias com a constelação de 2 satélites Sentinel 2A e 2B, no equador. A coordenada do ponto central da imagem é dada por 29° 08' 22,81" S e 56° 32' 32,04" W.

A Figura 2 representa a área de estudo para identificar áreas de inundação.

Figura 2 – Inundação do Rio Uruguai no município de Itaqui.

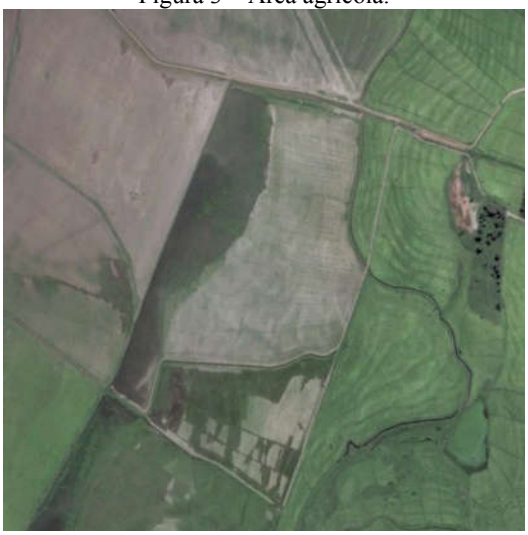
Fonte: Vargas (2018).

2.2 Identificação de áreas agrícolas para manejo diferenciado.

A aquisição da imagem para identificação de áreas agrícolas para manejo diferenciado deu-se através do uso do *software* Google Earth (disponível em: http://www.google.com/earth), datada de 14 de março de 2016. A região caracteriza-se por ter um relevo plano, possuindo ao norte o Rio Uruguai, a leste a corrente do Cambaí e a oeste o fluxo das olarias. O ponto central da imagem possui coordenadas aproximadas de 29° 10' 09" S e 56° 34' 34" W.

A Figura 3 mostra a imagem obtida para identificação de áreas agrícolas para manejo diferenciado.

Figura 3 – Área agrícola.



Fonte: Autor (2018).

2.3 Algoritmo ckMeansImage no processo de segmentação de imagens

O processamento das imagens ocorreu através do uso do Algoritmo ckMeansImage aplicado a imagens de Sensoriamento Remoto. A ferramenta pode ser acessada no seguinte endereço *web*: http://labsim.unipampa.edu.br/labsim/ckMeansImage/.

O Algoritmo ckMeansImage é uma hibridização do Algoritmo K-Means (MACQUEEN, 1967) e do Fuzzy C-Means (BEZDEK, 1981), que utiliza a lógica *fuzzy* para o agrupamento dos *pixels* semelhantes.

A lógica *fuzzy* é um instrumento capaz de encontrar soluções em problemas onde os dados de entrada são incertos e devolver conclusões convertidas em formatos numéricos, sendo esta sua principal característica e vantagem (TANSCHEIT et al., 2007). A lógica *fuzzy* tem várias aplicações, uma delas está centrada no processamento de imagens digitais, onde é aplicada para quantificar o grau de pertinência de cada pixel a determinados grupos de cores predefinidos pelo usuário. A lógica *fuzzy* aplicada ao processamento de imagens digitais permite a manipulação das incertezas dos dados e sua adequada manipulação e quantificação e ainda, permite que os dados sejam combinados e se tornem um único valor final (BOAVENTURA, 2010). Segundo Zadeh (1965), o grau de pertinência pode assumir qualquer valor entre o intervalo 0 e 1, onde 1 afirma completa pertinência a um único grupo e 0 indica exclusão dos demais.

Segundo Doni (2004), agrupamento de dados é o procedimento que separa os conjuntos de dados seguindo padrões de comportamento, tornando cada grupo semelhante a partir de algum critério. Com os padrões formados nos subconjuntos, estes podem compor novos subgrupos que possuam mais similaridade, facilitando análises. Os métodos de análises são amplamente utilizados em várias aplicações, sendo alguns o reconhecimento de padrões, análise de dados, processamento de imagens e pesquisa de mercado.

O uso da ferramenta torna-se possível através da criação de uma conta, que pode ser feito com um cadastro de usuário, desta forma, efetuando o *login*, todas as funcionalidades da ferramenta ficam acessíveis.

As etapas de processamento deram-se da seguinte forma:

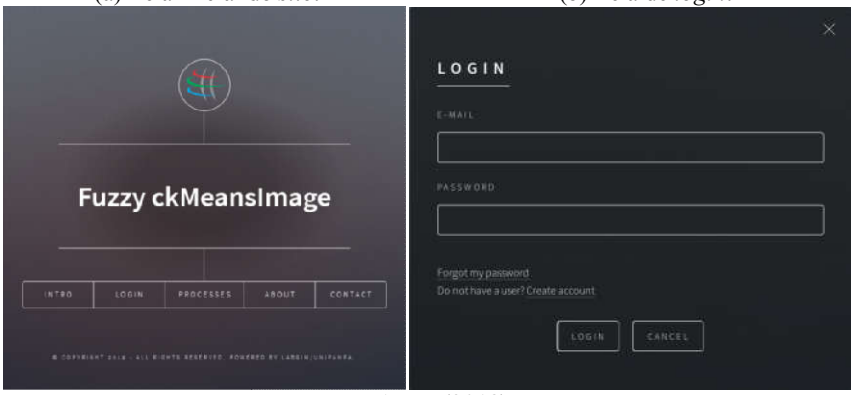
- *Upload* da imagem a ser processada: ao efetuar *login*, o usuário será redirecionado para a tela que contém a lista de processos e a opção de criar um novo processo (onde poderá selecionar o Algoritmo ckMeansImage e, então fazer *upload* da imagem e determinar todos os parâmetros);
- Determinar o número de *clusters*: o número de *clusters* determina quantos grupos de cores a imagem processada terá;
- Definir o parâmetro *fuzziness*: o parâmetro *fuzziness* tem relação direta com a maneira como o agrupamento dos *pixels* ocorrerá;
- Definir o critério de parada: o processo de agrupamento irá terminar quando a diferença entre a matriz atual de grau de pertinência de cada *pixel* e sua matriz subsequente não obtiverem um resultado maior do que o valor definido como critério de parada;
- Usar o parâmetro *alpha-cut* (sim/não): irá determinar o valor de corte que define quais *pixels* terão pertinência confiável para determinado *cluster*.

A Figura 2 teve o processamento realizado com número de *clusters* igual a 3, parâmetro *fuzziness* igual a 1,25 e critério de parada igual a 0,001. Para a Figura 3, o processamento ocorreu com número de *clusters* igual a 4, parâmetro *fuzziness* igual a 1,25 e critério de parada igual a 0,001. Para ambas as imagens o parâmetro *alpha-cut* não foi utilizado.

A Figura 4 (a) apresenta a tela inicial da ferramenta e a Figura 4 (b) mostra a tela de *login*.

Figura 4 – Ferramenta *web*.

(a) Tela inicial do *site*. (b) Tela de *login*.



Fonte: Autor (2018).

Ao acessar a página *web* o cadastro pode ser realizado pelo menu *login* (opção *create account*) e, então, a lista de processos pode ser acessada. A Figura 5 (a) mostra a lista de processos e a Figura 5 (b) tela de detalhes do processamento.

Figura 5 – Ambientes da ferramenta *web*.

(a) Lista de processos. (b) Detalhes do processamento.

Fonte: Autor (2018).

A lista de processos oferece opções de verificação do status do processamento, mantendo assim o usuário informado sobre o andamento do processo de segmentação da imagem. O item *details* apresenta maior detalhamento do processo, informando dados como hora inicial e final do processo, qual algoritmo está executando o processamento, opção de *download* quando o processo está concluído e, todos os parâmetros selecionados pelo usuário para o processamento.

Ainda, a opção *remove* possibilita ao usuário finalizar o processamento no momento que desejar ou remover o processamento depois de finalizado se os resultados não forem mais de interesse.

A Figura 6 mostra a definição dos parâmetros.

Figura 6 – Algoritmo ckMeansImage.

Fonte: Autor (2018).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos processamentos realizados, foram obtidas as imagens resultantes para os dois casos. A Figura 7 é o resultado do processamento para a imagem utilizada na identificação de áreas de inundação.

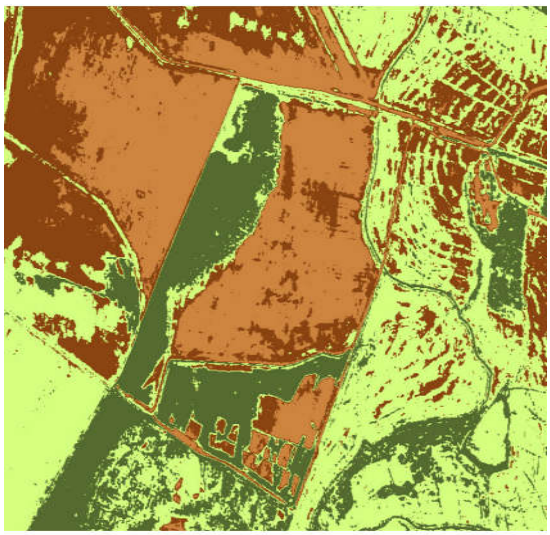
Figura 7 – Imagem processada para áreas de inundação.

Fonte: Vargas (2018).

Com a realização do processamento da imagem, é possível inferir detalhes presentes na área de estudo. Sendo assim, o *cluster* representado pela coloração azul representa água, demonstrando o Rio Uruguai ao norte e as regiões alagadas decorrentes da inundação. Os *pixels* com coloração verde representam elementos vegetativos e solo exposto. Por fim, os *pixels* agrupados com coloração amarela demonstram a estrutura urbana e nuvens.

O processamento realizado para a imagem na identificação de áreas agrícolas para manejo diferenciado pode ser observada na Figura 8.

Figura 8 – Imagem processada para áreas de cultivo.



Fonte: autor (2018).

A partir da análise da imagem é possível inferir as características contidas na área de estudo. As áreas representadas pela coloração verde escuro representam uma superfície composta por gramíneas e leguminosas, que é

uma vegetação frequentemente encontrada nos campos nativos do bioma pampa. Os *pixels* com coloração verde claro correspondem a resteva da cultura do arroz irrigado, em processo inicial de rebrote, sendo utilizado como pastagem para gado de corte ou apenas como cobertura de solo. O marrom claro representa áreas de soja após colheita (resteva), podendo assim delimitar as áreas e diferenciá-las em função da sua cobertura. Por último, o marrom escuro corresponde a locais onde ocorre acúmulo de água em regiões com depressões superficiais, utilizadas para o cultivo da soja.

4 CONCLUSÕES

Este trabalho mostra dois dos muitos casos onde o Sensoriamento Remoto apresenta grande aplicação no mapeamento da superfície terrestre, enfatizando a aplicação de uma ferramenta *online* e gratuita no processo de segmentação de imagens. Apesar de as imagens de satélite serem adquiridas das mais diversas formas, estas precisam passar por processamentos para que inferências acerca das informações contidas na região em questão possam ser adquiridas.

O Algoritmo ckMeansImage se mostrou eficiente para melhorar o aspecto visual das imagens, tornando possível a interpretação de informações de forma mais adequada, potencializando a aplicação do Sensoriamento Remoto para mapeamento da superfície, deste modo, na identificação de áreas alagadas possibilita um melhor estudo do local, tornando possível a aplicação de políticas publicas na prevenção de inundações, evitando transtornos econômicos para o município e para a população ribeirinha. Para a aplicação na identificação de áreas agrícolas para manejo diferenciado, a partir dos resultados obtidos é possível reduzir o custo operacional para a movimentação do solo e sistematização, permitindo ainda realizar um planejamento sobre como a área será utilizada.

Como trabalhos futuros, objetiva-se melhorar o funcionamento da ferramenta *online* no processo de segmentação de imagens de Sensoriamento Remoto, oferecendo a edição de cores dos *clusters* e a entrada de imagens em diferentes formatos.

REFERÊNCIAS

ABEBE, A. J.; GUINOT, V.; SOLOMATINE, D. P. **Fuzzy Alpha-Cut vs. Monte Carlo Techniques in Assessing Uncertainty In Model Parameters.** Iowa, USA, 2000.

ALBUQUERQUE, M. P. de; ALBUQUERQUE, M. P. de. **Processamento de Imagens: Métodos e Análises.** 2002.

BEZDEK, J. **Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms.** Norwell, MA, USA: Kluwer Academic Publishers, 1981.

BOAVENTURA, I. A. G. **Números Fuzzy em Processamento de Imagens Digitais e suas Aplicações na Detecção de Bordas.** Thesis (Phd) — Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil, 2010.

BOTELHO, G. M. **Processamento de Imagens no Auxílio à Detecção de Câncer de Pele Utilizando Redes Neurais Artificiais.** São Paulo, 2007.

CAMPBELL, J. B.; WYNNE, R. H. **Introduction to Remote Sensing.** Fifth Edition. The Guilford Press, 1944.

CEMIN, G. **Utilização do Sensoriamento Remoto para a Caracterização e Discriminação Espectral de Vinhedos em Diferentes Terroirs.** 2009. Dissertação. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul.

DA SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; DE AZEVEDO, P. V. **Determinação do Albedo de Áreas Irrigadas com Base em Imagens Landsat 5-TM.** Rev. Bras. Agrometeorologia, V. 13, N. 2, P. 11-21, 2005.

DONI, M. V. **Análise de Cluster: Métodos Hierárquicos e de Particionamento.** 2004. Monografia (Bacharel Em Sistemas De Informações), Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil.

MACQUEEN, J. **Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations.** In: Proceedings of The Fifth Berkeley Symposium on Mathematica L Statistics and Probability. Berkeley, CA: University of California Press, 1967. 281– 297.

NOVO, E. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** Blucher, 2010. ISBN 9788521205401.

TANSCHEIT, R. et al. (Ed.). **Enciclopédia de Automática: Controle e Automação. Modelagem e Controle Nebuloso.** Blucher, 2007. 283-324 P.

VARGAS, R. R. de et al. Identifying Pixels Classified Uncertainties ckMeansImage Algorithm. In: MEDINA, J. Et Al. (Ed.). **Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems. Applications.** Cham: Springer International Publishing, 2018. P. 429–440.

VILELA, M. A. M. A. **Metodologia para Monitoramento da Qualidade da Água de Reservatórios Utilizando Sensoriamento Remoto**. 2010. Dissertação. Universidade Federal De Uberlândia.

ZADEH, L. A. **Fuzzy Sets. Information and Control.** V. 8, N. 3, P. 338–353, 1965.

USO DA SEGMENTAÇÃO POR CRESCIMENTO DE REGIÕES NA CLASSIFICAÇÃO DE BHATTACHARYA DE IMAGEM LANDSAT 8 PARA MAPEAMENTO DE CANA DE AÇUCAR

GABRIELA DAYSE DA SILVA MONTEIRO 1
LUCILENE ANTUNES CORREIA MARQUÊS DE SÁ 2

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
gabrielladayse@gmail.com, lacms@ufpe.br

RESUMO – O trabalho tem como objetivo seguir uma metodologia de segmentação e classificação de imagem da área de cultura de cana de açúcar no município de São Miguel dos Campos – Alagoas, com a realização da segmentação em regiões da imagem obtida pelo sensor OLI (Operational Land Imager), a bordo do satélite Landsat-8 no dia 8 de outubro de 2016. Após pré-processamento da imagem no software SPRING 5.2.7, foi aplicado o algoritmo Bhattacharya de classificação supervisionada para definição as áreas de cultivo de cana de açúcar, vegetação e outros usos. Com os resultados obtidos empregou-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) para assim verificar o desempenho do classificador supervisionado aplicado apoiando ao NDVI com ajuda da validação por meio do índice de concordância Kappa e Exatidão Global. Os resultados de validação estatística adquirido com apenas o uso do classificador supervisionado apresentaram Kappa igual a 0,01 indicando uma qualidade ruim, já com a adição do NDVI o índice Kappa apresentado foi de 0,05, qualidade boa para o desempenho do classificador Bhattacharya.

ABSTRACT - The objective of this work is to follow a methodology of segmentation and image classification of the area of sugarcane culture in the municipality of São Miguel dos Campos - Alagoas, with the segmentation in regions of the image obtained by the OLI (Operational Land Imager), on board the Landsat-8 satellite on October 8, 2016. After preprocessing the image in SPRING 5.2.7 software, the Bhattacharya supervised classification algorithm was applied to define the sugarcane, vegetation and other uses. With the results obtained, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was used to verify the performance of the applied supervised classifier supporting the NDVI with the aid of the validation through the Kappa concordance index and Global Accuracy. The statistical validation results obtained with only the use of the supervised classifier presented Kappa equal to 0,01 indicating a poor quality, and with the addition of NDVI the presented Kappa index was 0,05, good quality for the performance of the classifier Bhattacharya.

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das culturas mais importantes para a economia brasileira. O aumento da demanda global de etanol de cana requer a conversão de áreas de culturas convencionais em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, tornando necessário conhecer o nível de expansão desse cultivo. O projeto CANASAT mapeia áreas de cana no Brasil, mais precisamente na região centro-sul do país, usando interpretação visual para gerar mapas de cultivo de cana-de-açúcar. O uso de classificadores automáticos é aplicado para melhoramento do monitoramento, buscando novas alternativas para o mapeamento da cana-de-açúcar.

A estimativa da produção de cana-de-açúcar é essencial no planejamento agrícola e na comercialização da produção gerada pelo setor. A ausência de monitoramento espacial do cultivo é uma das principais causas de erros no processo de estimativa de produção. Nesse sentido, o sensoriamento remoto desponta como uma das ferramentas mais viáveis para mapear a variabilidade e auxiliar no processo de estimativa de produção, possibilitando, por meio de processamento digital, gerar mapas que indiquem a variabilidade espacial da cultura. As imagens de sensoriamento remoto juntamente com os seu processamento apresentam potencial para mapear e estimar a área de culturas agrícolas. Contudo, seu uso operacional é restrito devido à baixa disponibilidade de imagens livres de nuvens.

No estado de Alagoas, como nos demais estados produtores de cana-de-açúcar, a cultura canavieira foi um dos principais fatores de formação e desenvolvimento regional. A marca da cultura canavieira estende-se além dos extensos canaviais que dominam o horizonte dos tabuleiros costeiros; ela também se estende no tempo. Esta afirmação confirma-se quando se analisa o cenário socioeconômico alagoano e nota-se que o setor canavieiro definiu e até hoje define os rumos da economia do estado.

Assim o estudo objetivou aplicar o classificador de Bhattacharya juntamente com a utilização do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI para o mapeamento de áreas de cana-de-açúcar na cidade de São Miguel dos Campos-AL. Levando em consideração os trabalhos realizados pelo projeto CANASAT para o estado de São Paulo onde são aplicados procedimentos semelhantes para geração de mapas e analise dos cultivos de cana de açúcar.

1.1 Mapeamento do cultivo de cana de açúcar

O Brasil é um dos líderes mundiais na produção e exportação de vários produtos agropecuários, sendo o maior produtor de cana-de-açúcar e maior exportador de açúcar e álcool do mundo (Aguiar et al., 2007). O Estado de São Paulo é o principal produtor nacional, sendo que na safra de 2011/2012 foi mapeada uma área de 5 milhões e 400 mil hectares de cana (INPE/Canasat, 2012).

A cultura da cana-de-açúcar possui características favoráveis para sua identificação nas imagens de satélites por ser uma cultura plantada em grandes áreas e semi perene porque, depois de plantada e colhida pela primeira vez, pode ser submetida a sucessivos ciclos de crescimento e colheitas, sem ter que ser novamente plantada. As épocas mais indicadas para o plantio da cana-de-açúcar estão associadas à ocorrência de temperaturas elevadas e à disponibilidade de água no solo em quantidade suficiente para garantir bom resultados.

Entretanto, a maioria dos canaviais é tradicionalmente plantada em duas épocas bem definidas: durante a época chuvosa (inverno no nordeste) e na época com menor ocorrência de chuvas (final da primavera em ambas principais regiões canavieiras do Brasil).

Levando em consideração a rápida expansão e as características favoráveis da cultura da cana-de-açúcar para o monitoramento por meio de imagens de satélite, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) vem realizando, desde 2003, o Projeto CANASAT para mapear anualmente as áreas cultivadas de cana na região Centro-sul do Brasil utilizando imagens do satélite Landsat (Rudorff et al., 2010).

O Projeto CANASAT é uma parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a União das Indústrias de Cana-de-açúcar (UNICA) no qual é realizado o mapeamento e o monitoramento da cultura da cana no Centro-Sul do Brasil. Este monitoramento consiste principalmente na verificação de áreas de expansão da cana e áreas que entram em reforma, ou seja, que não serão colhidas naquele ano-safra. Assim, trata-se de um trabalho periódico de obtenção de imagens livres de nuvens e de análises da cultura.

1.2 Classificação supervisionada

Classificação é o processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos e são utilizados em sensoriamento remoto para mapear áreas da superfície terrestre que correspondem aos temas de interesse. A classificação subdivide-se em supervisionada e não-supervisionada, dependendo do algoritmo que será aplicado. Ambos os casos demandam duas fases: a do treinamento e a da classificação.

Dentro desses dois métodos existem peculiaridades de agregação da informação espectral que podem ser pixel-a-pixel ou por regiões.

Pixel-a-pixel: a técnica de classificação por pixel utiliza a informação espectral de cada pixel isolado para encontrar regiões homogêneas, traçando assim uma probabilidade de um determinado pixel analisado pertencer ou não a uma determinada classe.

Regiões: nessa peculiaridade leva-se em consideração a variabilidade espacial e a textura natural. Ao invés de considerar as características espectrais de um determinado pixel no processo de decisão, um agrupamento de pixels é selecionado e usado como unidade de classificação. Estes classificadores procuram simular o comportamento de um fotointérprete, ao reconhecer áreas homogêneas nos dados orbitais, baseados nas propriedades espectrais e espaciais dessas áreas na imagem. A informação de borda é utilizada inicialmente para separar regiões; e as propriedades espaciais e espectrais agrupam áreas com mesma textura. (KURY & VIEIRA, 2001). Usualmente está técnica é empregada após o procedimento de segmentação.

1.3 Segmentação e classificação por região

O processo de segmentação de imagens tem por objetivo fragmentar uma região, em unidades homogêneas, considerando algumas de suas características intrínsecas como, por exemplo, o nível de cinza dos pixels, textura e contraste.

O algoritmo de segmentação por crescimento de regiões disponível no SPRING depende da definição das duas variáveis, grau de similaridade e tamanho mínimo para o estabelecimento de uma região.

1.4 Bhattacharya

O Bhattacharya é um classificador supervisionado por regiões, que utiliza a distância Bhattacharya para medir a separabilidade estatística entre cada par de classes espectrais. A separabilidade é calculada através da distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais (Leão et al., 2007). Conceitualmente, a formulação matemática para o algoritmo de Distância de Bhattacharyya é dada pela Equação 1:

$$B(P_i, P_j) = \frac{1}{2}(m_1 - m_2)^T \sum(m_i - m_j) + \frac{1}{2} \ln \frac{|\sum(m_i - m_j)|}{|\sum i|^{\frac{1}{2}} |\sum j|^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

Onde:
B = A distância de Bhattacharya
P_i e P_j = São pixels nas classes i e j
m_i e m_j = São as médias das classes i e j
T = Matriz transposta
ln = Logaritmo neperiano
i e j = São classes dentro do contexto (MOREIRA et al., 2009).

O classificador de Bhattacharya requer a seleção de áreas de treinamento, podendo utilizar as regiões obtidas pela segmentação ou polígonos representativos das regiões a serem classificadas.

1.5 Índice de vegetação - NDVI

O NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ou IVDN (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) proposto por Rouse et al. (1973) é um índice utilizado principalmente em pesquisas de cunho ambiental, pois permite fazer análises sobre a cobertura vegetal de determinada região em diversas escalas. Em se tratando de pesquisas utilizando imagens de satélite, o NDVI é um índice muito utilizado, pois, reduz o efeito topográfico e apresenta uma escala de medida linear entre -1 e 1.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é obtido pela razão entre a diferença da reflectância do infravermelho próximo (NIR) e a reflectância do vermelho (R), dividida, respectivamente, pela soma das mesmas, destaca Allen et al. (2002). Para o cálculo do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, Rouse (1973) propôs a expressão (2):

$$\text{NDVI} = \frac{\rho 4 - \rho 3}{\rho 4 + \rho 3} \quad (2)$$

Onde:
ρ4= Banda do Infravermelho próximo
ρ3 = Banda do Vermelho

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é um indicador da proporção e da condição da vegetação verde. Geralmente para superfícies com presença de alguma vegetação o valor do NDVI é positivo, para superfícies sem vegetação o valor é nulo, já para a água e nuvens o valor geralmente é negativo. Quanto mais próximo do extremo positivo, maior a densidade da cobertura vegetal, ou seja, condiz com seu estágio denso e desenvolvido. Esse valor diminui gradativamente para cobertura vegetal menos densa, que apresenta valores positivos, porém não muito elevados.

1.6 Validações do desempenho dos classificadores

Para validar o desempenho dos classificadores empregados em diferentes métodos de tratamento digital de imagens será utilizado o índice de concordância Kappa (Equação 3) e Exatidão Global (Equação 4) extraídos da matriz de confusão obtida no SPRING. A partir de 39 pontos amostrais (pixels) como referência.

$$\widehat{K} = \frac{N\sum_{i=1}^{k} X_{ii} - \sum_{i=1}^{k}(X_{i+}.X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^{k}(X_{i+}.X_{+i})} \quad (3)$$

$$\text{Exatidão}_{\text{global}} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{k} X_{ii}}{N}\right) \quad (4)$$

Onde:
$\widehat{K}$= Valor estimado Kappa
k= Número de linhas
X_{ii}= Número de observações na linha i e coluna i
$\sum_{i=1}^{k} X_{ii}$ = Soma dos elementos da matriz em sua diagonal principal
X_{i+} = Soma total das observações para as linhas
X_{+i} =Soma total das observações para as colunas
N = Número de observações total.

Para auxiliar a análise da avaliação da classificação, o valor do índice Kappa foi comparado aos limiares estabelecidos por Landis e Koch (1977), conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa.

Índice Kappa	Concordância
0,00	Péssima
0,01 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito Boa
0,81 a 1,00	Excelente

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

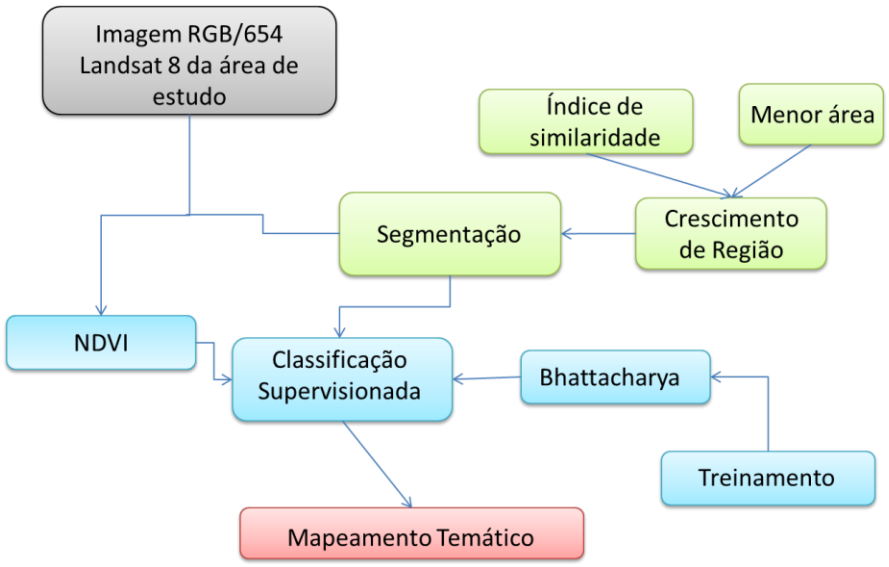
Os procedimentos metodológicos constituíram-se na aplicação de diferentes rotinas de tratamento digital de imagem, conforme descritas em Novo (2008) e Jensen (2009), que podem ser sintetizadas nas etapas: a) Pré-processamento, b) Realce e, c) Classificação. O software de geoprocessamento utilizado neste trabalho foi o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING 5.2.7), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A imagem foi submetida ao tratamento de NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), o qual originou os Planos de Informações (PI's), com as seguintes características: 1) imagem com aplicação de NDVI e 2) imagem original. Em seguida, aplicaram-se para todos os PI as classificações supervisionadas e por regiões. Executou-se a detecção dos índices de vegetação da área mapeada empregando-se o NDVI em LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico).

Após os devidos tratamentos aplicados na imagem composta (R6G5B4) das bandas 4 (vermelho), 5 (infravermelho próximo) e 6 (infravermelho médio), foi aplicada a classificação supervisionada por crescimento de regiões, cujos limiares de similaridade e área (pixels) definidos pelo método exploratório de segmentação foram, respectivamente, 05 e 10, implementados no algoritmo Bhattacharya por meio de treinamento na imagem.

O esquema exposto na Figura 1 ilustra a metodologia utilizada desde a aquisição das imagens até a classificação final, onde foram gerados os mapas temáticos.

Figura 1 – Fluxograma da metodologia utilizada para geração de mapa temático.

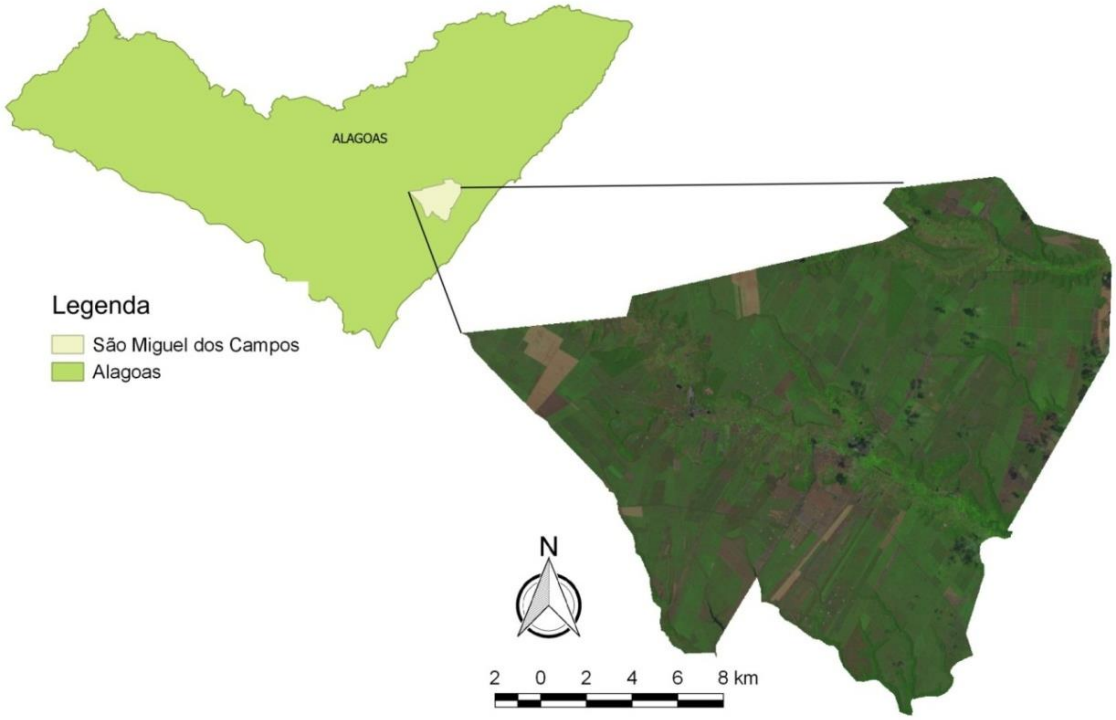


Fonte: Autoras (2018)

2.1 Área de estudo

A área de estudo é o município de São Miguel dos Campos, localizado na zona da mata alagoana, no Estado de Alagoas. O município conta, segundo o censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010), com uma população de, aproximadamente, 61.204 habitantes, ocupando uma área de 360,882 km².

Figura 2 – Imagem dia 8 de outubro de 2016 obtida pelo sensor OLI/Landsat 8 da área de estudo.



Fonte: Autoras (2018)

Trata-se de uma área cujo cultivo predominante é o de cana de açúcar, com aproximadamente 29.000 ha de área plantada o que indica um percentual de área de cana de açúcar 80,37% (IPEA, 2010). A cidade tem garantido o escoamento da produção de açúcar e álcool, produzido pelas Usinas, Destilarias instaladas na cidade.

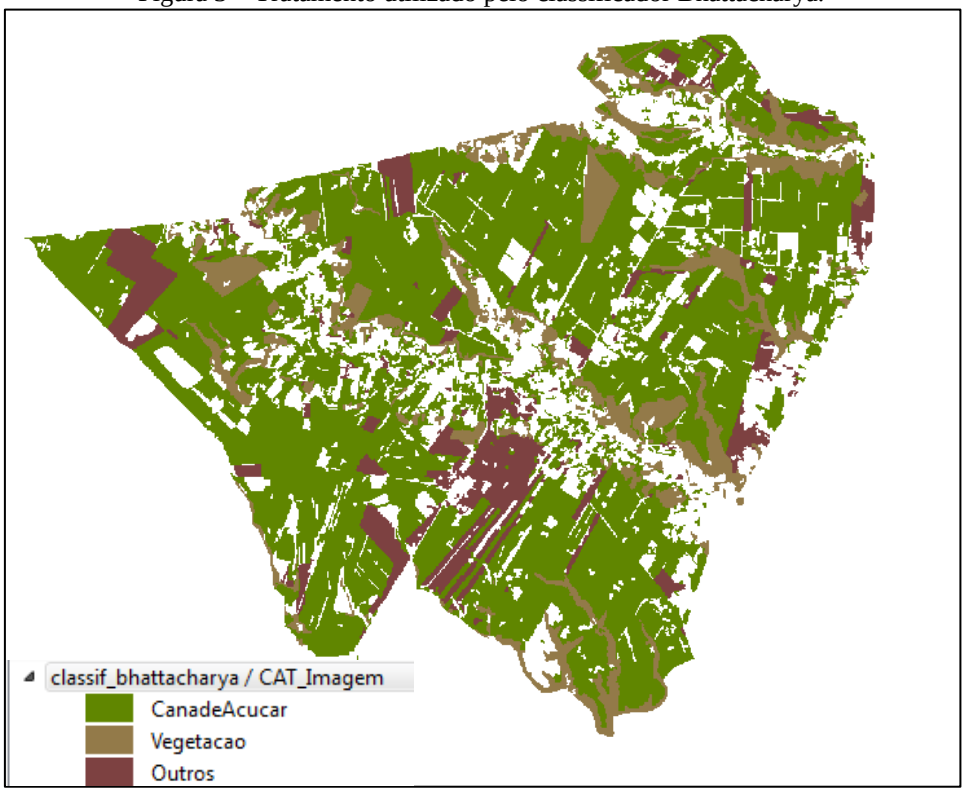
A execução deste trabalho utilizou imagem oriunda do sensor Operational Land Imager (OLI) a bordo do satélite Landsat 8. A imagem corresponde a órbita/ponto 214/67, adquirida no dia 8 de outubro de 2016, o formato de disponibilização é GeoTiff, em 16 bits sem sinal, com projeção cartográfica UTM em Datum WGS 84, e ortorretificadas com um erro circular de 20 metros (no intervalo de confiança de 90%). Utilizou-se também o vetor do limite municipal, em escala de 1:250.000 (IBGE, 2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As classes mapeadas no presente estudo foram as de Cana de Açúcar (CA); Vegetação (V) e Outros Usos (OU). No treinamento foram adquiridos 273.903 pixels para as classes CA, mais de 268.932 para V e mais de 1345 pixels para OU, onde foram pré-estabelecidas visualmente.

As classes CA, V e OU obtidas através da classificação Bhattacharya com grau de similaridade de 5 e tamanho mínimo de 10 para o estabelecimento de uma região, limiar de aceitação de 95% estão apresentada na Figuras 3.

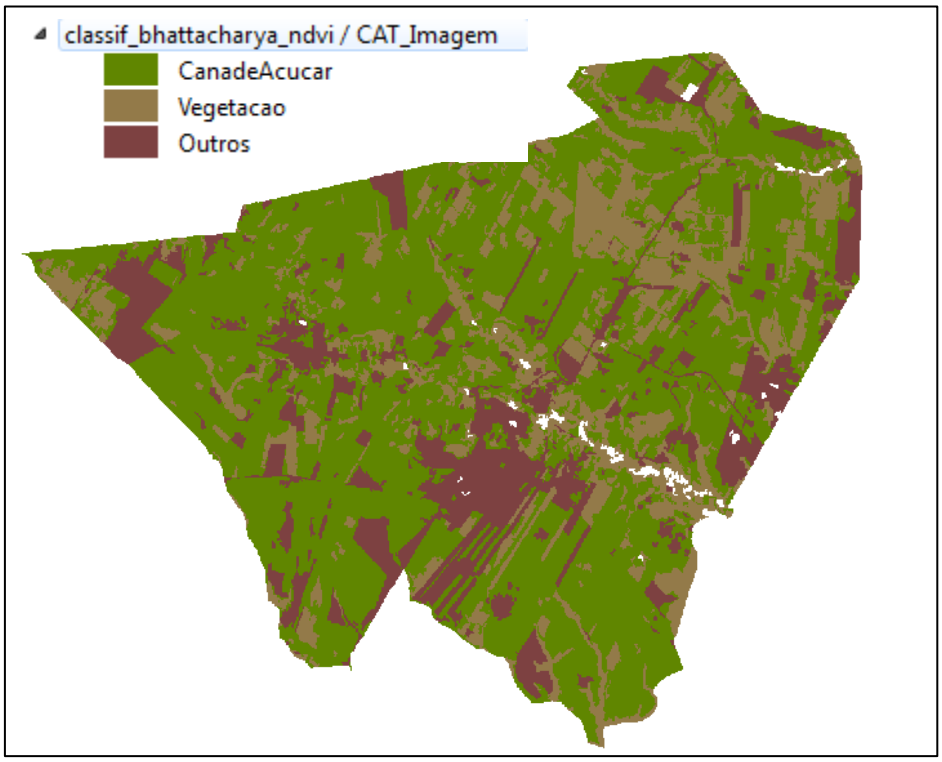
Figura 3 – Tratamento utilizado pelo classificador Bhattacharya.



Fonte: Autoras (2018)

As classes CA, V e OU obtidas através da classificação Bhattacharya após aplicação do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada com grau de similaridade de 10 e tamanho mínimo de 15 para o estabelecimento de uma região, limiar de aceitação de 95% estão apresentada na Figura 4.

Figura 4 – Tratamento utilizado pelo classificador Bhattacharya após aplicação do NDVI.



Fonte: Autoras (2018)

Os resultados da validação estatística Kappa e Exatidão Global para os classificadores Bhattacharya e Bhattacharya+NDVI estão apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Matriz de confusão do classificador Bhattacharya e valores dos índices Kappa.

	CA	**V**	**OU**	**Abstenção**	**Soma lin.**	
CA	240405	0	0	0	240405	
	50.06%	0.00%	0.00%	0.00%		
V	236710	1739	0	0	238449	$\hat{K}$=0,0156
	49.29%	0.36%	0.00%	0.00%		
OU	0	0	1345	0	1345	
	0.00%	0.00%	0.28%	0.00%		
Soma col.	477115	1739	1345	0	480199	

Tabela 3 – Matriz de confusão do classificador Bhattacharya+NDVI e valor do índice Kappa.

	CA	**V**	**OU**	**Abstenção**	**Soma lin.**	
CA	273903	0	0	0	273903	
	50.33%	0.00%	0.00%	0.00%		
V	135104	133828	0	0	268932	$\hat{K}$= 0,5036
	24.83%	24.59%	0.00%	0.00%		
OU	0	0	1345	0	1345	
	0.00%	0.00%	0.25%	0.00%		
Soma col.	409007	133828	1345	0	544180	

Após resultados apresentados é perceptível notar que as áreas de cana-de-açúcar que apresentam máximo vigor foram classificadas corretamente, mas já nas regiões com cultivo no início do ciclo vegetativo, ou após a colheita

geraram erros de omissão e inclusão, o que mostra a necessidade de análise multitemporal para o mapeamento da cana-de-açúcar. No entanto, a classificação baseada na interpretação visual ainda mostra a maneira mais apropriada nesse mapeamento, principalmente em áreas de conhecimento dos pesquisadores.

4 CONCLUSÃO

Os resultados indicaram que a classificação de Bhattacharya demonstrou melhores resultados quando submetido ao NDVI, diferentemente quando comparada à classificação supervisionada apenas por Battacharya na detecção de área de cana de açúcar. A imagem classificada a partir da aplicação do NDVI apresentou-se como um método estatisticamente eficaz aos demais visto que comparando os dois métodos utilizados a avaliação dos resultados com o índice Kappa resultou em 0,50, considerado bom, enquanto o uso apenas do classificador Bhattacharya indicou um resultado de índice Kappa ruim com 0,01. Vale salientar que poucos trabalhos foram realizados na área de estudo em questão e que trabalhos semelhantes encontrados utilizavam como base os dados do projeto CANASAT para o estado de São Paulo, tal projeto prioriza o monitoramento do cultivo de cana-de-açúcar apenas na região centro-sul do Brasil.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, D.A.; SILVA, W. F.; FEITOSA, F. F.; GONÇALVES, F. G.; RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T. **Análise espacial da colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: a influência da precipitação**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos, INPE, 2007. p. 2231-2238.

ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) – Advanced Training and Users Manual** – Idaho Implementation, version 1.0, 2002.

BRASIL. **Censo IBGE 2010**. 2010. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 30 outubro 2017.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Mapeamento da Cana via imagens de satélite de observação da Terra (CANASAT).** Disponível em:< http://dsr.inpe.br/canasat/>. Acesso em: 17/10/2017.

IPEA 2010. Brasil em desenvolvimento 2010: Estado, planejamento e políticas públicas. In: IPEA 2010. **Brasil em desenvolvimento 2010: Estado, planejamento e políticas públicas**. Brasília: Ipea, 2010. p. 01-202.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2ed. por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphanio (coordenador); Antonio R. Formaggio; Athos R. Santos; Bernardo F. T. Rudorff; Cláudia M. Almeida; Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese. 2009. 672p.

KURY, E. B. & VIEIRA, C. A. O. (2001) **Classificação automática de imagens de alta resolução**. In UFVGEO. Acessado em 08 outubro 2017.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. **The measurement of observer agreement for categorical data**. Biometrics, Arlington, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

MOREIRA, A. de A.; SOARES, V. P.; GLERIANI, J. M.; RIBEIRO, C. A. A. S. **Utilização de algoritmos de classificação para o mapeamento do uso e cobertura do solo da terra na bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa-MG, a partir de uma imagem do sensor IKONOS II**. XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Viçosa. Eixo 1. 2009.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher, 363p. 2008.

ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL, J.A. and DEERING, D.W., 1973, **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. In 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I, pp. 309–317.

RUDORFF, B.F.T.; AGUIAR, D.A.; SILVA, W.F.; SUGAWARA, L.M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M.A. **Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat data.** Remote Sensing.,v. 2, p.1057–1076, 2010.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

UTILIZAÇÃO DE DRONE COMO SUPORTE À ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES RODOVIÁRIOS

CAMILLA MARIA TORRES PINTO
MARIO SÉRGIO DE SOUZA ALMEIDA
JOANITO DE ANDRADE OLIVEIRA

Escola de Engenharia de Agrimensura - EEA
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
c.camillamaria@gmail.com, mario.almeida@ufrb.edu.br, joanito@ufrb.edu.br

RESUMO – A topografia, dita convencional, é uma das principais ferramentas envolvidas no desenvolvimento de projetos de engenharia rodoviária, tanto na fase de projeto propriamente dito, como na execução de obras e monitoramento de estruturas diversas. Para o monitoramento de taludes rodoviários, a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) surge como uma nova ferramenta ágil, de grande produtividade, capaz de visualizar locais anteriormente de difícil acesso, fornecendo informações de grande relevância, através de fotografias e/ou vídeos. Tais imagens são determinantes para um diagnóstico adequado de estruturas de terra, como taludes rodoviários, por exemplo, facilitando a gestão de risco de ruptura, ou mesmo identificando possíveis causas de sinistros, a fim de prevenir novas ocorrências. Neste trabalho, utilizou-se dados aerofotogramétricos, a partir de levantamento com uma VANT do tipo multirrotor, para analisar as condições de ruptura de um talude localizado na BR-101/BA. A utilização de modelos digitais e ortomosaico, gerados pelo processamento dos dados aerofotogramétricos, possibilitaram a identificação de fatores catalisadores da ruptura. Além disso, pôde-se notar o potencial do equipamento como ferramenta na gestão rodoviária e de áreas degradadas.

ABSTRACT – The so-called conventional topography is one of the main types of tools that are being developed with regard to the engineering of the folding engineering, the design phase itself, such as the execution of works and the monitoring of various structures. For the monitoring of road slopes, a use of Unmanned Aerial Vehicles appears as a new management tool, with great capacity, with local storage capacity, access to information of great relevance, through photographs and / or videos. . Such images are determinant for an adequate diagnosis of earth structures, such as road slopes, for example, facilitating the management of risk of rupture, and even identifying the causes of accidents, in order to prevent new occurrences. In this work, aerophotogrammetric data were used, from a multi-rotor type UAV survey, for the rupture analyzes of a given location in BR-101 / BA. The use of digital and orthorhombic models, generated by aerophotogrammetric data processing, allowed the identification of catalysts of the rupture. In addition, it is noted the potential of performing road management tasks and degraded areas.

1 INTRODUÇÃO

A frequência de ocorrência de desastres envolvendo obras de terra, com destaque para barragens, diques e taludes rodoviários, vem aumentando em todo o mundo. Recentemente, o continente asiático sofreu com deslizamentos de terra provocados pelas intensas precipitações, causadas pelas monções. Em maio de 2016, um deslizamento de terra soterrou obras de ampliação da usina hidrelétrica de Chitan, na China, deixando pelo menos oito operários sem vida. No Brasil, episódios nas cidades de Salvador e Rio de Janeiro, as quais apresentam relevo acidentado e ação antrópica inadequada em zonas de encostas, são corriqueiros nos respectivos períodos chuvosos, causando impactos negativos nos âmbitos sociais, econômicos e ambientais (PINTO e ALMEIDA, 2017).

Segundo Gerscovich (2012), os estudos de estabilidade também se aplicam à análise de taludes já rompidos, pois fornecem informações relevantes sobre os parâmetros de resistência dos materiais envolvidos e auxiliam no estabelecimento de medidas corretivas, bem como o estabelecimento de protocolos para evitar novas ocorrências.

Destaca-se que para a execução da análise de estabilidade de taludes e encostas, os dados principais são os ensaios laboratoriais do solo que compõe o maciço e o levantamento geométrico do mesmo. Entretanto, muitas vezes as rupturas

de taludes estão associadas a causas diversas, as quais contemplam além das questões Geotécnicas envolvidas, o colapso de sistemas de drenagem, em consequências de falhas de manutenção do maciço.

Segundo Munaretto (2017), RPA é a nomenclatura original, utilizada pela ICAO (*International Civil Aviation Organization*) e adotada no Brasil pela ANAC E DECEA, na forma traduzida ARP (Aeronave Remotamente Pilotada), para designar VANTs/drones.

O Sistema Aéreo Não Tripulado (UAS) é composto por uma estação de controle portável para operação humana, podendo ser equipado com vários sensores, tais como, câmeras, infravermelho, radar, GPS ou outros dispositivos de comunicação especializado. Dentre os benefícios do uso do VANTs tem-se a capacidade de transferir dados em tempo real entre o VANT e a estação de controle, além de realizar voos mais rápidos, seguros e com um baixo custo quanto comparado a aeronaves tripuladas (MELO e COSTA, 2015).

Com o propósito de facilitar a avalição das condições físicas de estruturas de engenharia, as Aeronaves Remotamente Pilotadas surgem como uma ferramenta de grande capacidade de resposta. A facilidade de acessar locais como penhascos, encostas e topos de prédios, otimiza o trabalho humano, além de gerar material de qualidade, como fotografias e vídeos de alta resolução. Para a gestão rodoviária, e os diversos serviços de infraestrutura, como obras de terra, o equipamento pode atuar tanto no monitoramento de áreas de risco de deslizamentos, como também auxiliar na análise Geotécnica em geral.

De acordo com Silva *et al.* (2015), Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) foram desenvolvidos inicialmente para aplicações militares estendendo-se, atualmente, para diversas aplicações civis, com destaque para o mapeamento e monitoramento ambiental de grandes áreas. Essa aptidão se justifica em função de sua grande capacidade de percorrer uma distância considerável com segurança, tempo reduzido e menor custo se comparado ao uso de um helicóptero, por exemplo, ou a aquisição de imagens de satélite. Além disso, como outra vantagem desse tipo de equipamento, vale destacar a possibilidade de obtenção de imagens de qualidade em dias nublados.

Nesse contexto, o presente estudo visa realizar o levantamento planialtimétrico e a recomposição de um talude rodoviário localizado às margens da BR-101/BA, a partir da aerofotogrametria, a fim de obter seus parâmetros geométricos, comparar a geometria com levantamentos topográficos tradicionais e utilizar os arquivos gerados para análise do rompimento do talude.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Área de estudo

Para o presente estudo utilizou-se um talude de corte localizado às margens da BR-101/BA, Km 199, próximo à cidade de Cachoeira-BA. Esse talude passou por um processo de ruptura na década de 1990, onde uma expressiva massa de solo se deslocou e permanece nas mesmas condições, acomodado, obstruindo parte do acostamento da rodovia, conforme ilustrado através da Figura 1.

Figura 1 – Localização geográfica do talude.

Foram realizadas visitas ao local para reconhecimento da área, análise tátil-visual do solo que compõe o talude e planejamento das atividades. Foi realizado levantamento aerofotogramétrico, processamento das imagens e análise Geotécnica, a partir do material gerado.

2.2 Levantamento aerofotogramétrico

A coleta de informações a respeito do rompimento do talude ocorreu através de levantamento fotogramétrico com o VANT multirrotor, popularmente chamado de drone, Phantom 4 – PRO, da desenvolvedora DJI. A partir de visita preliminar ao local de estudo, escolheu-se o software *Map Pilot* como mais adequado ao planejamento de voo e, dessa forma, elaborou-se o plano de trabalho em campo.

O planejamento consistiu, neste mesmo software, em determinar o ponto inicial do levantamento, a altura de voo e as sobreposições longitudinal e lateral das fotos. Ao iniciar o processo com as devidas configurações, o drone operou de forma autônoma.

São apresentados na Tabela 1 os parâmetros adotados e as especificações dos equipamentos utilizados, enquanto a Figura 2 resume a interface da configuração adotada para o voo.

Tabela 1. Equipamentos e parâmetros do voo.

Modelo do VANT		DJI PHANTOM 4 - PRO
Altura de vôo		80 m
Câmera		DJI FC6310
Ground Sample Distance (GSD)		2,76 cm/pixel
Sobreposição	Longitudinal	70 %
	Lateral	70 %
Software para processamento dos dados		Map Pilot PhotoScan 1.2.5 ArcMap 10.4 ArcScene

Figura 2 – Planejamento de voo no *Map Pilot*.

O equipamento apresenta um sistema referencial próprio, ou seja, seu sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*), fornece, aliado às fotografias, suas informações posicionais, tais como: coordenadas planimétricas e altura de voo, obtendo, portanto, informações georreferenciadas.

2.3 Processamento fotogramétrico

Finalizado o levantamento em campo e obtidas as imagens, os dados físicos necessários foram extraídos para obtenção das informações relevantes.

O processo manual para obtenção dos dados na digitalização das fotos foi executado, inicialmente, a partir do *software* PhotoScan, através do qual pôde-se filtrar as fotos de acordo com a qualidade desejada. O processamento iniciou-se com o alinhamento das imagens, processo conhecido como fototriangulação. A partir da organização das fotografias, obteve-se a ortoimagem do talude.

Ainda sobre o alinhamento das fotografias, o processamento gerou os chamados *Tie Points* (Pontos de ligação), os quais são pontos espalhados de forma organizada, dando forma a um modelo digital, representando a superfície fotografada, ou seja, uma nuvem de pontos. A partir da criação dos *Tie Points*, gerou-se a nuvem de pontos densa e os modelos digitais.

Apesar do PhotoScan gerar as curvas de nível, foi escolhido o ArcMap para essa finalidade. A definição das curvas, no entanto, foi realizada a partir da exportação do MDE, observado na Figura 3, e do Ortomosaico, ilustrado na Figura 5. Elaborou-se, por fim, a análise, inspeção, edição e tratamento das curvas.

Figura 3 – Ortomosaico gerado no PhotoScan.

Na sequência foi delimitada uma área próxima à cunha de ruptura mostrada na Figura 1, com o objetivo de remover fatores de interferência, de forma a monitorar somente a região de interesse. A esta máscara foi atribuído um valor altimétrico, da cota inicial de 70 m, ou seja, um plano delimitador inferior. As curvas de nível foram geradas com intervalo altimétrico de 1,0 metro.

De início foram geradas as curvas correspondentes ao terreno atual e, posteriormente, as curvas que descrevem o terreno antes da ruptura, ou seja, realizou-se o ajuste para gerar um novo perfil de superfície estimando-se onde as curvas de nível encontravam-se antes do escorregamento da massa do talude. Esta edição foi possível levando-se em consideração a formatação vizinha, na qual é possível observar um perfil constante no desenho das linhas que compõem as curvas de nível, sofrendo modificação em seu contorno nas proximidades do local de ruptura.

Para melhor visualização foi utilizado o *ArcScene*, no qual foi gerado um modelo estereoscópico com o MDE e a ortoimagem.

Criou-se novos modelos de elevação para cada modelo de curva de nível, sendo estes a representação de uma rede triangular irregular (TIN).

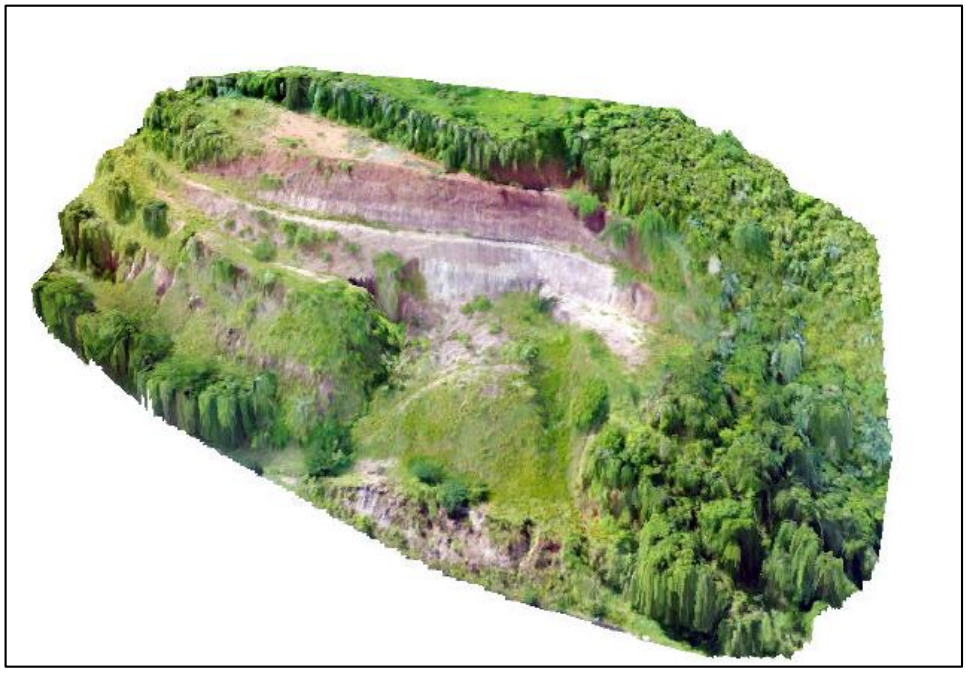
Figura 4 – Curvas de nível do modelo atual (esquerda) e inicial (direita).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento realizado apresentou um GSD de 2,76cm/pixel. Isto significa que os objetos a partir desse tamanho podem ser visualizados nas imagens geradas, o que indica a qualidade dos produtos utilizados nas análises de ruptura do talude.

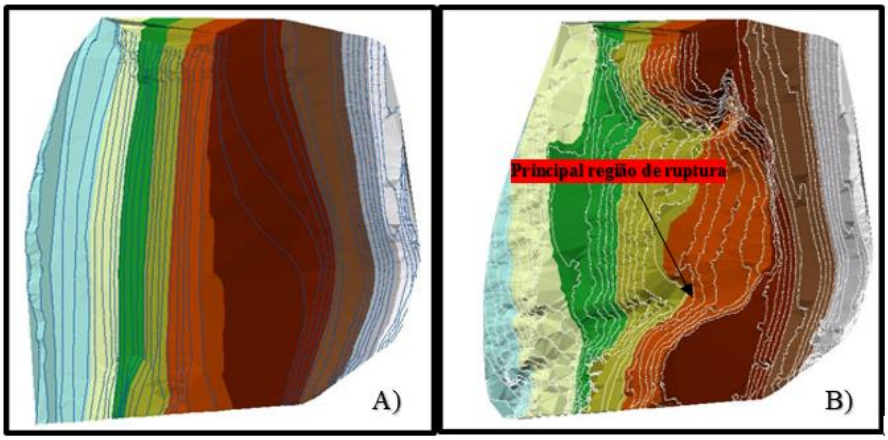
Na Figura 5, percebe-se a fidelidade à geometria real e o nível de detalhamento gerado como produto final, superiores aos levantamentos topográficos tradicionais. A imagem permite analisar os principais fatores condicionantes ao deslizamento de terra, como o perfil do solo, cobertura vegetal do talude e os diferentes processos erosivos.

Figura 5 – Modelo 3D do talude.



Na Figura 6 (A) e (B) são apresentados os modelos digitais do terreno pré-ruptura e pós-ruptura, respectivamente.

Figura 6. Modelos digitais pré-ruptura (A) e pós-ruptura (B).



Da Figura 6 é possível observar diferenças entre as duas imagens, evidenciando a principal região de ruptura e movimentação de terra do talude. Vale destacar a ocorrência de processos erosivos na área de ruptura.

Outro benefício gerado é a possibilidade de recomposição da geometria do talude original através das imagens, para serem utilizadas em análises Geotécnicas diversas, com a possibilidade de efetuar o cálculo estimativo do volume de massa de solo deslocado no processo de ruptura

Observou-se, ainda, a partir das imagens do aerolevantamento, processos erosivos e obstrução de dispositivos de drenagem, gerando um acúmulo de sedimentos indesejado, fator que pode ter desencadeado a ruptura antiga e que pode contribuir para novos deslizamentos de terra. Tal resultado corrobora com a conclusão de Pinto e Almeida (2017) que, ao analisar as condições Geotécnicas do talude, constatou que não foi, à priori, um problema de dimensionamento, mas, sobretudo, um problema de manutenção no sistema de drenagem do maciço, aliado a precipitação intensa à época.

Outras patologias foram também identificadas, como fissuras em algumas partes do talude, observadas nas imagens geradas, conforme pode ser visualizado na Figura 7.

Figura 7. Novas áreas de risco.

5 CONCLUSÕES

O levantamento realizado confimou as conclusões ibtidas por Pinto e Almeida (2017) com relação às prováveis causas da ruptura do talude ocorrida na década de 1990.

A atual presença de fissuras e obstrução de canais de drenagem no talude indicam grave risco de ocorrência de novas deslizamentos no local. Associada as estas patologiasidentificadas, a pouca cobertura vegetal na área, principalmente nos locais de ruptura, aumentará o risco de ruptura em épocas de chuvas.

O aerolevantamento realizado com VANT demonstrou, a partir da qualidade dos produtos gerados, ser uma ferramenta de grande potencial para o monitoramento de obras de terra, áreas degradadas e processos erosivos.

Destaca-se ainda a verificação de locais com potencial de futuras rupturas, o que indica a utilização do drone na prevenção de situações de risco, auxiliando nas questões de segurança com um custo relativamente baixo. Percebe-se a otimização da gestão rodoviária com sua utilização.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Topografia e Geodésia da UFRB e ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

REFERÊNCIAS

GERSCOVICH, Denise. **Estabilidade de Taludes.** Oficina de Textos. São Paulo, 2012.

MELO, R. R. S; COSTA, D. B; **Uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para Inspeção de Logística em Canteiros de Obra**. In: IX Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção e VI Encontro Latino Americano de Gestão e Economia da Construção, 2015, São Carlos, SP, Brasil.

MUNARETTO, Luiz. **VANT e DRONES**. Luiz Munaretto. São José dos Campos, 2017.

PINTO, C. M. T.; ALMEIDA, M. S. S. **Análise das Condições de Ruptura de um Talude Rodoviário: Estudo de Caso na BR-101/BA.** In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 2017, Florianópolis. Revista Eletrônica do COBRAE 2017, 2017.

SILVA, J. F; ASSIS, H. Y. E. G; BRITO, A. V.; ALMEIDA, N. V. **VANT como ferramenta auxiliar na análise da cobertura e uso da terra**. In: X Congresso Brasileiro de Agroinformática, 2015, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

UTILIZAÇÃO DE RPA EM AEROLEVANTAMENTOS - LEGISLAÇÃO E PROCEDIMENTOS

DANIELLE MARQUES CAZUMBÁ[1]
REGINA COELI BRITO[2]
MIRELE VIEGAS DA SILVA[3]

Universidade Federal da Bahia - UFBA
[1]Bolsista de Iniciação Científica – PIBIC – CNPq e Graduanda de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da UFBA
[2]Graduanda de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da UFBA
[3]Docente do Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia, Salvador, BA e chefe do Serviço de Cartografia do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA/BA
daniellecazumba25@gmail.com, regicbrito@yahoo.com.br, mirelevgs@gmail.com

RESUMO - Com a presença cada vez mais crescente de aeronaves remotamente pilotadas no espaço aéreo brasileiro, torna-se necessário estar atento às regulamentações de uso, procedimentos de segurança de voo e autorizações para a realização dos mais diversos serviços. Sendo assim faz-se necessário seguir procedimentos técnicos além de atender a legislação vigente, junto às agências reguladoras brasileiras ANATEL, ANAC e DECEA, e o Ministério da Defesa. Este trabalho descreve o panorama da legislação nacional sobra a utilização de RPA em aerolevantamentos com fins de mapeamento e apresenta uma sugestão de sequência de procedimentos para a execução de um aerolevantamento aerofotogramétrico utilizando uma aeronave remotamente pilotada.

ABSTRACT - With the increasing presence of remotely piloted aircraft in Brazilian airspace, it is necessary to be aware of the regulations of use, flight safety procedures and authorizations to carry out the most varied services. Therefore, it is necessary to follow technical procedures in addition to complying with current legislation, with the Brazilian regulatory agencies ANATEL, ANAC and DECEA, and the Ministry of Defense. This paper describes the panorama of national legislation on the use of RPA in aerial surveys for mapping purposes and presents a suggestion of sequence of procedures for the execution of a aerodrome aerial survey using a remotely piloted aircraft.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o voo de aeronaves não tripuladas vem se difundindo no mundo inteiro. Por se tratar de uma tecnologia popularizada recentemente, geram dúvidas e curiosidades sobre o assunto, por isso diversas organizações internacionais estão estudando e trabalhando a fim de compreender, definir e promover sua total integração no espaço aéreo.

Drone é o termo popularmente conhecido pelo mundo inteiro para designar aeronaves não tripuladas, mas conduzidas à distância. Palavra de origem inglesa, "drone" significa "zangão" ou "zumbido", emana um som parecido com um suave zumbido e são entendidos como aeronaves não tripuladas com propósito comercial, recreativo, militar, etc. Tecnicamente as aeronaves não tripuladas também são conhecidas como VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado.

Uma aeronave para voar no espaço aéreo brasileiro, deverá seguir as normas estabelecidas pelas autoridades competentes da aviação nacional. Tal aeronave no momento de seu voo, ao operar sem piloto a bordo são chamadas de aeronaves não tripuladas e, dentre as não tripuladas, aquelas que são utilizadas com fins exclusivamente recreativos são denominadas de aeromodelos e possuem áreas específicas para tal.

Para regularizar uma Aeronave Remotamente Pilotada (RPA), será necessário obter licenças nas agências nacionais de Aviação Civil (ANAC) e de Telecomunicações (ANATEL), além da autorização de voo no Departamento de Controle do Espaço Aéreo da Aeronáutica (DECEA).

Quando se trata de execução de aerolevantamentos, além das licenças e autorizações supracitadas, é necessário que esse serviço esteja de acordo com o parágrafo único do art. 1º do Decreto-Lei 1.177, de 21/06/71 e inciso I do art. 6º do Decreto 2.278, de 17/07/97 que torna obrigatório que o aerolevantamento seja realizado por pessoa jurídica cadastrada previamente e autorizada pelo Ministério da Defesa.

1.1 Definições

VANT é abreviação de Veículo Aéreo Não Tripulado, nomenclatura em português correspondente à terminologia em inglês UAV - Unmanned Aerial Vehicle, adotada pelo Departamento de Defesa Norte Americano (Department of Defense – DOD).

No Brasil, a Instrução Suplementar - IS Nº 21-002A da Agencia Nacional de Aviação Civil (ANAC), publicada em outubro de 2012, define VANT como:

> *"Aeronave projetada para operar sem piloto a bordo, que possua uma carga útil embarcada e que não seja utilizado para fins meramente recreativos. Nesta definição incluem-se todos os aviões, helicópteros e dirigíveis controláveis nos três eixos, excluindo-se, portanto, os balões tradicionais e aeromodelos."*

Quando se trata do conceito de aerolevantamento, a Resolução ANAC nº 377, de 15 de março de 2016 define aerolevantamento como sendo:

> *"o conjunto de operações para obtenção de informações de parte terrestre, aérea ou marítima do território nacional, por meio de sensor instalado em plataforma aérea, complementadas pelo registro e análise dos dados colhidos, utilizando recursos da própria plataforma ou estação localizada à distância", e compreende as operações de aeroprospecção e aerofotogrametria, que são Serviços Aéreos Públicos Especializados em aerolevantamento (SAE-AL).*

RPA (Remotely-Piloted Aircraft / em português, Aeronave Remotamente Pilotada), enfim, é a terminologia correta quando nos referimos a aeronaves remotamente pilotadas de caráter não-recreativo. Segundo Munaretto (2015) RPA é a nomenclatura utilizada pela ICAO (International Civil Aviation Organization) e adotada no Brasil pela ANAC e DECEA.

2 AGÊNCIAS REGULADORAS BRASILEIRAS E SUAS RESPONSABILIDADES

Criadas por meio de leis, as agências reguladoras, são autarquias sob regime especial, que tem por objetivo regular, definir medidas e ações que envolvam a criação de normas, o controle e a fiscalização das mais diversas atividades e setores privados do país. Dentre elas estão a Agência Nacional de Telecomunicações, Agência Nacional de Aviação Civil, Departamento de Controle do Espaço Aéreo e o Ministério da Defesa.

2.1 Agência Nacional de Telecomunicações

As pessoas jurídicas ou físicas proprietárias de RPA precisam, antes do uso, homologar seus equipamentos na Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Com a função de órgão regulador das telecomunicações, a ANATEL estabelece a proibição de utilização de equipamentos emissores de radiofrequência sem certificação expedida ou aceita pela agência. Os RPAs, possuem módulos transmissores de radiofrequências nos controles remotos e, em alguns casos, no próprio veículo aéreo, para a transmissão de imagens, logo necessitam da certificação emitida pela ANATEL. Todos necessitam ser homologados pela Anatel inclusive os de uso recreativo, como os de aeromodelismo. A obrigatoriedade visa evitar interferências em outro serviços, a exemplo das comunicações via satélite.

2.2 Agência Nacional de Aviação Civil

O Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94/2017 (RBAC-E nº 94/2017) da ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) cria regras para as operações civis de aeronaves não tripuladas e é complementar às normas de operação de drones estabelecidas pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL).

Além da homologação da Anatel, só poderá operar uma Aeronave Remotamente Pilotada quem possuir uma autorização da ANAC ou o "Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE)", que permite o uso de aeronaves apenas em operações experimentais sem fins lucrativos e sobre áreas pouco povoadas.

Atualmente, para que uma aeronave receba o CAVE deve seguir o que dispõe a Instrução Suplementar nº 21-002ª. Este certificado permite que sejam realizadas operações experimentais sobre áreas não densamente povoadas, sem fins lucrativos e em áreas rurais. É importante salientar que as operações permitidas são aquelas com intuito de desenvolvimento de pesquisas e pilotos.

Quando a operação com RPA tiver fins lucrativos, é necessário que seja enviado à ANAC um requerimento devidamente embasado, informando as características da operação que se deseja realizar e do projeto do RPA, com o objetivo de demonstrar à ANAC que a segurança do projeto está de acordo com os riscos associados à operação (riscos a outras aeronaves em voo e a pessoas e bens no solo). Após avaliação, a ANAC emite documentação com autorização para voo.

2.2 Departamento de Controle do Espaço Aéreo

O Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) é o órgão responsável por liberar as operação com RPA no Brasil. Órgão do Comando da Aeronáutica, tem por missão planejar, gerenciar e controlar as atividades relacionadas ao controle do espaço aéreo, à proteção ao voo, ao serviço de busca e salvamento e às telecomunicações do Comando da Aeronáutica.

Como órgão central do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB), compete ainda ao DECEA, prover os meios necessários para o gerenciamento e controle do espaço aéreo e o serviço de navegação aérea, de modo seguro e eficiente, conforme estabelecido nas normas nacionais e nos acordos e tratados internacionais de que o Brasil seja parte.

2.4 Ministério da Defesa

O Ministério da Defesa (MD) é responsável pelo controle do aerolevantamento no território nacional. Em conformidade com o Decreto-Lei 1.177, de 21 de junho de 1971, em seu Art. 1º regulamenta que os serviços de aerolevantamento só poderão ser realizados por empresas especializadas publicas ou privadas. Além disso, o artigo 3º do referido Decreto define como aerolevantamento, o conjunto das operações aéreas e/ou espaciais de medição, computação e registro de dados do terreno com o emprego de sensores e/ou equipamentos adequados, bem como a interpretação dos dados levantados ou sua tradução sob qualquer forma.

Qualquer aerolevantamento executado em território nacional deve obrigatoriamente ser realizado por entidade cadastrada pelo Ministério da Defesa e com a sua devida autorização. Cada projeto a ser executado o Ministério da Defesa expede uma autorização, para a fase aeroespacial e para cada aeronave executante será emitida uma Autorização de Voo do Ministério da Defesa (AVOMD).

As empresas que realizarem a atividade de aerolevantamento sem o cadastro e a devida autorização poderão estar sujeitas a responder civil e penalmente pelo ato irregular.

3 REGRAS RELACIONADAS A OPERAÇÃO COM RPA, ESTABELECIDAS POR ÓRGÃOS BRASILEIROS

Hoje, as operações de aeronaves não tripuladas, sejam para uso recreativo, corporativo, comercial ou experimental, devem seguir as regras da ANAC, que são complementares aos normativos de outros órgãos públicos como o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL). Para execução de aerolevantamentos serão obedecidas as regras do Ministério da Defesa.

Normas e regras criam condições para operações mais seguras, preservando a segurança das pessoas, além de promover o desenvolvimento sustentável e seguro para o setor. A seguir a legislação atual das agências reguladoras e do Ministério da Defesa.

3.1 Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC

Tendo como objetivo preservar a segurança das pessoas e promover o desenvolvimento sustentável e seguro para o setor de aviação, a ANAC criou regras. O Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial – RBAC-E da agência, aborda requisitos gerais para aeronaves não tripuladas.

Considerando o nível de complexidade e de risco envolvido nas operações desse nível, foram aprovadas em Portarias as instruções suplementares a fim de detalhar e orientar a aplicação de seções e subpartes do RBAC-E 94.

- Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial (RBAC-E) nº 94 de 2 de maio de 2017

Este regulamento dividiu as aeronaves não tripuladas em aeromodelos, drones usados para fins recreativos, e aeronaves remotamente pilotadas (RPA), drones utilizados para operações comerciais, corporativas ou experimentais.

Das principais disposições trazidas pelo RBAC-E nº 94, pode-se destacar:

a) Especificação de classes de acordo com pelo peso máximo de decolagem (PMD) da RPA:

Classe 01 – para RPA com PMD maior que 150kg
Classe 02 – para RPA com PMD maior que 25kg e menor ou igual a 150kg;
Classe 03 – para RPA com PMD menor ou igual a 25kg

b) O piloto remoto em comando de uma aeronave não tripulada é diretamente responsável pela condução segura da aeronave, pelas consequências advindas, e tem a autoridade final por sua operação. Todos os pilotos remotos e observadores de RPA devem ser maiores de 18 anos. Para comandar dispositivos com mais de 25kg de PMD ou em altitude superior a 400 pés é obrigatório a licença de piloto, além de autorização do DECEA;

c) Separação das operações de drones conforme contato visual do piloto durante sua utilização:

VLOS – Contato visual com o drone durante toda a operação;
EVLOS – Auxílio de observador para contato visual com o drone durante a operação;
BVLOS – Sem contato visual com o drone durante toda a operação;

d) A distância da aeronave não tripulada não poderá ser inferior a 30 metros horizontais de pessoas não envolvidas e não anuentes com a operação. Salvo na existência de uma barreira mecânica que as isole e proteja de eventuais acidentes;

e) Sanções aos infratores no caso de operação em desacordo com a norma.

- Instrução Suplementar E94.503-001ª

Compete a Instrução Suplementar E94.503-001A, aprovada pela Portaria nº 1.479/SAR, de 2 de maio de 2017, orientar qualquer pessoa que deseje obter o Certificado de Autorização de Voo Experimental – CAVE, detalhando e orientando a aplicação da seção E94.503 do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial n° 94 – RBAC-E 94 para Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA). Esta Instrução Suplementar (IS) cancela e substitui a IS 21-002A, de 4 de outubro de 2012.

- Instrução Suplementar E94-001ª

Esta Instrução Suplementar – IS, também aprovada pela Portaria nº 1.479/SAR, de 2 de maio de 2017, tem por objetivo fornecer informações sobre os procedimentos gerais para a autorização de um projeto de um Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (RemotelyPilotedAircraft System – RPAS), conforme estabelecido na Subparte E do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial nº 94 – RBAC-E 94:

a) RPAS Classe 3 que se destinem exclusivamente para operações VLOS até 400 pés AGL;
b) a RPA possua Certificado de Tipo; ou
c) a RPA seja utilizada de acordo com o estabelecido na seção E94.503 deste regulamento.

A autorização de um projeto de RPAS é um processo que objetiva assegurar que a aeronave não tripulada atenda aos requisitos mínimos de aeronavegabilidade aplicáveis.

Na IS consta a relação de todos os documentos técnicos e administrativos necessários solicitar a abertura de um processo de autorização de projeto de RPAS.

- Instrução Suplementar E94-002ª

Também aprovada pela Portaria nº 1.479/SAR, de 2 de maio de 2017, a Instrução Suplementar E94-002A, descreve um meio aceitável, mas não o único meio para obter a autorização de projeto e tem por objetivo orientar a demonstração de cumprimento dos requisitos das seções E94.405 (Projeto do RPAS – Geral) e E94.407 (Projeto do RPAS para operações BVLOS) da Subparte E do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial n° 94 – RBAC-E 94.

Na IS encontra-se os métodos relacionados à demonstração de cumprimento com os requisitos técnicos para cada projeto de RPAS, pois estes métodos podem variar devido aos diversos de tipos de aeronaves, de métodos de construção e de operações possíveis.

- Instrução Suplementar E94-003A

Aprovada pela Portaria nº 1.474/SPO, de 2 de maio de 2017, a Instrução Suplementar E94-03A estabelece os procedimentos para elaboração e utilização de avaliação de risco operacional para operadores de aeronaves não tripuladas, para cumprimento dos parágrafos E94.103(f)(2) e E94.103(g)(2) do RBAC-E nº 94.

3.2 Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL

Por parte da ANATEL, além da autorização de uso de radiofrequência deve ser observada a necessidade de certificação e homologação de equipamentos de radiocomunicação e a competente licença para funcionamento de estação, em conformidade com a variada legislação da ANATEL, apresentada a seguir.

- Resolução nº 242, de 30 de novembro de 2000 – Regulamento para Certificação e Homologação de Produtos para Telecomunicações.;
- Portaria 465, de 22 de agosto de 2007 – Aprovar a NORMA Nº 01/2007, anexa a esta Portaria, que estabelece os procedimentos operacionais necessários ao requerimento para a execução do Serviço Especial para fins Científicos ou Experimentais;
- Resolução nº 635, de 9 de maio de 2014 – Regulamento sobre Autorização de Uso Temporário de Radiofrequências;
- Resolução nº 680, de 27 de junho de 2017– Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita e altera o Regulamento dos Serviços de Telecomunicações, o Regulamento de Gestão da Qualidade do Serviço de Comunicação Multimídia, o Regulamento do Serviço de Comunicação Multimídia e o Regulamento do Serviço Limitado Privado. Revogou a Resolução nº 506, de 1º de julho de 2008.

3.3 Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA

Acerca dos procedimentos de controle aéreo compete ao DECEA legislar através de Circular de Informações Aeronáuticas (AIC) com a finalidade de regulamentar os procedimentos e responsabilidades necessários para o acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro por aeronaves remotamente pilotadas e da Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA). Foram publicadas pelo DECEA os seguintes documentos:

- ICA 100-12, 10 de novembro de 2016 - Regras do Ar
- ICA 100-40, 10 de março de 2017 - Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro
- ICA 100-37, de 30 de outubro de 2017 - Serviços de Tráfego Aéreo
- AIC-N 17, de 02 de janeiro de 2018 – Aeronaves Remotamente Pilotadas para Uso Recreativo Aeromodelos que revogou a AIC-N 17, de 19 de julho de 2017
- AIC-N 23, de 02 de janeiro de 2018- Aeronaves Remotamente Pilotadas para uso em proveito dos Órgãos
- Ligados aos Governos Federal, Estadual ou Municipal que revogou a AIC-N 23, de 28 de agosto de 2017
- AIC-N 24, de 02 de janeiro de 2018- Aeronaves Remotamente Pilotadas para uso exclusivo em Operações dos Órgãos de Segurança Pública, da Defesa Civil e de Fiscalização da Receita Federal que revogou a AIC-N 24, de 28 de agosto de 2017

3.4 Ministério da Defesa (MD)

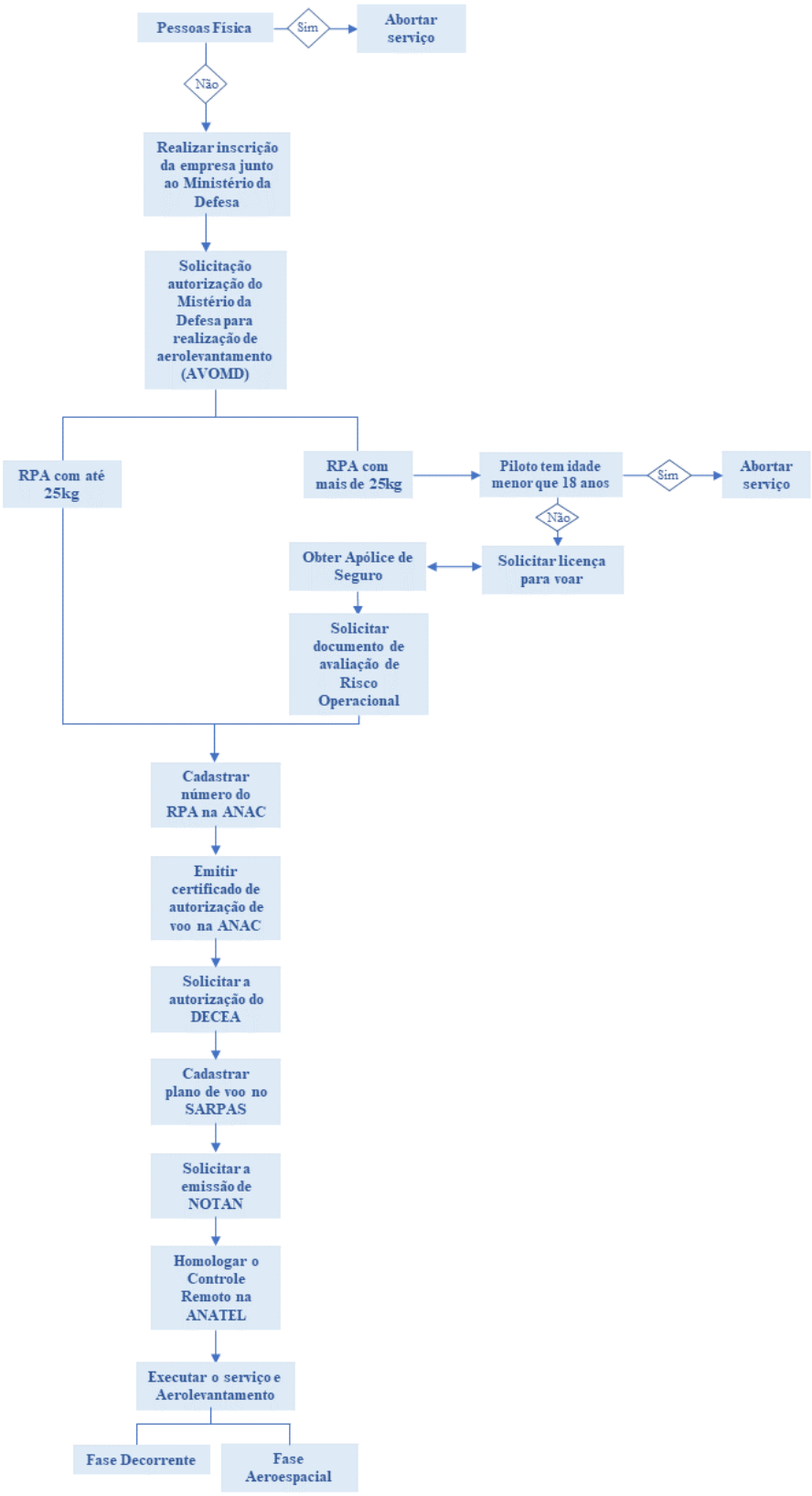
O controle da atividade de aerolevantamento no território nacional deve seguir as regras estabelecidas pelo Ministério da Defesa, a saber:

- Decreto-Lei N°1177, de 21 de junho de 1971 - Dispõe sobre aerolevantamentos no território nacional e dá outras providências.
- Decreto N° 2278, de 17 de julho de 1997 - Regulamenta o Decreto-Lei nº 1.177, de 21 de junho de 1971, que dispõe sobre aerolevantamentos no território nacional e dá outras providências.
- Portaria Normativa N° 953/MD, de 16 de abril de 2014 - Dispõe sobre a adoção de procedimentos para a atividade de aerolevantamento no território nacional.

4 ETAPAS PARA EXECUÇÃO DE SERVIÇOS DE AEROLEVANTAMENTO

O Fluxograma da figura 1 a seguir descreve as etapas a serem obedecidas na realização de um serviço de aerolevantamento utilizando um RPA.

Figura 1 – Etapas parra aerolevantamento



Fonte: Autores (2018)

As entidades públicas e privadas voltadas para execução de serviços de aerolevantamento no território nacional, devem requer sua inscrição no Ministério da Defesa, bem como na entidade nacional que necessite executar tais serviços, mas de forma eventual, poderão requer inscrição especial temporária.

Após análise e atendimento das exigências para o processo de autorização para execução de serviços de aerolevantamento da fase aeroespacial, a Chefia de Logística do Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas emitirá comunicado de concessão de autorização à entidade solicitante e a respectiva Autorização de Voo do Ministério da Defesa (AVOMD).

Para o aerolevantamento com RPAs que tenha até 25kg, é necessário obter registro junto à ANAC e portar um Certificado de Aeronavegabilidade Especial. Nos casos em que o RPA tiver um peso maior que 25kg, além do certificado da ANAC, o piloto deve solicitar ao fabricante uma declaração de que aquele sistema de RPA específico está de acordo com projeto autorizado pela ANAC. Essa declaração deve ser apresentada no momento da solicitação de emissão do certificado.

O piloto também deve possuir e portar licença e habilitação emitidos pela ANAC, quando a o RPA tiver mais de 25kg. Além disso, o piloto deve portar o manual da aeronave o comprovante do seguro, a avaliação de risco, bem como o Certificado Médico Aeronáutico (CMA) de 1ª, 2ª ou 5ª classe concedidos pela ANAC ou de 3ª classe expedido pelo Comando da Aeronáutica.

A execução do serviço de aerolevantamento com RPA, também está sujeita às regras de acesso ao espaço aéreo brasileiro. Desse modo, todo o voo de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) precisa de autorização do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA).

Por meio do SARPAS, é possível solicitar a autorização de uso do espaço aéreo. Para isso, deve ser enviado ao SARPAS a solicitação e o plano de voo para a aprovação. O prazo mínimo para a autorização é de 45 minutos, mas nos casos de aerolevantamento, esse prazo é de 18 dias após o envio, pois nesses casos demanda a emissão do NOTAM (NoticetoAirmen). Esse documento informa a comunidade aeronáutica sobre a operação a ser realizada.

O aerolevantamento, para efeito do Decreto nº 2.278, de 17 de julho de 1997, constitui-se em duas fases:

a) fase aeroespacial, de captação e registro de dados. O produto obtido nessa fase é designado original de aerolevantamento e;
b) fase decorrente, de interpretação e tradução dos dados registrados. O produto obtido nessa fase é designado produto decorrente.

5 CONCLUSÃO

As regras para a utilização de RPAs no Brasil são reguladas pela ANATEL, pelo DECEA, pela ANAC e pelo Ministério da Defesa, que expediram normas específicas para cada propósito de uso de RPAs, no entanto as normativas não foram reunidas em somente um documento e isso faz com que a regulamentação não seja clara e objetiva, tendo em vista que órgãos supracitados são complementares e suas normas devem ser atendidas por completo pelos usuários.

As legislações brasileiras sobre o uso de RPA, tem em comum o objetivo de uma utilização segura desta tecnologia, de modo a evitar incidentes. Porém, estas legislações se mostram pouco rigorosas no que diz respeito à fiscalização atuante e consequentemente a aplicação de sansões quando a tecnologia é utilizada de forma irregular.

No que diz respeito a utilização de RPA em aerolevantamentos, o principal desafio é na caracterização do que será considerando ou não aerolevantamento, pois muitas das aplicações utilizando RPA são para obtenção de medidas da superfície terrestre.

Um outro ponto importante é referente as empresas que executam serviços de aerolevantamento possuírem profissionais habilitados para execução desse tipo de serviço. Além disso, essas empresas devem usar RPAs, sensores, inteligência embarcada e software de pós processamento adequados para que os produtos gerados tenham qualidade e atendam às necessidades de transmitir informações precisas para subsidiarem a tomada de decisões inteligentes.

Na legislação atual do Ministério da Defesa não há restrições quanto ao tipo de plataforma aérea para a execução de aerolevantamento usando RPA. No entanto, o seus maiores obstáculos são para dar celeridade no registro das empresas e a liberação das missões para cada operação.

Salienta-se que os regulamentos devem ser observados e obedecidos por todos os pilotos e proprietários de RPAs no Brasil, tanto pessoa física, como pessoa jurídica. Um RPA é considerado, em sua essência, uma aeronave, e para que a sua operação seja realizada com a mesma segurança das aeronaves tripuladas, se faz necessário que as suas operações estejam sujeiras a regulamentações rígidas.

Ao longo do presente texto, buscou-se demonstrar o panorama atual da legislação para o uso de RPA em aerolevantamentos. Os esforços dos órgãos brasileiros em regulamentar essa recente tecnologia, mostra que os RPAs assumiram um papel irreversível no cenário da aviação civil, e a expectativa é o aumento do uso dessa tecnologia com o passar do tempo.

REFERÊNCIAS

ANAC, AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Brasileiro de Aviação Civil Especial – RBAC-E 94/17. Acessado em 02 de agosto de 2018. Disponível em https://www.defesa.gov.br/arquivos/cartografia/dica/legislacao/rbac_e_94_anac_02_05_2017.pdf

ANATEL, AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES**. Drones devem ser homologados para evitar interferências.** Rio de Janeiro, 2017. Disponível em http://www.anatel.gov.br/institucional/ultimas-noticiass/1485-drones-devem-ser-homologados-para-evitar-interferencias

DECEA, DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. **Tenha uma operação segura com seu DRONE/RPAS.** Acessado em 02 de agosto de 2018. Disponível em https://www.decea.gov.br/drone/

GUIMARÃES, G. H. S.**Regularização de uma aeronave remotamente pilotada de pequeno porte para fins de pesquisa científica: custos, facilidades e entraves,** Dissertação de Mestrado - Universidade de Araraquara – UNIARA - São Paulo, 2017.

MUNARETTO, Luiz Alberto Cocentino. **Vant e Drones: A Aeronautica ao Alcance de Todos.** Edição Independente. São José dos Campos, SP, 2015.

CADASTRO E GESTÃO TERRITORIAL

A COMPONENTE VERTICAL NO CADASTRO 3D E O SINTER

ADOLFO LINO DE ARAÚJO
FLAVIO BOSCATTO
ROVANE MARCOS DE FRANÇA

Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC
Curso Técnico de Agrimensura
Departamento Acadêmico da Construção Civil
adolfo.lino@ifsc.edu.br, flavio.boscatto@ifsc.edu.br, rovane@ifsc.edu.br

RESUMO – O SINTER foi criado em 2016 para, sob a responsabilidade da Receita Federal do Brasil, atuar como um sistema integrador de diferentes bases cadastrais. Embora ainda não esteja em funcionamento, as informações divulgadas até o momento indicam que a tentativa de integração dos diferentes cadastros no sistema adota uma perspectiva tridimensional. Com vistas a contribuir na discussão sobre o modelo cadastral delineado para o SINTER, centrado em três tipos diferentes de parcelas e na possibilidade de sedimentação de um Cadastro 3D, este artigo resume um ensaio teórico sobre o assunto e apresenta alternativas com base na literatura internacional da área.

ABSTRACT – SINTER was created in 2016 to act, under the responsibility of the Receita Federal do Brasil, as an integrating system of different cadastral bases. Although not yet in operation, the information disclosed so far indicates that the attempt to integrate the different cadastral bases into the system adopts a three-dimensional perspective. In order to contribute to the discussion about the cadastral model outlined for SINTER, centered on three different types of parcels and the possibility of sedimentation of a 3D Cadastre, this article summarizes a theoretical essay on the subject and presents alternatives based on the international literature of the area.

1 INTRODUÇÃO

Nos países desenvolvidos e em muitos países em desenvolvimento os sistemas cadastrais têm migrado para incorporar a terceira dimensão, desenvolvendo modelos de dados baseados nos seus registros atuais e nas técnicas disponíveis. No Brasil, alguns esforços têm sido feitos no sentido de traçar os caminhos para um Cadastro parcelar, definido por coordenadas e interligado ao registro de imóveis. O marco mais importante é, sem dúvida, a lei 10.267/2001 que estabelece a exigência para o georreferenciamento dos imóveis rurais. Estando restrita ao ambiente rural, tal lei não alcança todo o território nacional. Posteriormente a ela, houve a tentativa do Ministério das Cidades, através da portaria 511/2009, de lançar as bases para que as prefeituras viessem também a adotar princípios cadastrais em suas bases de dados. Como portaria, entretanto, o documento não tinha força de lei, mas lançou luz sobre as questões cadastrais em nível nacional ao promover a capacitação de um grande número de agentes públicos além de discuti-las em eventos nacionais.

Mais recentemente, a publicação Decreto N° 8764/2016 criou o SINTER – Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais com a missão de integrar em um banco de dados espaciais o fluxo dinâmico de dados jurídicos produzidos pelos serviços de registros públicos ao fluxo de dados fiscais, cadastrais e geoespaciais de imóveis urbanos e rurais produzidos pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal e pelos Municípios, sob responsabilidade da Receita Federal do Brasil – RFB (BRASIL, 2016). Conforme instituído no decreto, o SINTER deverá integrar bases de dados relacionadas a imóveis rurais e urbanos. No âmbito rural, o INCRA passará a fornecer sua base cadastral para alimentar o sistema; no âmbito urbano, as prefeituras farão esse papel.

Os seminários de divulgação do SINTER realizados desde a sua criação dão conta de que a tentativa de integração dos diferentes cadastros adota uma perspectiva tridimensional da base cadastral. Com vistas a contribuir na discussão sobre o modelo cadastral divulgado, centrado em tipos diferentes de parcelas e na possibilidade de sedimentação de um Cadastro 3D, este artigo resume um ensaio teórico sobre o assunto e apresenta alternativas com base na literatura internacional da área.

2 PARCELAS, OBJETOS TERRITORIAIS E O CADASTRO 3D

O Cadastro 2014 é um documento publicado pela Federação Internacional dos Geômetras – FIG em 1998 contendo seis declarações que resumiam a visão de vanguarda dos sistemas cadastrais à época com prognóstico para os sistemas cadastrais ao longo dos próximos 20 anos. Nele são recapituladas definições do termo Cadastro – como a tradicionalmente conhecida afirmativa da própria FIG de que o Cadastro é o "inventário público, metodicamente organizado, de dados referentes à propriedade dentro de um país ou distrito, baseado no levantamento de seus limites" (KAUFMANN e STEUDLER, 1998). Este conceito tradicional de Cadastro aparece sempre atrelado ao inventário das parcelas territoriais (bidimensionais projetadas sobre um plano).

Com as mudanças e transformações que a própria sociedade sofre em suas relações com o território, o Cadastro também deve sofrer transformações para acompanhar tais modificações. O entendimento mais difundido sobre a parcela territorial é o de que ela corresponde à menor unidade presente no Cadastro e sobre a qual incide – num dado tempo – um regime jurídico que é único. Outra posição mais genérica sobre a parcela é a de que ela é a uma porção do território sobre a qual se pode exercer algum direito. No Cadastro 2014, as parcelas passam a ser tratadas como Objetos Territoriais e conceituadas como "toda porção finita e homogênea do território, por sua natureza ou por acessão" (KAUFMANN e STEUDLER, 1998).

Quando esta porção do território é delimitada ou amparada juridicamente o conceito passa a ser o de Objetos Territoriais Legais; quando não o são, simplesmente Objetos Territoriais ou de Objetos Territoriais Físicos. Assim, grande parte das parcelas naturais, como rios, lagos, florestas e montanhas, que não possuem conotação jurídica, caracterizam os objetos territoriais. De outra forma, quando a porção do território é definida por direito constituído por lei, tal parcela será um objeto territorial legal.

Ainda conforme Kaufmann e Steudler (1998), a primeira declaração do Cadastro 2014 (*Statement 1*) apresenta o seguinte texto: "O Cadastro 2014 mostrará a completa situação legal do território, incluindo direitos e restrições públicas". Esta era a visão progressista da FIG em 1998, apontando para o que viria a ser o Cadastro nos diversos países do mundo num prazo de 20 anos. Muito embora o conteúdo do documento seja em parte um retrato das transformações que os sistemas cadastrais tradicionais (bidimensionais e analógicos) sofriam em termos tecnológicos (havia declarações sobre a "morte" dos mapas cadastrais em detrimento da modelagem e a abolição de documentos em papel, por exemplo), esta primeira declaração e o conceito de Objetos Territoriais são abrangentes o suficiente para alcançar uma perspectiva cadastral tridimensional.

Entre outros casos, quando se trata do direito de mineração ou da exploração do espaço aéreo ocorre uma situação prevista por instrumento legal abaixo ou acima da superfície topográfica, portanto no território, e que deve ser contemplada no Cadastro. A delimitação, o registro e a representação bidimensional serão insuficientes para alcançar todas as possibilidades cada vez mais complexas de ocupação e exploração do território. Em alguns casos estas ocupações estão sobrepostas em níveis diferentes e abre-se caminho para a implementação de um Cadastro 3D, completo ou em partes, a fim de que a completa situação legal seja apresentada, incluindo aí todos os direitos e restrições (CARNEIRO, ERBA e AUGUSTO, 2011; CARNEIRO, ERBA e AUGUSTO, 2012).

2.1 Diferentes níveis de complexidade de um Cadastro 3D

Araújo (2015) aponta que um Cadastro 3D permite que diferentes abordagens se apresentem como delineamentos à sua definição. Tais diferenças são o resultado do estado atual de amadurecimento do sistema cadastral de um país (incluídas aí a legislação pertinente ao registro), da disponibilidade de dados e das soluções tecnológicas adotadas. Pode-se abordar um Cadastro 3D de maneira estrutural em pelo menos quatro situações de crescente complexidade, quais sejam: i) um Cadastro 2D com informações do relevo do terreno (2.5D); ii) um Cadastro com objetos em 3D (edificações ou objetos territoriais isolados); iii) um Cadastro que contenha levantamentos cadastrais do espaço real acima e abaixo da superfície (de infraestrutura, por exemplo); ou, iv) um Cadastro 3D completo com limites tridimensionais de propriedade.

Considerando este quadro de crescente complexidade, encontra-se a afirmação de Papaefthymiou et al. (2004) que diz:

"Sob estas circunstâncias, a mudança para um sistema de Cadastro 3D é progressivamente necessária em curto prazo e absolutamente essencial em longo prazo. Fazer referência a um sistema cadastral 3D, não implica necessariamente um sistema de registro totalmente 3D estruturado. Um sistema compatível, que seja capaz de incorporar o registro de objetos 3D, ainda que bidimensional, pode muitas vezes fazer o trabalho, com igual sucesso." (PAPAEFTHYMIOU et al., 2004)

Os referidos autores apresentam, portanto, uma ideia progressiva muito clara que não pretende se desfazer das conquistas em termos de sistemas cadastrais já estruturados, mas que visa a incorporar a terceira dimensão aos poucos, fazendo-se acompanhar pelas mudanças que a própria legislação e a tecnologia permitirem. Em segundo plano, pode-se extrair deste quadro que o Cadastro 3D, sendo incorporado aos poucos, objetiva inicialmente a resolver questões pontuais onde a necessidade apontar – o que dispensa uma transformação brusca em termos de modelagem.

Entretanto, esta ideia aponta também no sentido de que mesmo diante da necessidade premente o Cadastro continuará dependente das estruturas bidimensionais, e assim tem sido em diversos países que adotaram soluções híbridas entre o 2D e o 3D registrando parcelas espaciais referidas a parcelas territoriais em cartas cadastrais.

O ideal, neste cenário de transição e de crescente complexidade, é que o sistema cadastral possa se adaptar de tal forma que onde a parcela territorial responda positivamente ao princípio da especialidade, assim seja mantida, e nos casos em que a sobreposição de interesses, de direitos, de responsabilidades ou de restrições ocorra acima ou abaixo da superfície, seja possível o uso de parcelas espaciais para atender ao mesmo princípio.

2.2 Modelos Cadastrais 3D

Ainda a respeito das diferentes abordagens estruturais do Cadastro 3D, Stoter et al. (2004) e Ploeger e Stoter (2004) apontam algumas alternativas possíveis e afirmam que o termo 'Cadastro 3D' pode ser interpretado de muitas maneiras que variam de um Cadastro completo com suporte tridimensional a parcelas espaciais, a Cadastros tradicionais nos quais a informação limitada é mantida em situações em 3D. Para os referidos autores três modelos conceituais se distinguem para um Cadastro 3D (com variações), sendo:

i. Cadastro 2D com 'etiquetas/advertências 3D' administrativas ligadas a parcelas territoriais no registro cadastral tradicional, que é a situação comum em muitos países;

ii. Cadastro híbrido, no qual as pessoas têm o direito sobre 'volumes', conferindo-lhes direitos também nas parcelas territoriais de interseção. Aqui há duas variações alternativas. A primeira é o registro de parcelas 2D em todos os casos e o registro adicional de um espaço 3D legal, no caso de unidades de propriedade 3D dentro de uma parcela, usando um limite de altura (inferior e superior) do espaço a que se aplicam direitos e/ou restrições. A segunda alternativa é o registro de parcelas 2D em todos os casos e registro adicional do espaço legal de objetos territoriais físicos no espaço 3D (Figuras 1 e 2); e,

iii. Cadastro 3D completo, no qual as pessoas podem explicitamente ter direito sobre 'volumes'. A primeira variação alternativa é a combinação de parcelas infinitas e volumes; a segunda alternativa é aquela na qual somente são admitidas no Cadastro 3D parcelas delimitadas totalmente em três dimensões (ou, como se referem os autores, *volume parcels* – 'parcelas de volumes') (Figura 3).

Stoter et al. (2004) e Ploeger e Stoter (2004) concluem afirmando que o primeiro modelo tem provado ser um bom ponto de partida (é prática corrente em muitos registros cadastrais). No entanto, uma falha fundamental desta abordagem é que tanto a informação espacial quanto não-espacial não são integradas no Cadastro: a informação é armazenada em arquivos separados.

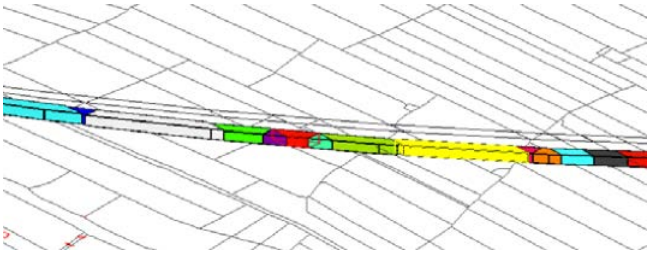
Sobre a abordagem híbrida, os autores afirmam que esta tem demonstrado ser uma boa alternativa para Cadastros que são ainda muito orientados territorialmente, ou seja, o direito de propriedade real só pode ser estabelecido pela vinculação com as parcelas territoriais com direitos e restrições limitadas. Uma vez que o status legal ainda é registrado por meio de parcelas territoriais, consultar o status legal em 3D ainda significa recolher informações sobre o estatuto jurídico das parcelas territoriais que se interceptam.

Quanto ao modelo de Cadastro 3D completo, Stoter et al. (2004) e Ploeger e Stoter (2004) ainda afirmaram que se trata do modelo conceitual que mostrou o melhor potencial a longo prazo. No modelo completo a entidade básica deixa de ser a parcela territorial e as pessoas passam ter a títulos de propriedade sobre volumes. Num Cadastro 3D completo o espaço é subdividido em volumes. Obviamente, este é o modelo mais complexo e que vai requerer o maior número de mudanças em termos de legislação no país que o decidir adotar.

Conforme anota Stoter et al. (2004) sobre o modelo conceitual de Cadastro 3D completo:

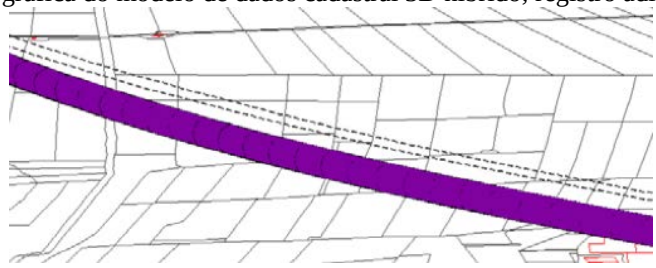
"As parcelas 3D formam uma partição de volume (não há sobreposições ou lacunas em 3D). A base jurídica, os protocolos de transação imobiliária e o registro cadastral devem apoiar a criação e transmissão de direitos 3D. O mapa cadastral 2D não existe mais e, portanto, não estabelece quaisquer restrições sobre os direitos 3D, ou seja, direitos 3D não estão relacionados com a configuração da superfície. Objetos imobiliários são definidos em 3D. Direitos e restrições estão relacionadas com volumes. As relações entre duas parcelas 3D pode ser necessário para cuidar de, por exemplo, a acessibilidade de uma parcela 3D que não está diretamente ligada à superfície."

Figura 1 – Representação gráfica do modelo de dados cadastral 3D híbrido, parcelas espaciais vinculadas às parcelas territoriais.



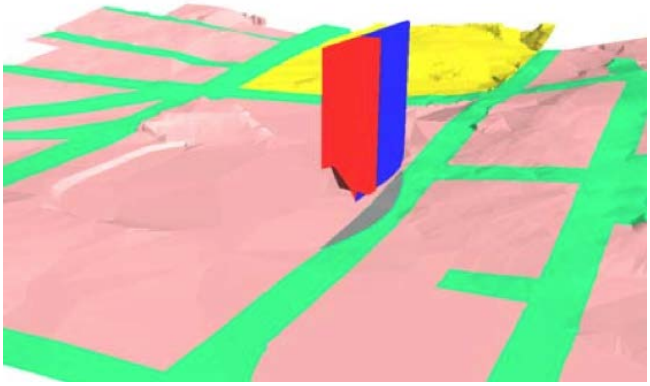
Fonte: adaptado de Stoter et al. (2004).

Figura 2 - Representação gráfica do modelo de dados cadastral 3D híbrido, registro adicional de parcela espacial.



Fonte: adaptado de Stoter et al. (2004).

Figura 3 - Representação gráfica do modelo de dados cadastral 3D completo.



Fonte: adaptado de Stoter et al. (2004)

Em um Cadastro 3D completo, o espaço tridimensional contínuo (o universo) é subdividido em volumes de particionamento. A base jurídica, os protocolos de transação imobiliária e o registro cadastral devem apoiar a criação e transmissão de direitos que explicitamente habilita pessoas para 'volumes' ou parcelas espaciais (ou seja, direitos 3D). O mapa cadastral 2D não estabelece quaisquer restrições sobre os direitos 3D: direitos 3D não estão relacionados com a configuração da superfície (como é o caso nos outros dois modelos conceituais de Cadastro 3D). Objetos imobiliários podem ser definidos em 3D. Direitos e restrições podem ser relacionados espacialmente. Estabelecer relações entre duas parcelas espaciais pode ser necessário para garantir, por exemplo, a acessibilidade de uma parcela espacial que não está diretamente ligada à superfície, por exemplo, nos casos de direitos de mineração ou redes de infraestrutura subterrânea, que podem estar relacionados a várias parcelas da superfície.

3 OS TIPOS DE PARCELAS DELINEADOS NO SINTER

O documento base da RFB contendo as definições de Cadastro e parcela para o SINTER (REZENDE, 2017) apresenta na p.16 três tipos distintos para a parcela cadastral, quais sejam:

> *"1. A unidade mínima do cadastro com limites formais que marcam a extensão do solo, possuída por uma pessoa física ou jurídica ou por várias em regime de condomínio geral ou edilício, em situação de propriedade ou posse ou direito real de superfície.*
> *2. A unidade autônoma situada sobre área comum em condomínio, contendo fração ideal do terreno e com volume físico mensurável, possuída por uma pessoa física ou jurídica, com regime jurídico de propriedade ou posse.*
> *3. A unidade imobiliária autônoma situada sobre a superfície edificada da unidade originalmente construída sobre o solo, com volume mensurável, titularidade distinta da outra, possuída por uma pessoa física ou jurídica, em situação de propriedade ou posse ainda não regularizada, com direito apenas sobre o espaço aéreo, sem dispor de uma fração ideal do terreno."*

Daqui em diante, por uma questão de simplicidade, e seguindo a própria ordem descrita na definição acima, nomearemos as parcelas neste texto como tipo 1, tipo 2 e tipo 3.

Conforme exposto, a parcela tipo 1 é claramente bidimensional (parcela territorial), cujos limites "marcam a extensão no solo". Os tipos 2 e 3 estão relacionados à direitos, restrições ou responsabilidades que ocorrem acima ou abaixo no nível do terreno, tendo, portanto, características tridimensionais.

Entretanto, nos diversos seminários promovidos nos últimos meses em diferentes locais, a abordagem apresentada para o delineamento das parcelas no SINTER é o de que todas elas são tridimensionais e que o conjunto dos levantamentos dos seus vértices de limite comporão um Cadastro 3D. Nos capítulos seguintes serão abordados os aspectos particulares de cada um destes tipos de parcelas e sua relação com a componente vertical num enfoque cadastral tridimensional.

3.1 A componente vertical nas parcelas Tipo 1

A parcela tipo 1 é aquela comum, tratada em muitos casos como o lote, o terreno, a gleba, uma extensão de terra, entre tantas outras, mas associada inequivocamente à superfície territorial. De acordo com o Decreto 8764/2016 (BRASIL, 2016) que instituiu o SINTER, as parcelas "são as unidades do cadastro que identificam áreas com regime jurídico distinto" (grifo nosso).

A expressão regime jurídico **distinto** parece ter sido adaptada a partir da tese de doutorado de Brandão (2003), na qual aparecia como regime jurídico **único**. Posteriormente, o Ministério das Cidades, com a publicação das Diretrizes para o Cadastro Territorial, através da Portaria 511/2009 (BRASIL, 2009), também utilizou e ajudou a divulgar a mesma expressão original: regime jurídico único. No nosso entendimento, a parcela corresponde a uma parte contínua (e não contígua como aparece no texto da portaria) da superfície terrestre com regime jurídico único. Adaptando o exposto por Brandão (2003) se compreende que a expressão regime jurídico único se aplica à parcela segundo um conjunto de características, quais sejam: a continuidade espacial, a unicidade dominial, a mesma situação jurídica (imóvel registrado ou não), a mesma situação administrativa-política (estado, município). Se uma destas características se modificar, modifica-se a parcela.

Rezende (2017) apresenta uma compilação do artigo de Santos et. al (2013), no qual foram exploradas as definições de parcela em diferentes países europeus, entre eles alguns dos que tem os sistemas cadastrais mais sedimentados que se conhece. Em todas as definições de parcela apresentadas, a parcela aparece associada à superfície terrestre. Apenas no caso do cadastro na Grécia, esta definição é ampliada para o subsolo e o espaço aéreo, mas de forma prismática (portanto, associada à parcela territorial) e não volumétrica (PAPAEFTHYMIOU et al., 2004). Entende-se aqui que estas definições são aplicadas todas à parcela tipo 1 que está, portanto, necessariamente associada à superfície terrestre.

A definição dos limites de parcelas acontece através da determinação das coordenadas de seus vértices. É pela determinação de tais coordenadas que outros valores são derivados, como as dimensões e azimutes dos lados e a área da parcela. Definir limites de parcelas em campo é uma tarefa que demanda certa complexidade devido à grande variação de situações possíveis relativamente à forma como o território foi sendo ocupado e como estes limites se consolidaram. Há situações nas quais o limite entre duas parcelas está no alinhamento médio de um muro, ou está de um dos lados, outras vezes não é possível medir diretamente o ponto, seja pela presença de obstáculos ou pela inacessibilidade ao limite em si, e a solução deve vir por métodos indiretos de geometria analítica ou outros.

As coordenadas dos vértices das parcelas cumprem o papel de definir a forma e a localização destas unidades do Cadastro, e, como consequência, compõem também o conjunto do regime jurídico associando-lhe direitos, deveres e restrições. Para as parcelas do tipo 1, a componente vertical das coordenadas não acrescentam valor ao papel de definição de forma e localização das parcelas, já que seus limites estão dispostos na extensão do solo (REZENDE, 2017). A exigência de que a parcela tipo 1 seja definida com coordenadas tridimensionais não encontra sustentação nem do ponto de vista teórico (relativo à própria definição do termo parcela, associada à superfície terrestre), nem do ponto de vista prático (relativo às questões da definição dos limites das parcelas em campo). As situações indicadas no parágrafo anterior evidenciam a não necessidade ou mesmo a impossibilidade de inserir a componente vertical entre as coordenadas da parcela.

Para ilustrar o exposto, se o limite da parcela estiver definido no alinhamento médio de um muro ou em outra estrutura edificada e for medido fora do nível da superfície topográfica, a componente vertical em nada acrescenta na definição dos limites da parcela. Apenas as coordenadas planimétricas são necessárias. Caso haja a presença de obstáculos à frente do vértice ou caso este seja inacessível, a determinação de suas coordenadas poderá ser resolvida por métodos de geometria analítica, os quais não incluem a componente vertical.

Ademais, nota-se nos diversos seminários promovidos sobre o assunto pelo Brasil uma expectativa de que a inserção de coordenadas tridimensionais no Cadastro possa vir a subsidiar outras áreas, atendendo às multifinalidades previstas. Inicialmente, faz-se necessário atentar que a multifinalidade prevista para o Cadastro está na possibilidade de que a base cadastral composta de parcelas possa ser utilizada por mais de um usuário/setor da administração. Esta função é cumprida, sobretudo, pelo fato de que a base cadastral reflete o que está nos registros, e vice-versa, sendo única nesse sentido. Isto não significa que não haja outras bases de dados, mas que em sendo a base cadastral composta

tão somente de parcelas – e sendo estas as menores unidades cadastrais – outras bases de dados deverão se apoiar sobre ela, porém versando sobre temas específicos, conforme a sua natureza, utilidade ou necessidade.

A informação da componente vertical dos vértices das parcelas tipo 1 não pode nem deve ser utilizada para, por exemplo, a geração de modelos digitais de elevação. Se nem sempre a determinação das coordenadas dos vértices pode ser realizada ao nível da superfície terrestre, que modelo digital seria gerado? Um modelo com pontos ao nível do terreno e outros acima ou abaixo deste não estaria modelando a superfície terrestre nem outra de interesse para qualquer área da gestão municipal. Não seria um modelo digital de terreno, nem um modelo digital de superfície. Além do mais, os vértices da parcela são uma discretização da realidade tridimensional sob um aspecto em particular: servir de subsídio para registrar direitos, deveres e restrições correlacionados a uma determinada extensão territorial. No interior de uma parcela é possível haver muitos outros pontos com componente vertical muito acima ou muito abaixo dos vértices que não são contemplados nos levantamentos, exatamente pelo fato de que o objetivo no levantamento cadastral não é modelar tridimensionalmente as elevações do terreno.

Poder-se-ia especular, então, que ao final do levantamento cadastral da parcela, fosse aplicada uma espécie de filtro para que resultassem apenas os vértices cuja componente vertical houvesse sido obtida junto à superfície terrestre. O conjunto continuaria sendo pobre para uma modelagem satisfatória, entretanto, outra questão se levanta: em qual superfície de referência vertical esta componente foi obtida? O elipsoide ou o geoide? Se o interesse, ou expectativa, for de que a informação tridimensional das parcelas venha a subsidiar outras aplicações como obras de engenharia, ou mapas de declividade, ou estudos relacionados à inundação, a superfície de referência não pode ser o elipsoide, já que este é uma superfície geométrica conceitual sem um sentido físico.

Muito embora, atualmente seja muito mais simples de se obter devido ao avanço das técnicas de posicionamento por satélite, as altitudes geométricas relativas ao elipsoide não se prestam às aplicações supracitadas. Se a superfície de referência a ser utilizada for o geoide, ou se trata de levantamentos de alta precisão para a determinação das coordenadas dos vértices das parcelas (o que encarece sobremaneira os levantamentos cadastrais) ou se realiza uma transformação da altitude geométrica para a ortométrica sobre o modelo geoidal em vigor, com a sua respectiva precisão. Em todos os casos citados a componente vertical está definitivamente comprometida.

Para as parcelas tipo 1, o modelo mais adequado parece ser, então, o de mantê-las como parcelas territoriais, já que a componente vertical que se lhe pretendem associar no delineamento do SINTER é desnecessária e implica numa complexidade que não apresenta vantagens nem do ponto de vista prático nem do ponto de vista de gestão cadastral.

3.2 A componente vertical nas parcelas tipos 2 e 3

A parcela tipo 2, correspondendo às unidades autônomas dos condomínios, são os apartamentos, as salas comerciais, as vagas de garagem, as áreas comuns, os depósitos particulares, entre outros, com volume físico mensurável possuídos por pessoa física ou jurídica. A parcela tipo 3 é associada a um tipo específico de ocorrência territorial, tratado implicitamente no art. 21 do Estatuto da Cidade, Lei Federal 10.257/2001 (BRASIL, 2001), e explicitamente na Medida Provisória 759/2016 (BRASIL, 2016), intitulado “direito de laje”. Na parcela tipo 2, o proprietário ou possuidor dispõe de fração ideal do terreno; no tipo 3, não. Conforme as definições apresentadas, a natureza física destes tipos de parcelas em relação ao terreno é tridimensional, já que foi utilizada a terminologia “volume físico mensurável” junto às suas caracterizações. As parcelas tipos 2 e 3 tendo associadas aos seus limites a componente vertical possuem, de alguma forma, direitos, restrições ou responsabilidades que se definem num espaço tridimensional, não ocorrendo fora deste. É o caso, por exemplo, de uma unidade autônoma (seja apartamento, loja, construção sobre laje ou outros) sobre a qual é exercida a dominialidade intrinsecamente a um determinado “volume”, e não fora deste.

Entretanto, pode-se abordar a existência das parcelas tipos 2 e 3 sob outro ponto de vista e não enquadrar estas unidades autônomas como parcelas, mas como objetos territoriais físicos. Conforme abordado no capítulo 2, a definição de Cadastro presente no documento Cadastro 2014, com a inserção dos conceitos de objetos territoriais é abrangente o suficiente para absorver as diferentes situações sobre as quais haja homogeneidade de direitos em determinadas partes contínuas do território ou acima/abaixo deste.

Araújo (2015) destaca que a complexidade do modelo Cadastral 3D completo se estende não somente aos aspectos técnicos envolvidos, tais como a coleta, processamento, armazenamento, representação e visualização de dados, mas também dos aspectos legais, ou seja, referentes ao ordenamento jurídico. Carneiro (2009) também aborda estas questões ao afirmar que o desenvolvimento de um Cadastro 3D envolve de um lado a resolução de problemas técnicos, tecnológicos e geodésicos e, de outro lado, a resolução de aspectos legais. Do ponto de vista científico e tecnológico, o principal desafio consiste na aquisição, processamento e gerenciamento dos dados tridimensionais. A terceira dimensão, que não aparece nos atuais modelos de representação cadastral bidimensional, carece do desenvolvimento de modelos capazes de gerenciar informações relativas à subsuperfície e sobresuperfície e conectá-las às informações já existentes da superfície.

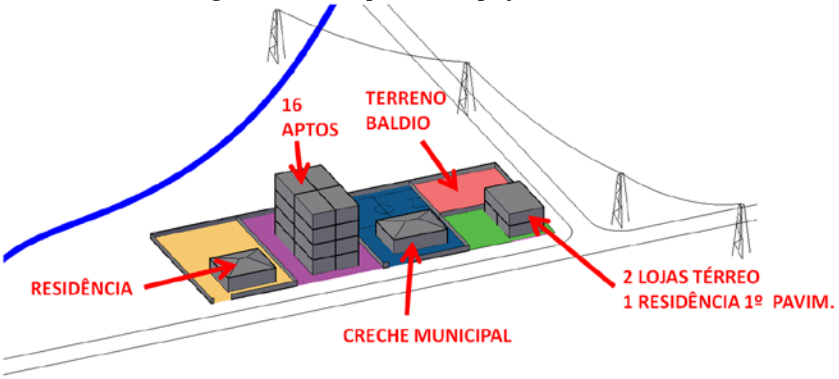
A experiência internacional indica que a inserção da terceira dimensão em um sistema cadastral requer mudanças significativas na legislação na maioria dos países. A literatura científica apresenta algumas alternativas que têm sido

adotadas em diversos países e que variam desde soluções mais simples, nas quais ao lado dos direitos e restrições de uso na superfície é adicionada uma nova camada que trata dos mesmos direitos e restrições de uso para as situações complexas (uma espécie de extensão do modelo parcelar 2D), até soluções bastante complexas, nas quais os objetos passam a ser modelados em 3D numa concepção de parcelas volumétricas, havendo ainda entre os dois casos soluções híbridas e intermediárias (Oosterom et al., 2004). Sobre o aspecto técnico e tecnológico, da topologia e da geometria de objetos cadastrais 3D, Peres e Benhamu (2009) apresentam relevantes considerações.

Há ainda que se considerar, em todo este contexto, os conceitos de Cadastro 3D e 2.5D apresentados pela Comissão 7 da FIG e seus desdobramentos e aplicabilidade à realidade cadastral local. As soluções para superar os problemas que surgem durante o registro da propriedade em unidades 3D no registro cadastral dependem do sistema jurídico nacional e do estado da arte do sistema cadastral no país específico (STOTER, 2004; OOSTEROM, et al., 2004).

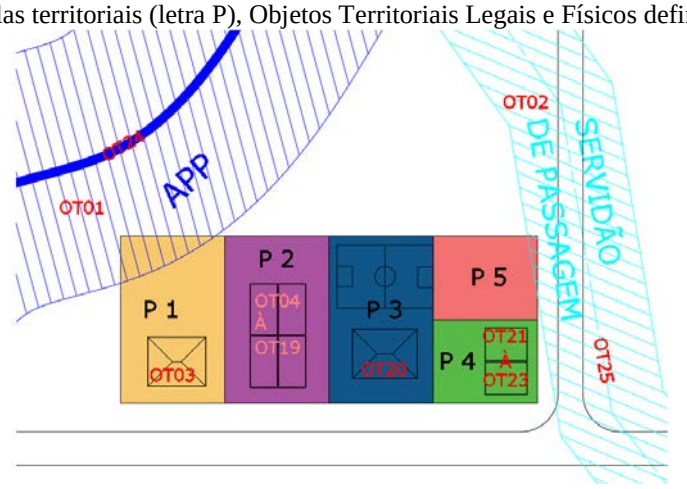
Conforme demonstrado também anteriormente, a literatura internacional aponta que os modelos cadastrais tem se sedimentado ao redor do mundo de maneira progressiva. Neste sentido de construção de um modelo cadastral nacional crescente em complexidade, uma alternativa viável ao ordenamento jurídico brasileiro, a fim de incorporar as parcelas tipos 2 e 3, seria a adoção de um modelo híbrido de Cadastro no qual se mantivesse apenas as parcelas tipo 1 (territoriais) na base cadastral como parcelas e que as unidades autônomas (tipos 2 e 3) fossem classificadas como objetos territoriais físicos, sem ganhar o status de parcelas, mas aparecendo associadas à uma parcela territorial. As Figuras 4 e 5 exemplificam o exposto. Desta forma, a natureza geométrica e jurídica de cada uma seria mantida (territorial para o tipo 1 e tridimensional para os tipos 2 e 3), mas não se tentaria a implantação definitiva de um modelo de Cadastro 3D completo, na conceituação internacional, com todas as parcelas da base sendo volumétricas.

Figura 4 – Exemplo de ocupação territorial



Fonte: Do autor.

Figura 5 – Parcelas territoriais (letra P), Objetos Territoriais Legais e Físicos definidos (letra OT).



Fonte: Do autor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos, pesquisadores da área de Cadastro e agências que se ocupam de gerir dados cadastrais ao redor do mundo têm realizado esforços num movimento em direção à multidimensionalidade cadastral. Tal mudança só se tornou possível dentro de uma realidade conduzida por dois vetores determinantes. O primeiro vetor é de natureza

tecnológica e diz respeito ao fato de as tarefas de coleta, processamento, armazenamento e representação de dados espaciais terem se tornado passíveis de execução em grande volume e em curto espaço de tempo incluindo a terceira dimensão – o que era bastante custoso ou mesmo impossível até poucos anos atrás. O segundo vetor é de natureza antrópica sobre o próprio território e diz respeito ao adensamento cada vez maior das ocupações urbanas, o que conduz ao uso intensivo e complexo de espaços sobre e sob a superfície terrestre. Como o Cadastro desde início teve seus princípios apoiados na representação de parcelas do território em duas dimensões, vê-se agora forçado a uma mudança de paradigma para incorporar a terceira dimensão. Ao Cadastro, permanecer exclusivamente bidimensional significa um duplo equívoco: deixar escapar a possibilidade de se beneficiar do primeiro vetor e deixar de atender ao segundo.

Tal afirmação não significa, entretanto, que se pretenda abandonar os avanços na área cadastral que se consolidaram internacionalmente, até então, em duas dimensões. Países como o Brasil, que sequer adotaram formalmente um modelo cadastral, em muito se beneficiariam com a organização de suas informações cadastrais de forma tradicional, interligadas com o registro, segmentadas em parcelas territoriais, definidas pelas coordenadas de seus vértices, com identificação inequívoca, representadas em cartas cadastrais sistematicamente ordenadas, etc. Todavia, mesmo sem a estruturação nacional de um Cadastro territorial unificado (urbano e rural) e completo (contíguo), é possível perceber uma diversidade de situações nas quais o registro em duas dimensões por si só será insuficiente para representa-las adequadamente e outras em que há benefícios diretos na inserção da terceira dimensão.

Em linhas gerais, nenhum país abandonou as suas estruturas cadastrais bidimensionais, já que elas respondem de maneira adequada a uma larga porção das ocorrências, mas muitos países adentraram a um período de transição entre estas estruturas tradicionais e novas estruturas que permitam tratar melhor os casos citados nesta pesquisa. Como as discussões sobre materializar um Cadastro 3D são muito recentes há uma variedade de possibilidades conceituais em discussão.

Avaliando a literatura internacional, percebe-se que o conceito de Cadastro 3D corresponde ainda a modelos, que não está totalmente sedimentado (mesmo nos países mais avançados no assunto) e que, ainda, aponta em direções diferentes. Uma primeira direção preza pela manutenção da estrutura bidimensional em toda a extensão do território, mas modela as edificações em 3D com o auxílio de modernas tecnologias de posicionamento para criar cenários urbanos ou permitir análises mais precisas sobre problemas relacionados à ocupação nas cidades. Outra prevê a manutenção da estrutura cadastral bidimensional à qual se interligam casos pontuais tridimensionais relacionados ao direito de propriedade quando há sobreposição de parcelas espaciais. Em ambos os cenários, o conceito de Cadastro 3D é hierarquicamente inferior ao 2D, já que deriva deste último e compõe uma espécie de camada ou de tema associado ao Cadastro territorial. Este parece ser um caminho natural que muitos países têm seguido para permitir que convivam as estruturas bi e tridimensional no Cadastro – que se aplicaria com maior facilidade ao cenário brasileiro.

Assim, com vistas à contribuição acerca da conceituação dos tipos de parcelas no SINTER e às discussões sobre da adoção de um modelo cadastral para o Brasil, e considerando que:

i) Métodos de posicionamento comumente utilizados em levantamentos cadastrais para determinação de coordenadas de vértices de limite, como os analíticos, possuem limitações em relação à componente vertical;
ii) A associação da componente vertical aos vértices de limite das parcelas territoriais não lhes confere nenhum tipo de direito, de restrição ou de responsabilidade diferentes da não associação;
iii) A componente vertical dos vértices de limite das parcelas territoriais, não podendo ser sempre determinada nem podendo ser sempre medida ao nível do terreno, não será útil para a elaboração de modelos digitais de terreno ou de elevação;
iv) A natureza das denominadas parcelas tipo 1 é essencialmente territorial;
v) A natureza das denominadas parcelas tipos 2 e 3 é essencialmente tridimensional;
vi) A adoção de um modelo híbrido de transição entre o Cadastro 2D e 3D é a solução apontada na literatura internacional como adequada a países em situação semelhante à nossa; e,
vii) A definição dos conceitos e modelos cadastrais a serem adotados influenciarão todas as demais atividades, desde a elaboração de manuais de atuação profissional para a coleta de dados até a atividade registral e cartorária.

Recomenda-se que no SINTER:

- As parcelas tipo 1 permaneçam na base cadastral como parcelas bidimensionais exclusivamente; e,
- As parcelas tipos 2 e 3 permaneçam na base cadastral como objetos territoriais físicos exclusivamente.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A.L. de. **Cadastro 3D no Brasil a partir de varredura a laser**. 2015. Tese. Florianópolis: UFSC, 2015. 155p.

BRANDÃO, A. C. **O princípio da vizinhança geodésica no levantamento cadastral de parcelas territoriais**. 2003. Tese. Florianópolis: UFSC, 2003. 128p.

BRASIL. **Decreto Nº 8.764, de 10 de maio de 2016**. Disponível em < https://goo.gl/8itd61>. Acessado em julho de 2018.

_____. **Medida Provisória Nº 759/2016, de 22 de dezembro de 2016**. Disponível em < https://goo.gl/cio5Ee>. Acessado em julho de 2018.

_____. Ministério das Cidades. **Portaria Ministerial Nº 8.764, de 8 de dezembro de 2009.** Disponível em < https://goo.gl/XPsj9G>. Acessado em julho de 2018.

_____. **Lei Federal Nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Disponível em < https://goo.gl/a9z432>. Acessado em julho de 2018.

CARNEIRO, A. F. T. **Cadastro 3D**. Mundo Geo - Multifinalitário, 8 de abril de 2009. Disponivel em: < https://goo.gl/PZR3XD>. Acessado em agosto de 2018.

CARNEIRO, A. F. T.; ERBA, D. A.; AUGUSTO, E. A. A. **Preliminary Analysis of the Possibilities for the Implementation of 3D Cadastre in Brazil**. 2nd International Workshop on 3D Cadastres. Delft: FIG. 2011. p. 461-478.

_____. **Cadastro multifinalitário 3D: conceitos e perspectivas de implantação no Brasil**. Revista Brasileira de Cartografia, Curitiba, 64, n. 2, 2012. 257-271.

KAUFMANN, J.; STEUDLER, D. **Cadastre 2014: A vision for a future cadastral system**. 1a. ed. Rüdlingen: FIG - Federação Internacional de Geômetras, v. 1, 1998.

OOSTEROM, P. V.; STOTER, J.; CHRISTIAAN, L. **Modelling of 3D Cadastral Systems**. 2004. Disponivel em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.100.5243>. Acessado em julho de 2018.

PAPAEFTHYMIOU, M.; LABROPOULOS, T.; ZENTELIS, P. **3-D Cadastre in Greece – Legal, Physical and Practical Issues Application on Santorini Island**. FIG Working Week 2004. Atenas: FIG. 2004. p. 1-16.

PERES, N.; BENHAMU, M. **3D Cadastre GIS – Geometry, Topology and Other Technical Considerations**. FIG Working Week 2009. Eilat: FIG. 2009. p. 1-14.

PLOEGER, H. D.; STOTER, J. E. **Cadastral Registration of Cross-Boundary Infrastructure Objects**. FIG Working Week 2004. Atenas: FIG, 2004. p. 1-18.

REZENDE, L.O.R. **Conceito de Parcela no SINTER**. Brasília: RFB, 2017. 24p.

SANTOS, J.C.; FARIAS, E.S. de; CARNEIRO, A.F.T. **Análise da parcela como unidade territorial do cadastro urbano brasileiro**. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 19, no 4, p.574-587, out-dez, 2013.

STOTER, J. **3D Cadastre**. Delft: Technische Universiteit, 2004. 344p.

STOTER, J. E. et al. **Conceptual 3D Cadastral Model Applied in Several Countries**. FIG Working Week 2004. Atenas: FIG, 2004. p. 1-27.

A GESTÃO DE TERRAS PRIVADAS NO BRASIL: DAS SESMARIAS AO SINTER

DANIEL DE AGUIAR MAIA GOMES

Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal – TERRACAP
Núcleo de Análise Fundiária – NUANF
danielmaiagomes@yahoo.com.br

RESUMO – A gestão de terras brasileiras é analisada neste artigo sobre o ponto de vista de sua evolução legislativa e de sua correlação com o cadastro territorial e com o registro de terras. O assunto é de grande interesse pois envolve um grande bem do Brasil e dos brasileiros: a enorme dimensão territorial do país. Com o passar dos anos, a forma de tratar a terra foi exigindo uma maior precisão em seus limites territoriais e na exatidão da sucessão dominial dessas áreas devido ao crescente valor das terras e, por isso, as leis concernentes ao tema e as tecnologias empregadas tiveram que evoluir conjuntamente de acordo com as novas realidades. Após o estudo e revisão bibliográfica dos modelos registrais e cadastrais desde o início da ocupação das terras brasileiras, o artigo analisa aquele que promete causar uma grande mudança no processo atual de gestão de terras no Brasil: O Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais, o SINTER.

ABSTRACT - In this article, the Land Management in Brazil is analyzed from the point of view of its legislative evolution and its correlation with cadastre and land registration. This subject is of great interest because it involves a great treasure of Brazil and the Brazilians: the enormous landmass of the country. Over the years, the valuation of land has demanded a greater precision in properties limits and in the accuracy of the dominion succession and, therefore, the laws and the technologies employed concerning the subject has evolved to this new reality. After the study and literature review of the registration process and cadastral evolution since the beginning of the occupation of Brazil, this article analyzes the newest law concerning the study: The National System of Territorial Information Management, SINTER, that promise to cause a great change in Land Management in Brazil.

1 INTRODUÇÃO

As dimensões do Brasil são continentais, e administrar e gerir toda essa área territorial não é tarefa simples. A organização e o planejamento eficazes devem ser bem pensados para garantir uma gestão eficiente das terras, não hesitando em inovações e aprimoramentos em busca da eficiência. Com essa intenção, o governo vem procurando soluções no decorrer do tempo melhores maneiras para gerir as terras no Brasil.

Várias foram as inovações ocorridas neste tema no Brasil nos últimos anos. Leis federais, como a Lei 10.267/01, que determinou o georreferenciamento de imóveis, e decretos, como o 6.666/08, que criou a INDE, em uma iniciativa de padronizar e permitir a troca de informações geoespaciais, são apenas dois exemplos de tentativas governamentais para melhor conduzir a questão.

Este trabalho tem a intenção de estudar o histórico da gestão de terras no Brasil, o avanço da legislação que trata do tema e, por fim, analisar o decreto mais recente na área: 8.764/16, que institui o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais, o Sinter. Esse sistema promete a integração de dados espaciais produzidos pelos serviços de registros públicos ao fluxo de dados fiscais, cadastrais e geoespaciais de imóveis urbanos e rurais produzidos pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal e pelos Municípios.

Uma grande contribuição prevista pelo Sinter, entre outras tantas, é a possibilidade de diminuição de lavagem de dinheiro, da grilagem de terras e da garantia do crédito público, possível pelo cruzamento de dados advindos das mais diversas fontes. Visto o grande impacto do decreto e da promessa de eficiência da gestão pública das terras, o tema se torna de grande importância para discussão e para conhecimento da comunidade científica e dos cidadãos em geral.

2 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste artigo é analisar o processo de evolução cadastral e registral por meio da revisão bibliográfica de artigos concernentes ao assunto e da legislação envolvida (leis, decretos, normas) desde o início da ocupação do território Brasileiro até os dias atuais.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 A Propriedade Privada na Constituição de 1988

O direito à propriedade privada é um conceito que remonta a épocas antigas. No Direito Romano, a propriedade era vista como um bem com direito absoluto, sem nenhuma restrição para usar, gozar e dispor.

A Constituição Brasileira de 1988 consagra a propriedade privada como direito fundamental (Cf. Título II), conforme o extrato do texto constante em seu Artigo 5º:

Art. 5.º Todos são iguais perante a lei, sem distinção de qualquer natureza, garantindo-se aos brasileiros e aos estrangeiros residentes no País a inviolabilidade do direito à vida, à liberdade, à igualdade, à segurança e à propriedade, nos termos seguintes:

[...]

XXII - é garantido o direito de propriedade;

XXIII - a propriedade atenderá a sua função social;

A função social a qual a constituição se refere no Artigo 5º, inciso XXIII, pode ser interpretada como uma restrição de direito, caracterizando-o como não sendo um direito absoluto sobre a propriedade, como ocorria em épocas passadas, como no Direito Romano.

No texto constitucional, em seu Artigo 187, caracteriza a função social de propriedade:

Art. 186.º A função social é cumprida quando a propriedade rural atende, simultaneamente, segundo critérios e graus de exigência estabelecidos em lei, aos seguintes requisitos:

I - aproveitamento racional e adequado;

II - utilização adequada dos recursos naturais disponíveis e preservação do meio ambiente;

III - observância das disposições que regulam as relações de trabalho;

IV - exploração que favoreça o bem-estar dos proprietários e dos trabalhadores.

Essa função social da propriedade já havia sido fundamentada anteriormente no Estatuto da Terra, Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964. Discorre Carneiro (2003) que esse estatuto representou um instrumento jurídico de grande valor na tentativa de transformar a estrutura fundiária no Brasil, largamente caracterizada por latifúndios. Foi uma iniciativa do Governo Federal, através do Estatuto mencionado, de estimular a criação de propriedades privadas e garantir aos pequenos produtores os frutos de seu trabalho, atrelando a existência da propriedade às restrições de sua função social e fortalecendo, assim, o pequeno produtor rural.

2.2 A Propriedade Privada e seu registro no Brasil

No Brasil, a história da gestão de terras no Brasil começa com a chegada dos portugueses ao Brasil, em 1500. A partir daí, todas as terras recém-descobertas são declaradas como pertencentes à Coroa Portuguesa e são posteriormente divididas em capitanias hereditárias (CARNEIRO, 2016). Cada uma das capitanias hereditárias foi concedida a um donatário, que ficaria responsável por sua gestão, sendo sua sucessão passada de pai para filho (daí o nome “hereditária”). Aos capitães-donatários cabia conceder sesmarias, subpartes das capitanias, aos sesmeiros e, com isso, esperava-se incentivar a ocupação das novas terras e torná-las produtivas.

A concessão de áreas da sesmaria era validada pela carta de sesmaria, um documento expedido pelas paróquias das igrejas, que, à época, eram ligadas à Coroa Portuguesa. A carta comprovava a posse a área e atribuía responsabilidades aos sesmeiros. Como contrapartida, os sesmeiros deveriam tornar as terras produtivas no período de um ano e pagar tributos à coroa. A concessão das sesmarias poderia ser revogada caso a terra doada não estivesse sendo produtiva.

A Lei 601, de 18 de setembro de 1850, mais conhecida como Lei das Terras, foi sancionada por Dom Pedro II. A partir dessa lei foi feito o registro de possuidores de terras, independente do título de sua propriedade ou possessão e aboliu-se as sesmarias. Estes registros ficaram conhecidos como Registros Paroquiais, por serem registrados nas paróquias das igrejas, pois eram essas as "instituições" mais presentes nas extensões territoriais do Brasil. A lei reconheceu aos sesmeiros a propriedade da gleba, sendo observadas algumas condições. (PODELESKI, 2009).

A Lei das Terras foi significativa por ser a primeira lei no sentido de organizar as terras no Brasil e tinha como objetivos principais organizar o acesso à terra, eliminar a posse, estabelecer um cadastro de terras para definir as áreas devolutas e de transformar a terra em um ativo confiável e usado como garantia (GUEDES et al, 2012). Além disso, previa em seu Artigo 1º, que a partir de sua publicação ficariam proibidas as aquisições de terras devolutas por qualquer título que não o de compra, excetuando as terras com distância de até 10 léguas até a fronteira do Império, que poderiam ser concedidas gratuitamente.

Alguns anos mais tarde, Dom Pedro II decreta, em 24 de setembro de 1864, a Lei 1.237, também conhecida como Reforma Hipotecária de 1864. Essa lei reformou a então legislação hipotecária e instituiu o registro de propriedade imobiliária como função de estado no Brasil. Segundo Rodrigues (2014), a Lei 1.237 buscava facilitar o crédito territorial e, para isso, buscava transformar a forma de transmitir o patrimônio imobiliário entre vivos, impondo a formalidade da transcrição.

A Reforma Hipotecária de 1864, junto com a Lei das Terras de 1850, instituídas ainda no Brasil Império, foram apresentadas por alguns pesquisadores como origem da propriedade privada e até do capitalismo no Brasil (RODRIGUES, 2014). As duas leis, conjuntamente, também são responsáveis pela definição da base estrutural da organização da propriedade privada brasileira até os dias contemporâneos, sendo pilar dos registros imobiliários e dos cartórios.

Em 1939, o decreto nº 4.857 dispôs sobre os serviços concernentes aos registros públicos estabelecido pelo Código Civil de 1939. Esse decreto consolidou a transcrição como documento formal nos cartórios para alteração na propriedade de imóveis. Esse modelo de registro priorizava o proprietário em detrimento de detalhamento da propriedade.

Desde a época dessas leis, ainda no período de Império, os cartórios já desempenham fundamental participação no processo registral no Brasil. O Cartório de Registro de Imóveis é um serviço público responsável pela garantia de publicidade, autenticidade, segurança e eficácia dos atos jurídicos e de seus efeitos perante terceiros dos imóveis de uma circunscrição. São delegações do poder público que são exercidos em caráter privado, como é estabelecido na Constituição do Brasil de 1988, no artigo 236.

A constituição, nesse artigo, faz referência aos serviços notariais e de registro, estabelecendo que os serviços notariais e de registro são exercidos em caráter privado, por delegação do Poder Público. A Lei nº 8.935/94, também conhecida como Lei dos Cartórios, regulamenta o artigo da constituição, dispondo principalmente sobre os critérios de funcionamento, administração e gestão dos cartórios.

O Cartório de Registro de Imóveis, contrariamente aos outros cartórios, possui uma circunscrição, que é a área territorial em que o cartório atua. Não é permitido a um Cartório de Registro de Imóveis fazer qualquer ato em imóveis que não estejam em sua circunscrição. O objetivo dessa limitação é facilitar a consulta de uma matrícula / escritura e organizar os registros imobiliários.

A estrutura de registro imobiliário, a partir daí, seguiu com a publicação, anos mais tarde de duas leis de essencial importância para o registro de imóveis como é realizado atualmente são elas: Lei nº 6.015/73, mais conhecida como a Lei dos Registros Públicos e a Lei 10.267/01, que torna obrigatório o georreferenciamento do imóvel rural.

A Lei nº 6.015/73 dispõe sobre os registros públicos. Essa lei é de suma importância para organização e entendimentos dos processos de registro de imóveis no Brasil. Os notários (também chamados de tabeliões) são profissionais bacharéis em direito que são submetidos a concurso para ocupar tal cargo, como estabelece a Constituição de 1988 e é a quem a lei atribui fé pública para o ato de registrar.

GUEDES et al (2012), em seu artigo "Direitos de Propriedade da Terra Rural no Brasil: uma proposta institucionalista para ampliar a governança fundiária" reforça a importância do registro de propriedade:

"Em países capitalistas, onde predomina a propriedade privada, o registro de imóveis tem importância óbvia para a questão fundiária, por estar associada diretamente à constituição, regularização e reconhecimento dos direitos de propriedade."

Estabelece a Lei dos Registros que nos Cartórios de Registro de Imóveis serão feitas não somente o registro da propriedade em si, mas também as alterações (averbações) que vierem a ser feitas no imóvel, por exemplo: alteração de titularidade, penhora, hipoteca. Além disso, essa lei implantou a matrícula. Ao contrário da transcrição, até então utilizada, cada imóvel possui uma identificação unívoca (no caso, um número), que não sofre alteração com mudança de

titularidade. A transcrição, ao contrário, sofria alteração a cada mudança de titularidade. Dessa maneira, pode-se inferir, no ato de registo em cartório, a matrícula prioriza o imóvel e a transcrição, o proprietário.

3.3 A Propriedade Privada e seu cadastro no Brasil

São inúmeras as definições do que é um cadastro territorial. Uma das definições mais aceitas é a estabelecida por Jo Hensen, da Federação Internacional de Geômetras (FIG). Hensen (2005) define o cadastro como sendo "um inventário público, metodicamente organizado, de dados relativos às propriedades dentro de um determinado país ou distrito, baseado no levantamento de seus limites".

As primeiras iniciativas de cadastro de terras são tomadas a partir do momento em que o homem começa a cultivar a terra e a depender de porções de sua superfície, fazendo surgir uma nova relação homem e terra e fazendo surgir as pressões relativas aos limites da propriedade (CARNEIRO, 2003). No entanto, no Brasil, o cadastro territorial demorou a ser pensado. Reis (2016) discorre que, embora a Lei de Terras de 1850 fizesse menção à medição de terras adquiridas pelo sistema de sesmarias, posses ou concessões do governo, não existiam regras claras quanto à demarcação e descrição destes terrenos.

Apesar de ótimos exemplos de cadastros no mundo, como o Cadastro Francês, implantado por Napoleão Bonaparte, ou mesmo de iniciativas mais recentes como o da Colômbia, através de seus Instituto Geográfico Augustin Codazzi, ainda há pouco a se comemorar no Brasil. Grande parte do problema observado no caso Brasileiro é vasta quantidade e desorganização dos cadastros de imóveis. Atualmente, existem 5570 municípios no Brasil e, teoricamente, cada um deles é responsável pelo seu cadastro urbano. Como é sabido, muitos desses cadastros não cumprem com sua função, seja por ser muito simples, desatualizados, com informações não condizentes com a realidade ou até mesmo inexistentes.

Além disso, o Brasil é um dos poucos países do mundo em que há a separação de cadastros urbanos e rurais. O primeiro, como dito anteriormente, é de responsabilidade das prefeituras, de âmbito municipal. O segundo, de responsabilidade do INCRA, de âmbito federal.

No âmbito urbano, o cadastro no Brasil vem desempenhando um papel quase que exclusivamente tributário. É a partir do cadastro de imóveis que as prefeituras se baseiam para cobrar o IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano). Embora o fim tributário seja uma contribuição do cadastro territorial com o fim de promover arrecadação pública e assegurar uma justiça social, esse não é seu objetivo único e exclusivo.

Algumas prefeituras vêm elaborando bons cadastros urbanos, com objetivos além do estritamente tributário. Entre alguns exemplos que podem ser citados estão os cadastros dos municípios de Belo Horizonte, Joinville e Arapiraca. Muitos desses cadastros estão disponíveis para consultas nos sites, respeitando, sempre, o sigilo das informações pessoais.

No âmbito rural, o INCRA foi largamente influenciado por leis e evoluções das legislações que envolvem o cadastro de terras ao longo dos anos. Em 1972 é publicada a Lei nº 5.868, que cria o SNCR (Sistema Nacional de Cadastro Rural). O SNCR foi o primeiro cadastro rural do INCRA e tinha caráter declaratório, reunindo informações como proprietário, arrendatário e área dos imóveis. O cadastro reunia apenas informações básicas, mas que já apresentou um avanço na área.

Em 1990, com a publicação da Lei nº 8.022, o INCRA teve a competência da administração (tributação, arrecadação, fiscalização e cadastramento) das receitas federais transferidas para a Secretaria da Receita Federal.

Anos mais tarde, O SIGEF (Sistema de Gestão Fundiária) surge como plataforma digital, implantado em 23 de novembro de 2013, que certifica um imóvel rural dotando-o de um polígono de delimitação e de confrontantes. Além disso, certifica que o imóvel não se sobrepõe a nenhum outro imóvel rural certificado pelo INCRA. O SIGEF provém da Lei 10.267/01 com o objetivo de redução de grilagem de terras e é uma evolução em termos de informações.

3.4 O Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais, o SINTER.

Este artigo aborda o mais recente decreto na área, que promete impulsionar e revolucionar o sistema de gestão de informações territoriais atualmente utilizado no Brasil. O sistema, batizado de Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais, ou Sinter, foi instituído a partir do decreto 8.764, de 10 de maio de 2016, assinado pela então presidenta do Brasil, Dilma Rousseff, pouco antes de ser afastada da presidência. O sistema consiste de uma ferramenta de gestão pública que integrará, em um banco de dados espaciais, o fluxo dinâmico de dados jurídicos produzidos pelos serviços de registros públicos ao fluxo de dados fiscais, cadastrais e geoespaciais de imóveis urbanos e rurais produzidos pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal e pelos Municípios.

A administração desse sistema será de responsabilidade da Secretaria da Receita Federal do Brasil, com gestão compartilhada com os registradores e órgãos federais. Devido a sua natureza centralizadora, o Sinter é considerado um sistema único, pois reúne informações de natureza variada (cadastral, fiscal, fundiária, registrais, etc.) neste banco de dados único. Por isso, a Receita Federal irá considerar o Sinter como a única fonte de controle de informações a ela repassadas.

Segundo o decreto 8.764, que instituiu o Sinter, serão usuários do sistema: os órgãos e as entidades da administração pública federal direta e indireta, os serviços de registros públicos e os serviços notariais e as administrações tributárias dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, mediante convênio celebrado com a Secretaria da Receita Federal do Brasil. Além desses usuários, o Poder Judiciário e o Ministério Público também terão acesso ao banco de dados do Sinter.

Com o SINTER, se espera organizar os dados das diversas fontes anteriormente especificadas e reuni-las num banco de dados único. Com isso, o resultado é maior controle por parte do poder público acerca dos atos realizados por si e também entre particulares. Com isso, fraudes, grilagem de terras e segurança. Na atualidade, a grande questão é como será feita a implantação do sistema de modo prático, pois além de envolver muitas partes, interesses específicos são afetados.

4 CONCLUSÃO

Este artigo discorreu sobre todo o processo de registro e de cadastro no Brasil, apontando os fatores históricos que levaram ao sistema atual brasileiro. Além disso, abordou a teoria que tange a propriedade privada, que é o objeto do registro e do cadastro.

Foi constatada, através desta pesquisa, a complexidade e a grande dificuldade de gerir e formar um sistema que seja eficiente e que se encaixe às características das terras do Brasil. As sucessivas leis e decretos que se sucederam na tentativa de melhorar e tornar o registro e o cadastros foram estudados e discorridos neste artigo. Essas leis progressivamente foram criadas e funcionaram, em sem tempo, para uma melhoria na questão.

A realidade cadastral brasileira aponta para muitos desafios, mas observa-se um direcionamento por parte dos órgãos competentes de estabelecer um melhor modelo para o caso brasileiro ao longo dos anos. Esta pesquisa constatou que o governo está fazendo uso de tecnologia e modernizando o sistema de cadastro e de registro. Nesse âmbito, pode-se citar, por exemplo, a implementação da Lei 10.267/01, do SIGEF e do SINTER, este ainda em fase inicial.

O futuro está sendo escrito agora. Como a implementação do SINTER se desenrolará será determinante para o sucesso do sistema e de assegurar seus objetivos, tão importantes para a sociedade brasileira.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Maria Darlene Braga. Sistema Registral e Notarial. Iesde Brasil: Curitiba, 2012.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL, Lei n º 1.237/64, Lei da Reforma Hipotecária. Reforma a legislação hipotecária, e estabelece as bases das sociedades de crédito real. Publicada em 24 de setembro de 1864.

BRASIL, Lei n º 5.868/72. Cria o Sistema Nacional de Cadastro Rural. Senado Federal: Centro Gráfico, 1972.

BRASIL, Lei n º 6.015/73, Lei de Registros Públicos. Dispõe sobre os registros públicos, e dá outras providências. Republicada no D.O.U. de 16 de setembro de 1975. Senado Federal: Centro Gráfico, 1975.

BRASIL, Decreto n º 8.764/16, Institui o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais. 10 de maio de 2016. Senado Federal: Centro Gráfico, 2016.

CARNEIRO, Andréa Flávia Tenório. Cadastro Imobiliário e Registro de Imóveis: A lei 10.267/2001, Decreto 4.449/2002 e Atos Normativos do INCRA. Porto Alegre: Sérgio Antônio Fabris Editor, 2003.

GUEDES et al. Direitos de Propriedade da Terra Rural no Brasil: uma proposta institucionalista para ampliar a governança fundiária. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032012000300008>. Acesso em 3 de julho de 2018.

HENSEN, Jo. Definitions of Cadastre. Disponível em: < https://www.fig.net/organisation/comm/7/activities/reports/events/Delft_seminar_95/paper2.html>. Acesso em 21 de junho de 2018.

PAIVA, José Pedro Lamana. Registro de Imóveis. Disponível em: <http://www.irib.org.br/noticias/detalhes/registro-de-imoveis-sinter-sera-o-unico-instrumento-de-controle-das-informacoes-repassadas-a-receita-federal> Acesso em 21 de junho de 2018.

PODELESKI, Onete da Silva. Lei de Terras de 1850. Disponível em: < file:///C:/Users/M27219/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/1182-1485-2-PB.pdf>. Acesso em 4 de maio de 2018.

RODRIGUES, Pedro Parga. A Lei Hipotecária de 1864 e a Propriedade nos Oitocentos. Saberes e Práticas Científicas, 2014. Disponível em: http://www.encontro2014.rj.anpuh.org/resources/anais/28/1392044353_ARQUIVO_anpuh2014_pedroparga.pdf. Acesso em 22 de junho de 2018.

REIS, Ernesto Santana dos. Governança Agrária como política de Estado. In: Congresso Nacional dos Peritos Federais Agrários. Disponível em: <https://sindpfa.org.br/apoioSindPFA/Arquivos/II%20CNPFA/trabalhos/Ernesto%20Reis.pdf>. Acesso de 2 de junho de 2018.

ANÁLISE DAS ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE ESTRUTURAÇÃO DE DADOS GEOESPACIAIS PARA O MAPEAMENTO CADASTRAL

ALBERTO PEREIRA JORGE NETO [1]
LEANDRO LUIZ SILVA DE FRANÇA [2]
ANDREA FLÁVIA TENÓRIO CARNEIRO[1]

[1] Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
albertopgufpe@gmail.com; aftc@ufpe.br

[2] Diretoria de Serviço Geográfico - DSG
3º Centro de Geoinformação – 3º CGEO, Olinda, PE
franca.leandro@eb.mil.br

RESUMO - Embora grandes esforços venham sendo feito para o mapeamento cadastral dos municípios brasileiros com a implantação da Infraestrutura de Nacional de Dados Espaciais (INDE) e a instituição do Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais (SINTER), o Brasil pouco caminhou em termos práticos. São inúmeras as vantagens de se ter uma base cadastral atualizada, podendo ser citadas: a integração de ferramentas de gestão pública em torno de banco de dados espaciais, a interoperabilidade, a racionalização de recursos e a otimização dos registros públicos cadastrais. Este trabalho tem como objetivo analisar as seguintes Especificações Técnicas para Estruturação dos Dados Geoespaciais (ET-EDGV) : ET-EDGV SALVADOR, ET-EDGV GDF e ET-EDGV F Ter 1ª Parte. Verificou-se que as três especificações possuem modelagem que atende ao mapeamento cadastral, mas a ET-EDGV SALVADOR e ET-EDGV GDF tem a vantagem de possuir a classe parcela e seu relacionamento com classes de objetos edificações, lotes e glebas, além das informações cartoriais.

ABSTRACT - Although great efforts have been made for the cadastre mapping of Brazilian municipalities with the implementation of the National Spatial Data Infrastructure (INDE) and the institution of the National Territorial Information System Management (SINTER), Brazil has made little progress in practical terms. There are numerous advantages of having an up-to-date cadastral database, such as: the integration of public management tools around spatial databases, interoperability, resource rationalization and the optimization of cadastral public records. This work aims to analyze the following technical specifications for the Geospatial Data Structuring (ET-EDGV): ET-EDGV SALVADOR, ET-EDGV GDF and ET-EDGV F Ter. The three specifications are suitable for modeling features in cadastral scale, although the ET-EDGV SALVADOR and ET-EDGV GDF have the advantage of having the parcel class and its relationship with feature classes as buildings, lots and lands, as well as the information of the registry office.

1 INTRODUÇÃO

A discussão cadastral no Brasil, segundo Araújo (2012), ainda tem um longo caminho a percorrer, pelo fato da situação atual não atender às seis premissas do documento Cadastro 2014, publicado pela Federação Internacional dos Geômetras (FIG) em 1994, como resultado da coleta das características mais fortes dos sistemas cadastrais nos países desenvolvidos. Resumidamente, as premissas afirmavam que o cadastro deveria conter: i) o detalhamento da situação legal do solo, incluindo direitos e restrições, ii) a interligação definitiva entre dados gráficos e alfanuméricos, iii) modelos de dados cadastrais, em substituição aos tradicionais mapas cadastrais, iv) metodologias totalmente baseadas em recursos digitais, v) grande participação da iniciativa privada, e, vi) garantia de retorno de investimento, ou, em outras palavras, geração de lucro na atividade cadastral.

No decorrer destes vinte e três anos, o Brasil pouco caminhou em termos práticos para atingir tal meta e em 2010 a FIG publicou um novo conjunto de seis premissas, agora intitulado Cadastro 2034, com um novo direcionamento que certamente só poderá ser vislumbrando no cenário brasileiro quando o trabalho de base das seis primeiras estiver pelo menos iniciado. São elas: i) precisão dos levantamentos compatível com a finalidade cadastral, ii) a transição para um

modelo de objetos de propriedade, iii) implementação de Cadastro 3D e 4D, iv) atualização em tempo real, v) conectividade global entre sistemas cadastrais, e, vi) incorporação de limites naturais, sociais e difusos no cadastro.

Algumas iniciativas surgem para melhorar este cenário. A primeira corresponde à implantação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) que se encontra no Ciclo III, de 2015 até 2020, a qual prevê a consolidação do nível de adesão de Estados e Municípios. A segunda iniciativa é a publicação do Decreto número 8.764/2016 que institui o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais (SINTER), ferramenta de gestão pública que integrará, em um banco de dados espaciais, o fluxo dinâmico de dados jurídicos produzidos pelos serviços de registros públicos ao fluxo de dados fiscais, cadastrais e geoespaciais de imóveis urbanos e rurais produzidos pela União, pelos estados, pelo Distrito Federal e pelos municípios.

A produção de uma base cartográfica cadastral em concordância com a INDE e SINTER servem de referência oficial para os trabalhos de topografia, cartografia, demarcação, estudos, anteprojetos, projetos, implantação e acompanhamento de obras e engenharia em geral, bem como para controle de uso do solo do município.

A Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET – PCDG) (DSG, 2016b) define a carta cadastral como um produto que contém a representação dos acidentes naturais e artificiais da superfície terrestre, no âmbito municipal, em escala e de forma mensurável, apresentando as posições planialtimétricas destes acidentes. A abrangência deste produto é limitada à área do município, sendo a escala 1:10.000 e 1:5.000 para toda a extensão municipal, enquanto que as escalas 1:2.000 e 1:1.000 são destinadas às áreas delimitadas pelo perímetro urbano.

Hasenack et al. (2013) enfatiza que a parcela cadastral é o elemento fundamental sobre a qual é exercido o direito de propriedade. Para ele, uma carta cadastral é definida como a representação cartográfica do levantamento sistemático territorial do município. A sua função básica é representar os limites legais das parcelas territoriais e os vértices do polígono formado com as demarcações; a numeração das parcelas (identificador inequívoco para cada parcela); os limites entre setores cadastrais, distritos, municípios, estados, países; os topônimos de arruamentos e o tipo de uso atual do solo.

Considerando o plano de implantação da INDE, esta análise tem como objetivo verificar se as especificações técnicas para estruturação dos dados geoespaciais atualmente existentes no Brasil permitem que órgãos estaduais ou municipais possuam os pré-requisitos necessários para elaborar uma licitação e fiscalizar a execução ao contratar uma empresa de levantamento para o mapeamento cadastral.

2 METODOLOGIA DE TRABALHO

A análise das especificações técnicas propostas para a elaboração de cartas cadastrais foram realizadas considerando as características técnicas, feições e as normas elaboradas no Brasil.

Os aspectos estudados abordaram a modelagem conceitual, a qual define apropriadamente a estrutura empregada na aquisição e armazenamento de informações geoespaciais, viabilizando o compartilhamento de dados, a interoperabilidade e a racionalização de recursos entre os produtores e usuários de dados e informações cartográficas através de uma Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE).

Na modelagem conceitual foram analisadas as seguintes Especificações Técnicas de Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV):

- ET-EDGV SALVADOR (COINF, 2012);
- ET-EDGV GDF (SEDHAB, 2013) e;
- ET-EDGV F Ter 1ª Parte (DSG, 2016a).

A ET-EDGV 2.1.3 (CONCAR, 2008) foi homologada pela Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) em 2010 e modela fenômenos geográficos com base na análise da fisiografia do espaço geográfico brasileiro, percebido a partir da escala de 1:25.000 e menores, ou seja, esta versão não contempla estruturas de dados para o mapeamento em grandes escalas e portanto não se adequa à elaboração de cartas cadastrais, consideradas nas escalas 1:10.000 e maiores e que visam o levantamento sistemático de parcelas territoriais com a precisão prevista por Lei (HASENACK et al., 2013)

3 MODELAGENS CONCEITUAIS PARA MAPEAMENTO CADASTRAL

As ET-EDGV SALVADOR definem um padrão para a estrutura de dados geoespaciais da Prefeitura de Salvador, de forma integrada com a INDE, atendendo aos requisitos da Cartografia Cadastral.

As ET-EDGV GDF estão inseridas no contexto da construção de padrões para atender de forma integrada à Infraestrutura de Dados Espaciais do Governo do Distrito Federal (IDE-GDF) em relação à INDE, com o objetivo de atender aos requisitos da Cartografia Cadastral e possibilitar a realização de gestões para a tomada de decisões, de forma a garantir o desenvolvimento do Distrito em várias áreas do governo, de forma mais equilibrada.

As ET-EDGV F Ter 1ª Parte apresentam a modelagem de dados necessária às atividades de planejamento e execução de ações de defesa e segurança no Espaço Geográfico Brasileiro (EGB), a serem desenvolvidas pela Força Terrestre (Exército Brasileiro). Estabelece o padrão das estruturas de dados geoespaciais vetoriais de defesa e segurança para o Exército Brasileiro, viabilizando o compartilhamento de dados, a interoperabilidade e a racionalização de recursos entre os produtores e usuários de dados e informação cartográfica para as atividades de planejamento, execução de operações e inteligência (DSG, 2016a).

As três ET-EDGV seguiram a modelagem conceitual OMT-G (*Object Modeling Technique for Geographic Applications*) com a linguagem UML 2.0. (*Unified Modeling Language*) para Banco de Dados Orientado a Objetos.

3.1. Análise quanto aos tipos de geometria

Nas modelagens das três especificações as classes de objetos possuem geometrias associadas nos diagramas, sendo apresentadas por pictogramas. Na tabela 1, é apresentado o tipo de classe e a geometria que cada especificação possui.

Tabela 1: Tipos de classes e suas representações geométricas para as três especificações.

TIPO DA CLASSE / GEOMETRIA	ET-EDGV GDF	ET-EDGV SALVADOR	ET-EDGV F Ter 1ª Parte
Classe com Primitiva Geométrica Ponto / ★	SIM	SIM	SIM
Classe com Primitiva Geométrica Linha / ———	SIM	SIM	SIM
Classe com Primitiva Geométrica Polígono / ▭	SIM	SIM	SIM
Classe Genérica com Geometria Complexa, por ser composta por mais de um tipo de primitiva geométrica, ou ainda por agregar geometrias de instâncias de outras classes, cujas geometrias podem variar de tipo. / **C**	SIM	NÃO	SIM
Classe Genérica que pode assumir mais de um tipo de primitiva geométrica em função da escala de aquisição. / **G**	SIM	NÃO	SIM
Classe Convencional. Não possui geometria./ **(Conv)**	SIM	SIM	SIM
CodeList é a lista de valores pré-definidos de domínios de atributo./ **(codelist)**	SIM	SIM	SIM

Fontes: COINF (2012), SEDHAB (2013) e DSG (2016a).

3.2. Categorias na Cartografia Cadastral

As três especificações técnicas possuem modelagens que foram elaboradas para grandes escalas (1:1.000 a 1:10.000) e que estão estruturadas da seguinte forma:

ET-EDGV GDF: A Seção Cartografia Cadastral está dividida em 8 (oito) categorias de informação que são Área Verde, Cultura e Lazer, Edificações, Equipamento Urbano, Estrutura de Mobilidade Urbana, Mobiliário Urbano, Patrimônio Público e Classes Base da Cartografia Cadastral.

ET-EDGV SALVADOR: A Seção de Cartografia Cadastral está dividida em 7 (sete) categorias de informação que são Cultura e Lazer, Edificações, Equipamento Urbano, Estrutura de Mobilidade Urbana, Mobiliário Urbano e Classes Base da Cartografia Cadastral.

ET-EDGV F Ter 1ª Parte: A cartografia cadastral é representada pelos dados da seção de informação Mapeamento Topográfico em Grandes Escalas (MapTopoGE). Esta especificação foi desenvolvida baseado nos estudos da ET-EDGV Salvador, elaborada pela Secretaria de Planejamento da Prefeitura de Salvador e a ET-EDGV-DF, elaborada pela Secretaria de Habitação, Regularização e Desenvolvimento Urbano do Distrito Federal (SEDHAB). As modelagens foram elaboradas tomando por base os dados para a escala de 1:1.000 e menores. No caso da Seção MapTopoGE está dividida em 5 (cinco) categorias de informação que são Área Verde, Classes Base do Mapeamento Topográfico em Grandes Escalas, Cultura e Lazer, Edificações e Estrutura de Mobilidade Urbana.

A Tabela 2 mostra as categorias de informação da ET-EDGV-GDF para a Seção de Cartografia Cadastral. Na comparação com a ET-EDGV-SALVADOR a primeira especificação as categorias possuem as mesmas definições e uma a mais que corresponde à categoria Patrimônio Público.

Tabela 2: Categorias de informação da Cartografia Cadastral.

Categoria de Informação	Definição
Área Verde	Categoria que representa espaços urbano e rural com predomínio de vegetação, concebido com diversos propósitos.
Cultura e Lazer	Categoria que representa as áreas e edificações associadas à cultura, lazer e esporte.
Edificações	Categoria que agrupa os diferentes tipos de edificações no contexto urbano e rural.
Equipamento Urbano	Categoria que designa todos os bens públicos ou privados, de utilidade pública, destinado à prestação de serviços necessários ao funcionamento da cidade, implantados mediante autorização do poder público, em espaços públicos e privado.
Estrutura de Mobilidade Urbana	Categoria que compreende as estruturas relacionadas aos deslocamentos de pessoas e bens dentro de um espaço urbano.
Mobiliário Urbano	Categoria que agrupa objetos e pequenas construções que ocupam um espaço sobre calçadas, atendendo a um objetivo estético, funcional ou ambos.
Patrimônio Publico	Categoria que reúne o conjunto de bens materiais, históricos ou culturais que estão sob o poder do governo;
Classes Base da Cartografia Cadastral	Categoria que reúne as classes consideradas básicas e de uso comum na Cartografia Cadastral.

Fonte: DSG (2016a).

A ET-EDGV F Ter 1ª Parte em relação ET-EDGV-GDF e ET-EDGV-SALVADOR também abrangem as categorias de informação das Classes Base do Mapeamento Topográfico em Grandes Escalas (CBGE).

A tabela 3 mostra as definições das categorias de informação da Seção MapTopoGE da ET-EDGV F Ter 1ª Parte.

Tabela 3: Categorias de informação do MapTopoGE.

Categorias do MapTopoGE	Definição
Área Verde **(VER)**	Agrupa as feições que representam os espaços urbanos públicos com predomínio de vegetação.
Classes Base do Mapeamento Topográfico em Grandes Escalas **(CBGE)**	Agrupa as feições que representam as classes consideradas básicas e de uso comum no Mapeamento Topográfico em Grandes Escalas, com exceção das feições altimétricas.
Cultura e Lazer **(LAZ)**	Agrupa as feições que representam as estruturas físicas dos sistemas associados à cultura, lazer e esporte.
Edificações **(EDF)**	Agrupa as feições que representam os diferentes tipos de edificações no contexto urbano e rural.
Estrutura de Mobilidade Urbana **(EMU)**	Agrupa as feições que representam as estruturas físicas relacionadas aos deslocamentos de pessoas e bens dentro de um espaço urbano.

Fonte: DSG (2016a).

3.3 Análise das ET-EDGV quanto às classes de objetos das categorias de informação

A análise da ET-EDGV GDF, ET-EDGV SALVADOR e ET-EDGV F Ter foi realizada primeiramente selecionando as classes de objetos contidas nas categorias de informação da Cartografia Cadastral e MapTopoGE que podem ser representadas numa carta cadastral urbana.

Na Seção de Cartografia Cadastral as categorias de informação que possuem classes objetos que podem ser representadas numa carta cadastral são as seguintes: Cultura e Lazer, Edificações, Equipamento Urbano, Estrutura de

Mobilidade Urbana, Mobiliário Urbano, Patrimônio Público, Classes Base da Cartografia Cadastral e Base do Mapeamento Topográfico.

Na categoria de informação Equipamento Urbano a modelagem foi realizada utilizando a Cartografia Básica nas classes Administração Pública, Saúde e Serviço Social e na Cartografia Cadastral na categoria de informação Edificações;

Na categoria de informação Base da Cartografia Cadastral as classes que podem representar um zoneamento cadastral são os seguintes: Perímetro Urbano e Quadra.

As classes de objetos que podem representar uma parcela dentro das categorias de informação que constituem Cartografia Cadastral e MapTopoGE foram relacionadas na tabela 4. Cabe destacar, nesta tabela, que na coluna categoria de informação estão relacionadas as especificações de onde foram listadas as classes objetos e por este motivo que elas aparecem repetidas em categorias de informação diferentes.

Tabela 4: Classes de objetos que podem representam uma parcela na Cartografia Cadastral.

Categoria de Informação	Classe de Objeto
Base do Mapeamento Topográfico ET-EDGV F Ter 1ª Parte	Área de Abastecimento de Água, Área Comercial de Serviço, Área de Comunicação, Área de Propriedade Particular, Área de Desenvolvimento Social, Área de Duto, Área de Energia Elétrica, Área de Ensino, Área de Estrutura de Transporte, Área Habitacional, Área Industrial, Área Lazer, Área Religiosa, Área de Saneamento, Área de Saúde, Canteiro Central, Complexo Habitacional, Condomínio, Conjunto Habitacional, Estacionamento, Largo, Passagem Elevada de Viaduto, Passeio, Ponte, Praça, Quadra, Travessia de Pedestre, Trecho de Arruamento, Trecho Rodoviário.
Cultura e Lazer ET – EDGV – GDF, ET – EDGV – SALVADOR ET-EDGV F Ter 1ª Parte	Área Lazer, Área Religiosa, Área de Ruínas, Autódromo, Campo de Aeromodelismo, Campo de Golfe, Clube Social, Complexo Desportivo, Complexo Desportivo e Lazer, Complexo Recreativo, Hípica, Hipódromo, Jardim Botânico, Jardim Zoológico, Kartódromo, Largo, Marina, Organização Religiosa, Parque Aquático, Parque Temático, Parque Urbano, Pesque e Pague, Praça e Sitio Arqueológico.
Estrutura de Mobilidade Urbana ET – EDGV – GDF, ET – EDGV – SALVADOR ET-EDGV F Ter 1ª Parte	Acesso, Arruamento, Ciclovia, Escadaria, Entroncamento, Rampa, Terminal Ferroviário, Terminal Hidroviário, Terminal Rodoviário, Terminal Metroviário, Travessia de Pedestre, Trecho de Arruamento e Trecho de Metrô.
Mobiliário Urbano ET – EDGV – GDF,	Academia de Esporte Público
Patrimônio Público ET – EDGV – GDF,	Área dominial, Faixa de domínio de arruamento, Faixa de domínio de curso de massa d'água, Faixa de domínio de ferrovia, Faixa de domínio de rodovia e Terra pública;
Base da Cartografia Cadastral ET – EDGV – GDF, ET – EDGV – SALVADOR	Área de Comércio e Serviço, Área de Propriedade Particular, Área de Duto, Área de Ensino, Área Habitacional, Área de Lazer, Área Pública Civil, Área Pública Militar, Área Religiosa, Área de Ruínas, Área de Saúde, Área de Serviço Social, Calçada, Canteiro Central, Complexo Habitacional, Condomínio, Conjunto Habitacional, **Entroncamento**, Estacionamento, Gleba, Lote, Passagem Elevada ou Viaduto, Ponte, Travessia de Pedestre, Trecho de Arruamento, Trecho Rodoviário, Túnel, Arruamento Estação Ferroviária, Faixa de Domínio de Arruamento, Faixa de Domínio de Metrovia, Lote, Meio-fio e Parcela;

Fontes: COINF (2012), SEDHAB (2013) e DSG (2016a).

As classes de objetos que podem ser utilizadas como feição edificação para uma carta cadastral dentro das categorias de informação que constituem Cartografia Cadastral e MapTopoGE foram relacionadas na tabela 5. Cabe destacar, nesta tabela, que na coluna categoria de informação estão relacionadas as especificações de onde foram listadas as classes objetos.

Tabela 5: Classes de objetos que podem representar edificações na Cartografia Cadastral.

Categoria de Informação	Classe de Objeto
Cultura e Lazer ET – EDGV – GDF ET – EDGV – SALVADOR ET-EDGV F Ter 1ª Parte	Campo / Quadra, Piscina, Pista de Competição, Ruina e Velódromo;
Edificações ET – EDGV – GDF ET – EDGV – SALVADOR ET-EDGV F Ter 1ª Parte	Banheiro Público, Delegacia de Polícia, Edificação, Edificação de Abastecimento de Água, Edificação Agropecuária, de Extrativismo Vegetal ou Pesca, Edificação de Comércio ou Serviços, Edificação de Comunicação, Edificação ou Construção Aeroportuária, Edificação ou Construção de Estação de Medição de Fenômenos, Edificação ou Construção de Lazer, Edificação ou Construção Turística, Edificação ou Construção Portuária, Edificação de Desenvolvimento Social, Edificação de Energia, Edificação de Ensino, Edificação de Extrativismo Mineral, Edificação Habitacional, Edificação Industrial, Edificação Metro-Ferroviária, Edificação de Polícia, Edificação Pública Civil, Edificação Pública Militar, Edificação Religiosa, Edificação Residencial, Edificação Rodoviária, Edificação de Saneamento, Edificação de Saúde, Edificação de Serviço Social, Equipamento de Desenvolvimento Social, Posto de Combustível, Pavimento, Posto Fiscal, Posto da Guarda Municipal, Posto da Polícia Rodoviária, Posto da Polícia Militar e Representação Diplomática.

Fontes: COINF (2012), SEDHAB (2013) e DSG (2016a).

Convém destacar que na ET-EDGV GDF e ET-EDGV SALVADOR na sessão da Cartografia Temática algumas classes que podem compor uma carta cadastral.

Na Categoria de Informação Endereçamento as Classes Objetos que podem representar uma parcela ou zoneamento cadastral são as seguintes: Conjunto, Gleba, Trecho de Logradouro, Logradouro, Lote e Parcela;

Na Cartografia Temática na Categoria de Informação Rede de Drenagem para a ET-EDGV GDF e na Categoria Hidrografia para a ET-EDGV SALVADOR as Classes Objetos que podem representar uma parcela são os seguintes: Elemento Hidrográfico, Fluxo de Drenagem e Trecho Fluxo de Drenagem.

3.4 Análise quanto a classe Objeto Parcela

A Classe Objeto Parcela, que é a principal feição para a elaboração de uma carta cadastral, integra a modelagem destas especificações da seguinte forma:

ET-EDGV GDF:

a) A Classe Objeto Parcela foi utilizada na Cartografia Cadastral nas Categoria de Informação Classes Base da Cartografia Cadastral, Patrimônio Público e Edificações e;

b) Na Categoria de Informação Base da Cartografia Cadastral

- Uma ou mais Classe Objeto Parcela possui relação de composição espacial com zero ou mais com a Categoria de Informação Área Verde e com as Classes Objetos Área de Comércio e Serviço, Área Religiosa, Área de Ensino, Área de Lazer, Área de Ruínas, Área Habitacional, Área de Duto, Área de Propriedade Particular;
- Uma ou mais Classe Objeto Parcela possui relação de composição espacial com zero ou mais com as Classes Objetos da Cartografia Básica que são os seguintes: Área Agropecuária de Extrativismo Vegetal e Pesca, Área de Extração Mineral, Área Industrial, Área Especial, Área de Comunicação, Área de Energia Elétrica, Área de Estrutura de Transporte, Área de Saneamento, Área de Abastecimento de Água, Cemitério, Área úmida, Alteração Fisiográfica e Antrópica e Elemento Fisiográfico Natural de Área;
- Possui relacionamento de especialização com as Classes Objetos Lote e Gleba; e
- Todas as Classes Objetos pertencentes a Categoria de Informação Edificação possui o relacionamento de zero ou mais e estão dentro de uma Classe Objeto Parcela.

c) Na Categoria de Informação Edificações a Classe Objeto Parcela possui relacionamento com a Classe Objeto Edificação Geral que por sua vez, como Classe Objeto principal, possui relação única agregada ou agregada composta com todas as Classes Objetos desta Categoria de Informação.

d) Na Categoria de Informação Patrimônio Público

- Zero ou mais Classe Objeto Parcela encontra-se agregada a zero ou uma Classe Objeto Área Especial pertencente a Cartografia Básica; e
- Todas as Classes Objetos pertencente a Categoria de Informação Edificação possuem o relacionamento de zero ou mais e estão dentro de uma Classe Objeto Parcela.

ET-EDGV SALVADOR:

a) A Classe Objeto Parcela foi utilizada na Cartografia Cadastral, nas Categorias de Informação Edificações e Base da Cartografia Cadastral e na Cartografia Temática na Categoria de Informação Endereçamento;

b) Na Categoria de Informação Edificações a Classe Objeto Parcela possui relacionamento com a Classe Objeto Edificação Geral que por sua vez, como Classe Objeto principal, possui relação única agregada ou agregada composta com todas as Classes Objetos desta Categoria de Informação;

c) Na Categoria de Informação Classe Base da Cartografia Cadastral

- Uma ou mais Classe Objeto Parcela possui relação de composição espacial com zero ou mais com a Categoria de Informação Área Verde e com as Classes Objetos Área de Comércio e Serviço, Área Religiosa, Área de Ensino, Área de Lazer, Área de Ruínas, Área Habitacional, Área de Duto, Área de Propriedade Particular;
- Uma ou mais Classe Objeto Parcela possui relação de composição espacial com zero ou mais com as Classes Objetos da Cartografia Básica que são os seguintes: Área Agropecuária de Extrativismo Vegetal e Pesca, Área de Extração Mineral, Área Industrial, Área Especial, Área de Comunicação, Área de Energia Elétrica, Área de Estrutura de Transporte, Área de Saneamento, Área de Abastecimento de Água, Cemitério, Área úmida, Alteração Fisiográfica e Antrópica e Elemento Fisiográfico Natural de Área;
- Possui relacionamento de especialização com as Classes Objetos Lote e Gleba; e
- Todas as Classes Objetos pertencentes a Categoria de Informação Edificação possuem o relacionamento de zero ou mais estão dentro de uma Classe Objeto Parcela.

d) Na Categoria de Informação Endereçamento

- Uma ou mais Classe Objeto Parcela possui relação de composição espacial com zero ou mais com as Classes Objetos Área Habitacional e Área de Propriedade Particular;
- Uma ou mais Classe Objeto Parcela possui relação de composição espacial com zero ou mais com as Classes Objetos da Cartografia Básica que são os seguintes: Área Agropecuária de Extrativismo Vegetal e Pesca, Área de Extração Mineral, Área Industrial, Área de Comércio e Serviço, Área de Comunicação, Área de Energia Elétrica, Área de Estrutura de Transporte, Área de Saneamento, Área de Abastecimento de Água, Cemitério, Área úmida, Alteração Fisiográfica e Antrópica, Elemento Fisiográfico Natural de Área e Área de Duto;
- Uma ou mais Classe Objeto Parcela possui relação de composição espacial com zero ou mais com as Classes Objetos da Cartografia Cadastral que são os seguintes: Área Religiosa, Área de Ensino, Área de Lazer, Área de Ruínas e Área Verde
- Possui relacionamento de especialização com as Classes Objetos Lote e Gleba; e
- Todas as Classes Objetos pertencentes a Categoria de Informação Edificação possuem o relacionamento de zero ou mais e estão dentro de uma Classe Objeto Parcela.

e) A Classe Objeto Parcela possui a geometria polígono e como atributo o código identificador único e área legal, porém não consta uma relação com uma Rede de Referência Geodésica que permite a materialização de uma área legal.

ET-EDGV F Ter 1ª Parte:

A parcela não consta como Classe Objeto nesta modelagem.

3.5 Atributos da Classe Objeto Parcela na ET-EDGV GDF e ET-EDGV SALVADOR

A Classe Objeto Parcela na ET-EDGV GDF possui geometria genérica enquanto que na ET-EDGV SALVADOR possui a geometria de polígono e com um atributo a mais, o areaLegal, conforme mostra as tabelas 6 e 7.

A Classe Objeto Parcela para a ET-EDGV GDF é descrita conforme a tabela 6 a seguir:

Tabela 6: Descrição da classe parcela.

Classe	**Descrição**		**Código**	**Geometria**
Parcela	Parcela é o resultado de uma operação de loteamento ou desmembramento realizado em áreas urbanas ou de expansão urbana, pelo Estado ou por particulares, observadas as disposições legais pertinentes.		3.8.27	G
Atributo	Tipo (tamanho)	Descrição	Domínio	Requisito
geometriaAproximada	Booleano	Indica que a geometria adquirida é aproximada em relação à escala prevista para o produto cartográfico.	-	1
numeroSequencial	Inteiro	Indica o número sequencial do lote.	A ser preenchido	0..1
numeroMetrico	Inteiro	Indica o número de um sistema de referência arbitrário, em metros.	A ser preenchido	0..1
numeroKilometrico	Real	Indica o número de um sistema de referência arbitrário, em quilômetros.	A ser preenchido	0..1
codiIdentificadorUnico	Alfanumérico (50)	Indica o Código Identificador do lote	A ser preenchido	0..1
areaLegal	Real	Indica a área legal do lote.	A ser preenchido	0..1
cep	Inteiro (8)	Indica o Código de Endereçamento Postal (CEP)	Oito números	0..1

Fonte: SEDHAB (2013).

A Classe Objeto Parcela para a ET-EDGV SALVADOR é descrita conforme a tabela 9 a seguir:

Tabela 7: Descrição da classe parcela.

Classe	**Descrição**		**Código**	**Geometria**
Parcela	Parcela é o resultado de uma operação de loteamento ou desmembramento realizado em áreas urbanas ou de expansão urbana, pelo Estado ou por particulares, observadas as disposições legais pertinentes.		3.7.17	□
Atributo	Tipo (tamanho)	Descrição	Domínio	Requisito
geometriaAproximada	Booleano	Indica que a geometria adquirida é aproximada em relação à escala prevista para o produto cartográfico.	-	1
numeroSequencial	Inteiro	Indica o número sequencial do lote.	A ser preenchido	0..1
numeroMetrico	Inteiro	Indica o número de um sistema de referência arbitrário, em metros.	A ser preenchido	0..1
numeroKilometrico	Real	Indica o número de um sistema de referência arbitrário, em quilômetros.	A ser preenchido	0..1
codiIdentificadorUnico	Alfanumérico (50)	Indica o Código Identificador do lote	A ser preenchido	0..1
cep	Inteiro (8)	Indica o Código de Endereçamento Postal (CEP).	Oito números	0..1
areaLegal	Real	Indica a área legalizada da parcela.	A ser preenchido	0..1

Fonte: COINF (2012).

Quanto a Classe Objeto Parcela nas tabelas 6 e 7, foram observados que a Parcela é descrita como o resultado de uma operação de loteamento ou desmembramento realizada em áreas urbanas ou de expansão urbana, pelo Estado ou por

particulares, observadas as disposições legais pertinentes. Esta definição pode ser mudada para Parcela é o resultado de uma operação de parcelamento que pode ser conceituado como divisão geodésico-jurídica de um terreno, uma vez que por meio dele se divide o solo e, concomitantemente, o respectivo direito de propriedade, formando-se novas unidades, propriedades fisicamente menores, mas juridicamente idênticas (PAULA NETO, 2014). Cabe destacar que na ET – EDGV – SALVADOR 2012 a Classe Objeto Parcela foi utilizada na modelagem como uma classe abstrata, portanto não instanciável.

O atributo geometria aproximada está definido na coluna descrição como: "indica que a geometria adquirida é aproximada em relação à escala prevista para o produto cartográfico" e na coluna requisito o número 1(um), que representa verdadeiro, ou seja, deve ser descrito nos metadados deste produto o processo de aquisição e os insumos utilizados que irão influenciar na determinação da acurácia posicional e do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). No caso da carta cadastral este atributo é importante, pois permite avaliar se a geometria adquirida para a parcela representa o limite físico ou legal;

O atributo codidentificadorUnico na coluna descrição está escrito "código identificador do lote". No caso da carta cadastral a descrição deveria ser código identificador da parcela; e

O atributo areaLegal na coluna descrição está escrito " área legal do lote". No caso da carta cadastral a descrição deveria ser área legal da parcela.

A Categoria de Informação Edificações contém a Classe Objeto Registro Cartorial que está relacionado com a Classe Objeto Subunidade que, por sua vez, encontra-se relacionado com a Classe Objeto Edificações;

A Classe Objeto Marco de Limite possui relação com as Classes Objetos da Categoria de Informação Patrimônio Público, e que neste caso inclui a Classe Objeto Parcela.

Verifica-se que nestas especificações existe a preocupação com o aspecto legal, conforme a descrição dos atributos na tabela 8 da Classe Objeto Registro Cartorial.

Tabela 8: Descrição da classe de objeto registro cartorial.

Classe	**Descrição**		**Código**	**Geometria**
Registro_Cartorial	Registro cartorial tem por fim específico dar publicidade à situação jurídica de um móvel.		3.3.36	G
Atributo	Tipo (tamanho)	Descrição	Domínio	Requisito
codLogradouro	Inteiro	Código do logradouro	-	1
areaLegal	Real	Área legal constante do registro	A ser preenchido	1
dataRegistro	Alfanumérico (10)	Data em que ocorreu o registro cartorial	A ser preenchido	1
matricula	Alfanumérico (50)	Certidão de matrícula do imóvel	A ser preenchido	1
registro	Alfanumérico (50)	Número do registro cartorial	A ser preenchido	1
livroFicha	Alfanumérico (50)	Número ou nome do livro que está registrada a subunidade.	A ser preenchido	1
numMetrico	Inteiro	Número de um sistema de referência arbitrário.	A ser preenchido	0..1
bloco	Alfanumérico (50)	Número ou nome do bloco	A ser preenchido	0..1
numSubUnidade	Inteiro	Número da subunidade	A ser preenchido	0..1
Bairro	Alfanumérico (50)	Bairro que consta no registro, ser for o caso	A ser preenchido	0..1
cep	Inteiro (8)	Código de Endereçamento Postal (CEP)	Oito dígitos	0..1

Fontes: COINF (2012) e SEDHAB (2013).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As três especificações correspondem a modelagens de uma carta topográfica em escala cadastral, possuindo classes de objetos que, em geral, fornecem subsídios para representar áreas urbanas em escala cadastral.

A ET-EDGV GDF e A ET-EDGV SALVADOR tem a vantagem de possuir classes de objetos e atributos que podem ser utilizados no mapeamento cadastral, devido principalmente à existência da classe parcela e seu relacionamento com classes de objetos edificações, lotes e glebas, além das informações cartoriais.

As classes de objetos das três especificações técnicas, considerando a elaboração de uma carta cadastral, se forem adquiridas por geometria aproximada definem o limite físico de uma parcela cadastral e de suas respectivas edificações.

Na ET-EDGV GDF a modelagem da Categoria de Informação de Patrimônio Público, constata-se uma das características da parcela, que corresponde a necessidade de estabelecer uma relação com uma Rede de Referência Geodésica, no caso a classe objeto Marco de Limite.

No caso da ET-EDGV SALVADOR ao considerar as características de uma parcela é necessário estabelecer na modelagem uma relação com uma rede de referência geodésica para permitir a materialização dos limites de uma área legal.

7. CONCLUSÃO

Na análise das ET-EDGV verificou-se que as modelagens foram projetadas para atender a elaboração de cartas cadastrais, possuindo classes de objetos e atributos que permitem serem utilizados como subsídio para a confecção de uma modelagem de acordo com as necessidades do cadastro técnico multifinalitário.

As ET-EDGV Salvador e ET-EDGV – GDF estabelecem o relacionamento parcela, lote, registro de cartório e limite que no caso é físico, mas que pode coincidir com o limite legal ou de posse. No caso destas especificações verificou-se uma importância maior para a classe objeto lote em vez da classe objeto parcela, isto acontece porque, conforme LOCH e ERBA (2007), no contexto brasileiro utilizam-se comumente os termos lote, para se referir à unidade de registro do Cadastro Urbano, e propriedade rural para o caso do Cadastro rural. No entanto, consultando a literatura internacional que trata de Cadastro, percebe-se uma forte convergência no termo parcela para se referir à unidade de registro, pois é utilizado também em outros idiomas latinos e saxões: *parcel* (inglês), *pacelle* (francês), *particella* (italiano).

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. L. de. Uma Breve Análise de Editais de Cartografia Urbana no Brasil. **IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife - PE, p. 001-005, mai. 2012.

BRASIL. **Decreto nº 8764, de 10 de maio de 2016**. Institui o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais (SINTER) e regulamenta o disposto no art. 41 da Lei nº 11.977, de 7 de julho de 2009.

CINDE - COMITÊ DE PLANEJAMENTO DA INFRAESTRUTURA NACIONAL DE DADOS ESPACIAIS. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão - Comissão Nacional de Cartografia. **PA-INDE - Plano de Ação para Implantação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais**. Rio de Janeiro -RJ: CONCAR, 2010. 205 p.

COINF - COORDENADORIA CENTRAL DE INFORMAÇÕES. Prefeitura Municipal de Salvador -Secretaria de Desenvolvimento Urbano, Habitação e Meio Ambiente. **Especificação Técnica para a Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais da Prefeitura de Salvador ET-EDGV - Salvador**. Salvador - BA: [s.n.], 2012. 150 p.

CONCAR - Comissão Nacional de Cartografia. **Especificação Técnica para a Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV)**. Versão 2.1.3. Brasília, DF, 2008.

DSG - DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO. Ministério da Defesa - Exército Brasileiro – Departamento de Ciência e Tecnologia. **Norma da Especificação Técnica Para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais de Defesa da Força Terrestre ET EDGV Defesa F Ter 1a Parte**. 1ª Edição. ed. Brasília -DF: Diretoria de Serviço Geográfico – DSG, 2015. 385 p.

DSG - DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO. Ministério da Defesa - Exército Brasileiro – Departamento de Ciência e Tecnologia. **Norma da Especificação Técnica Para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais de Defesa da Força Terrestre ET EDGV Defesa F Ter 1a Parte**. 2ª Edição. ed. Brasília -DF: Diretoria de Serviço Geográfico – DSG, 2016a.

DSG - DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO. Ministério da Defesa - Exército Brasileiro – Departamento de Ciência e Tecnologia. **Norma da Especificação Técnica para Produtos do Conjunto de Dados Geoespaciais ET PCDG**. 2ª Edição. ed. Brasília -DF: Diretoria de Serviço Geográfico – DSG, 2016b.

HASENACK, Markus; CABRAL, Cesar Rogério; PHILIPS, Jürgen Wilhelm. A Percepção da Carta Cadastral no Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 65/2, 2013.

LOCH, C.; ERBA, D. A. **Cadastro Técnico Multifinalitário Rural e Urbano.** 4ª Edição. ed. Cambridge, MA, USA. Lincoln Institute Of Land Policy, 2007. 146 p.

PAULA NETO, Leonel Euzébio. **Contribuição para o parcelamento do solo urbano baseado no cadastro territorial multifinalitário**. Tese de Doutorado. UFSC. 2014.

SEDHAB - SECRETARIA DE HABITAÇÃO, REGULARIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO URBANO DO DISTRITO FEDERAL. Governo do Distrito Federal. **Especificações Técnicas para a Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais do Governo do distrito Federal ET-EDGV GDF**. Brasília -DF: [s.n.], 2013. 191 p.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

ANÁLISE ESPACIAL DAS OUTORGAS E SUA RELAÇÃO COM AS ÁREAS IRRIGADAS POR PIVÔS CENTRAIS NO MUNICÍPIO DE CORRENTINA/BA.

DANIEL JUNQUEIRA DE MORAIS MUNHOZ
LÍDIA CAMPOS
CRISTIANO ALVES BORGES

Universidade Federal da Bahia - UFBA
Departamento de Engenharia de Transporte e Geodésica (DETG), Salvador, BA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPEC
Linha de pesquisa: Informações Espaciais
djmmunhoz@gmail.com, lidiaccampos@mail.com, cborges1978@hotmail.com

RESUMO - O conflito por água se acirra cada vez mais em diversas partes do mundo. Correntina/BA, integrante do Matopiba, tem se tornado palco de conflitos pelo uso da água, e é uma região de grande expansão da agricultura irrigada. Esse estudo visou apresentar um panorama das outorgas ao relacioná-las com os pivôs centrais. Os resultados mostraram que existem 31 outorgas válidas até o dia 26/11/2018, que totalizam uma vazão 537.417,94 m³/dia, para serem utilizadas nos pivôs centrais. Entretanto apenas 61,22 % dessa vazão foi identificada em uso no mês de setembro de 2018. Para as águas superficiais, 42,70% da vazão outorgada não foi utilizada e para as águas subterrâneas 19,28%. Isso demostra a alocação ineficiente dos recursos hídricos entre seus múltiplos usuários, ocorrendo expressivas reservas de águas. Essa imobilização e não utilização das vazões outorgadas dificulta a emissão de novas outorgas para outros irrigantes, instigando-os a captações irregulares. Além disso, detectamos que a região centro-norte do município precisa de maior atenção nas concessões de novas outorgas e no planejamento dos recursos hídricos haja vista a maior concentração de outorgas e de pivôs. Esse estudo desperta a necessidade de buscar mecanismos de correções das distorções entre o custo social e o custo privado, levando-se em conta o custo de oportunidade da água outorgada.

ABSTRACT Conflict over water is increasing in many parts of the world. Correntina / BA, a member of Matopiba, has become the scene of conflicts over the use of water, and it is a region of great expansion of irrigated agriculture. This study aimed to present an overview of the water grants by relating them to the central pivots. The results showed that there are 31 water grants valid until November 26, 201, which total a flow of 537,417.94 m³ / day, to be used in the central pivots. However, only 61.22% of this flow was identified in use in September 2018. For surface waters, 42.70% of the flow rate was not used and for groundwater 19.28%. This demonstrates the inefficient allocation of water resources among its multiple users, occurring expressive water reserves. This immobilization and non-use of the flows granted make it difficult to issue new grants to other irrigators, instigating them to irregular funding. In addition, we detected that the central-north region of the municipality needs greater attention in the concessions of new grants and in the planning of water resources, given the greater concentration of grants and pivots. This study raises the need to seek mechanisms to correct distortions between social cost and private cost, taking into account the opportunity cost of water granted.

1 INTRODUÇÃO

A nova fronteira agrícola brasileira e baiana, região denominada como "Matopiba" (a qual possui Plano de Desenvolvimento Agropecuário, instituído pelo Decreto Presidencial 8.447 de 06 de maio de 2015), está localizada sobre os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, e compreende a ocupação pelo agronegócio de 73 milhões de hectares, sendo 91% (67 milhões) sobre o bioma Cerrado (MIRANDA; CARVALHO, 2015). Essa região possui clima com as estações bem definidas (seca de abril a setembro e chuvas de outubro a março) e graças a irrigação, o risco da produção diminui, chegando a garantir mais de uma safra por ano.

A região oeste da Bahia, integrante do Matopiba, localiza-se em cima do sistema aquífero do Urucuia , o que favorece a agricultura irrigada em função da disponibilidade de água, tanto no subsolo quanto na superfície. A irrigação supri a deficiência total ou parcial de água para as culturas agrícolas, proporcionando um aumento de produtividade, e sendo apontada como a principal fonte de captação da água disponível nos mananciais. A região do oeste da Bahia utiliza principalmente polos de irrigação por pivôs centrais por exigir menos mão-de-obra e pela possibilidade de obter alta eficiência de aplicação e distribuição de água (LANDAU et al. 2014). Entretanto, a agricultura irrigada demanda o uso de grande volume d'água e energia, gerando impactos adversos ao meio ambiente, à qualidade do solo e da água, à saúde pública e ao aspecto socioeconômico da região (LANDAU et al. 2014).

Nos últimos 30 anos o município de Correntina passou de 30 mil hectares para os atuais 371 mil hectares plantados, sendo polo de emprego para cerca de 20 cidades (NORDESTE RURAL 2018). O Cerrado do Estado da Bahia apresenta condições muito favoráveis para a exploração agrícola e pecuária e este setor vem crescendo em grande escala na região. A velocidade desse crescimento torna difícil o monitoramento do uso dos recursos hídricos e da ocupação do solo, já que a demanda de vistoria técnica é maior do que a capacidade de fiscalização. Neste sentido, sistemas de inteligência geográfica que indiquem e orientem onde o esforço de campo deve ser direcionado tem o poder de potencializar os mecanismos de preservação do meio ambiente e dos recursos hídricos da região.

A irrigação é imprescindível em regiões onde a segurança produtiva é bastante afetada pela escassez de água em certos períodos específicos do ano; algumas culturas e safras só são viabilizadas com a aplicação suplementar de água nesses períodos. Entretanto, estratégias e políticas públicas para promover o aumento da produtividade agrícola devem considerar restrições relacionadas com a disponibilidade e conflitos de uso da água das bacias hidrográficas em que estão inseridas.

O aumento da pressão pelo uso da água vem causando sérios conflitos entre os seus usuários, e em muitos casos a água é o fator limitante para o desenvolvimento sustentável. Logo a gestão dos recursos hídricos e a organização produtiva são estratégias para promover o aumento da produção e produtividade agrícola, baseadas no acréscimo de áreas irrigadas com eficiência alocativa entre os irrigantes. O custo social do preço de reserva ou do custo de oportunidade da água é minimizado pela eficiência técnica e alocativa conjuntamente.

1.1 Objetivo geral

Analisar a situação da agricultura irrigada por pivôs centrais em Correntina e relacionar as informações interpretadas dos dados de outorgas, em vigência, com os pivôs centrais visualizados nas cenas de setembro/2018 do satélite Landasat8.

1.2 Objetivos específicos

a) Verificar se as outorgas para os pivôs centrais estão sendo utilizadas.
b) Identificar áreas com pivôs centrais irregulares e estimar o volume de água captada sem outorga.
c) Visualizar a distribuição espacial das outorgas e dos pivôs centrais.

1.3 Legislação aplicada aos recursos hídricos

A lei federal que rege os recursos hídricos é a de número 9.4333 de 1997, e no nível estadual é a Lei n° 11.612 de 2009, que dispões sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. No estado da Bahia a outorga é regida pela instrução normativa n° 01, de 27 de fevereiro de 2007. Este documento determina que cada usuário só pode captar até 20% da Q90 (vazão mínima esperada em 90% do tempo) e o somatório das captações no trecho só pode atingir 80% da Q90 quando não houver barramento.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1 Descrição da área de estudo

O município de Correntina, localizado no oeste da Bahia, apresenta cerca de 12.142,427 km² (PREFEITURA DE CORRENTINA 2018), estando localizado em cima do aquífero Urucuia, na bacia do Rio Corrente. Existem diversos corpos hídricos no município, tais como os rios Corrente, Arrojado, Santo Antônio, Guará e Rio do Meio. O clima de Correntina é tropical seco, com chuvas concentradas no verão e pouca precipitação registrada no inverno. De acordo com a Köppen e Geiger, o clima é classificado como Aw, com temperatura média anual em torno de 23.9 °C e pluviosidade média anual de 939 mm (CLIMATE-DATA.ORG 2018).

2.2 Mineração de dados

Foi feito um levantamento das portarias publicadas no Diário Oficial do Estado da Bahia onde constam as publicações das autorizações, renovações, transferências e ampliação das outorgas de captação das águas superficiais e subterrâneas. Nas portarias constam várias informações, tais como o número do processo do requerimento, a área e a vazão outorgada, as coordenadas das captações, etc. O número do processo foi utilizado para consultar o Sistema Estadual de Informações Ambientais e Recursos Hídricos (SEIA), do Estado da Bahia, a fim de obter maiores informações dos requerimentos das outorgas para irrigação, como a área e a vazão requerida, as plantas dos pivôs centrais e os projetos agronômicos.

2.3 Dados de outorgas

Caracterização das outorgas no município de Correntina

A partir do levantamento realizado foram identificadas e espacializadas 54 outorgas vigentes até 26/11/2018 no município de Correntina/BA.

Quadro 1: Distribuição das outorgas por tipo de uso, vigentes até 26/11/2018 no município de Correntina/BA.

%	n°	USO	Q captação (m³/dia)	%
3,7	2	Abastecimento humano.	25,74	0,005%
3,7	2	Abastecimento humano e dessedentacao animal.	200,63	0,036%
3,7	2	Abastecimento humano e pulverização agrícola.	82,75	0,015%
13,0	7	Abastecimento Humano, Animal e pulverização agrícola.	33,84	0,006%
1,9	1	Abastecimento humano, dessedentacao animal e pulverização agrícola.	82,75	0,015%
3,7	2	Abastecimento industrial.	19.380,00	3,430%
3,7	2	Intervenção.	0,00	0,000%
66,7	36	Irrigação.	545.307,91	96,505%
100%	54	Total	565.056,62	m³/dia

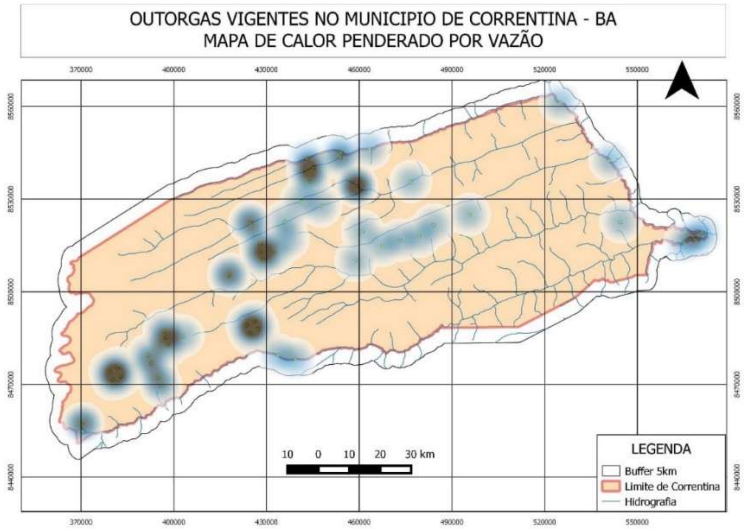
Quadro 2: Outorgas para captações vigentes até 26/11/2018 no município de Correntina/BA.

	Números	%	Vazão (m³/dia)	%
Total	52	100	565.056,62	100
Superficial	19	36,54	447.970,08	79,28
Subterrânea	33	63,46	117.086,54	20,72

Quadro 3) Outorgas de captação para irrigação (todos os tipos) vigentes até 26/11/2018 no município de Correntina/BA.

	Números	% (do total das 52 outorgas)	Vazão (m³/dia)	%
Total	36	69,23	545.307,91	96,51
Superficial	17	32,69	428.590,08	75,85
Subterrânea	19	36,54	116.717,83	20,66

Figura 1: Mapa de calor das 54 outorgas vigentes até 26/11/2018.

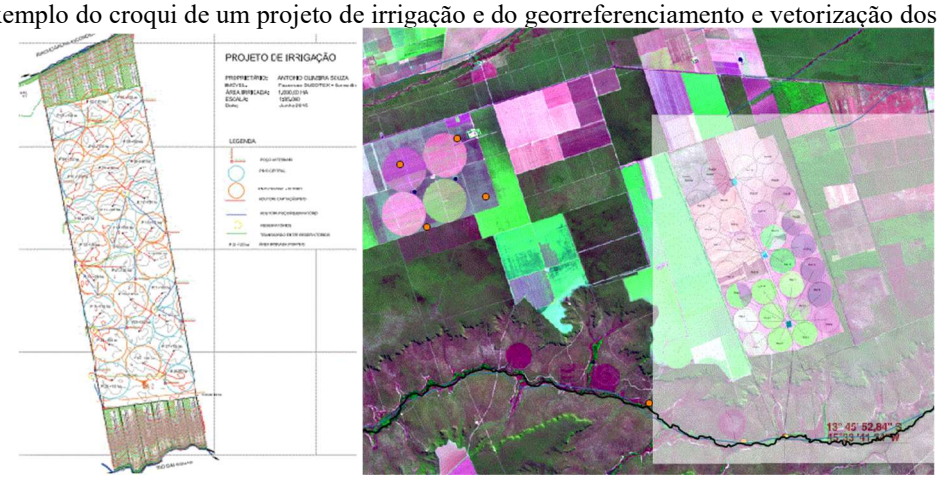


2.4 Pivôs Centrais

2.4.1. Vetorização dos pivôs centrais incluídos nos processos de requerimento de outorga

A partir das plantas dos pivôs centrais existentes nos projetos agronômicos anexados aos processos de requerimento das outorgas, gerou-se um arquivo vetorial (shapefile) a partir da vetorização dos 135 pivôs solicitados em 18 processos identificados de requerimentos de outorgas para irrigação por pivôs centrais no município de Correntina, de 2014 até agosto de 2018. Utilizou-se o algoritmo do georreferenciador e a ferramenta string circular do software QGIS 2.18.20 para vetorizar as plantas dos pivôs centrais anexados aos processos agronômicos.

Figura 2: Exemplo do croqui de um projeto de irrigação e do georreferenciamento e vetorização dos pivôs centrais



2.4.2. Vetorização dos pivôs centrais identificados nas imagens do satélite

Forma identificados 130 pivôs centrais nas imagens do satélite Landsat-8 (instrumento OLI) a partir da composição das bandas 6, 5, 2, nos canais de cor RGB, respectivamente. As cenas utilizadas foram das órbitas/pontos 220/69, 220/70 e 219/69 obtidas no mês de setembro. Essas cenas juntas cobrem o município de Correntina, e partir delas os pivôs centrais foram vetorizados (com a ferramenta string circular). Logo criou-se o arquivo vetorial (shapelile) dos pivôs identificados nas imagens e sua área foi de 12.640 hectares.

2.4.3. Áreas e pivôs centrais outorgados.

A partir da área de irrigação por pivôs centrais autorizadas nas portarias publicadas no Diário Oficial do Estado da Bahia, o número e a área de pivôs centrais solicitados foram adequadas para o número e a área de pivôs centrais outorgados. O número de pivôs outorgados foi calculado conforme o exemplo a seguir:
Ex: Irrigante solicitou 500 hectares para 5 pivôs de 100 ha. INEMA outorgou 360 hectares. Nesse caso, o número de pivôs outorgados será 4.
(3 pivôs x 100 há) + (1 pivô x 60 ha) = 360 hectares.

2.4.4. Pivôs outorgados visualizados (instalados).

Com a operação de Geoprocessamento do software QGIS 2.18.20 foi feito a intersecção do shapefile dos pivôs identificados nas imagens do satélite com o shapefile dos pivôs outorgados, logo gerou-se o shapefile dos pivôs outorgados e instalados, denominado VERDE.

2.4.5. Pivôs outorgados e não visualizados (não instalados).

Com a operação de Geoprocessamento do software QGIS 2.18.20 foi feito a diferença do shapefile dos pivôs outorgados com o shapfile VERDE, logo gerou-se o shapefile dos pivôs outorgados e não vistos (AMARELO). Essas áreas correspondem aos pontos que possuem outorgas para irrigação, mas estão sem pivôs.

2.4.6. Pivôs sem outorgas identificadas.

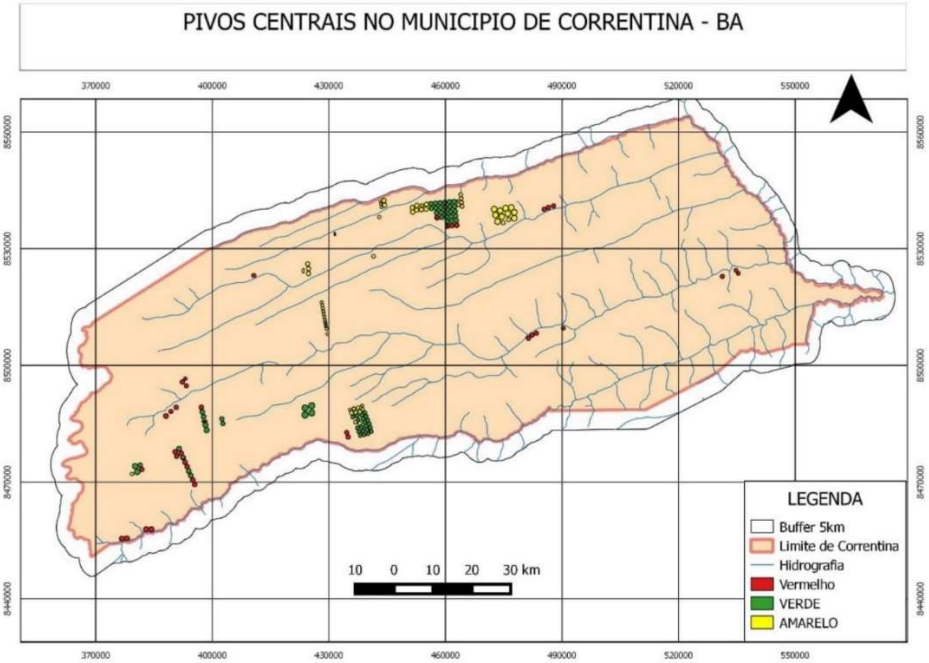
São os pivôs identificados nas cenas que prescindem de outorgas. Foram identificados através da operação de Geoprocessamento do software QGIS 2.18.20 feito a partir da diferença do shapefile de todos os pivôs identificados nas cenas menos o shapefile VERDE (outorgados e vistos).

Sabendo-se que 1mm é igual a 1 litro por metro quadrado, então 1mm = 10 m³/hectare. A vazão (m³/dia) é obtida pela multiplicação da área vezes a lâmina outorgada vezes 10, para efeitos de unidades.
Ou seja, para cada portaria publicada, consta a área e a vazão outorgada, logo a lâmina outorgada por processo (por portaria) é igual:

$$\text{Lâmina (mm)} = Q\ (m^3/ha) / ha / 10 \qquad (1)$$

A vazão considerada captada irregularmente é igual a lâmina média outorgada, de 4,12 mm, vezes a área identificada com pivôs centrais sem outorgas, multiplicado por 10 para efeitos de conversão de unidades.
Vazão irregular estimada de captação = 4,12 mm x 5.786 ha x 10 = 238.383,2 m³/dia.

Mapa2: Pivôs centrais analisados em setembro de 2018.



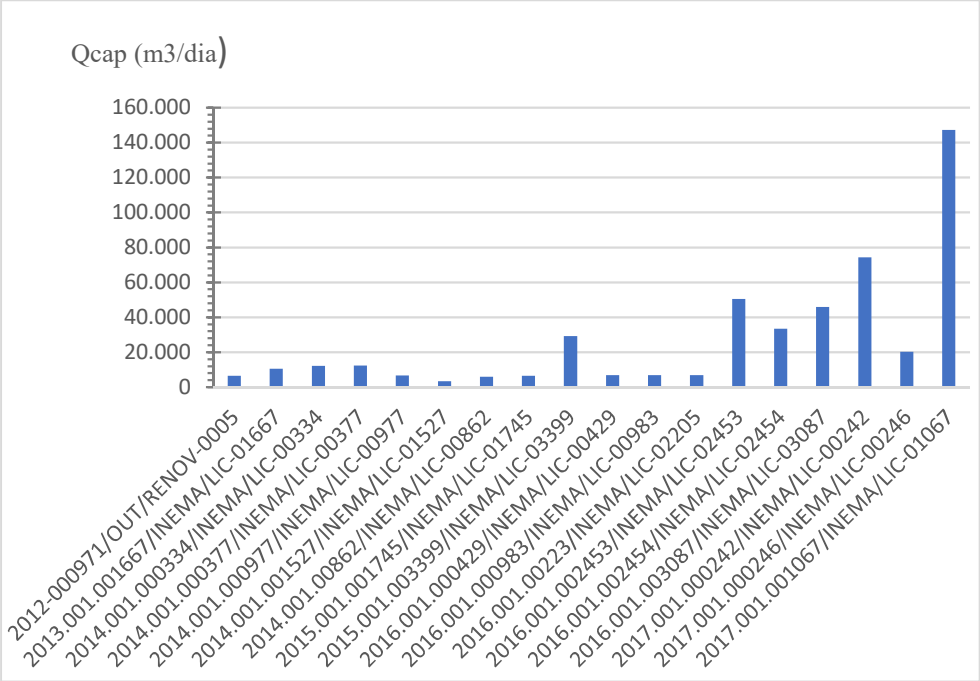
2.5 Estudo das outorgas dos pivôs centrais

Há 31 pontos de captação de água outorgados (vigência até 26/11/2018) para os pivôs centrais no município de Correntina/BA que estão relacionados a 18 processos.

Quadro 4: Outorgas vigentes até 17/09/2018 para captação para irrigação por pivôs centrais.

	Números	% (do total das 52 outorgas)	Vazão (m³/dia)	%
Total	31	59,62	**537.417,94**	95,11
Superficial	16	30,77	447.445,96	79,19
Subterrânea	15	328,85	89.971,98	15,92

Gráfico 1: Distribuição da vazão outorgada por processos.



Quadro5: Quadro resumo dos resultados do estudo das vazões associadas aos pivôs centrais em Correntina/BA.

	N° pivôs	Área pivôs (ha)	Q (m³/dia)
Pivôs em 2014 (ANA e Embrapa Milho e Sorgo, 2016).	63	6.598,00	
Pivôs identificados pelas cenas de setembro de 2018.	130	12.640,00	515.776,31
Outorgado para pivô em vigência até 26/11/2018.	124	11.514,10	537.417,94
Superficial	99	9.324,10	447.445,96
Subterrânea	25	2.190,00	89.971,98
VERDE = Pivôs outorgados instalados em setembro.	66	6.854,00	329.014,56
Superficial	51	5.145,00	256.389,44
Subterrânea	15	1.709,00	72.625,12
AMARELO = Pivôs outorgados não instalados.	58	4.660,00	208.397,42
Superficial	48	4.179,00	191.050,56
Subterrâneo	10	481,00	17.346,86
VERMELHO = Pivôs sem outorgas identificadas em setembro.	64	5.785,94	186.761,75
Solicitados (2014 – 2017)	135	13.732,61	677.772,99
Superficial	108	11.325,61	595.124,77
Subterrânea	27	2.407,00	677.772,99

Quadro 6: Compilação dos dados constates no processos outorgados para pivôs centrais.

			PORTARIA							
N° out	N° processo	processo	Lat	Long	portaria	publicação	Vencimento	QTcap m3/dia	há	Lâmina diária outorgada (mm)
1	1	2012-000971/OUT/RENOV-0005	-13,75194444	-46,00141667	9.109	21/01/2015	20/01/2019	6.480,00	113	5,735
1	2	2013.001.001667/INEMA/LIC-01667	-13,36555556	-45,695	9.465	21/03/2015	20/03/2019	10.411,13	369	2,821
1	3	2014.001.000334/INEMA/LIC-00334	-13,15055556	-45,338	11.288	13/02/2016	12/02/2020	12.030,00	381	3,157
1	4	2014.001.000377/INEMA/LIC-00377	-13,17861111	-45,52472222	14.417	13/07/2017	13/07/2021	10.373,00	324	3,202
1	4	2014.001.000377/INEMA/LIC-00377	-13,21444444	-45,52361111	14.417	13/07/2017	13/07/2021	1.920,88	60	3,201
3	5	2014.001.000977/INEMA/LIC-00977	-13,72327778	-45,94316667	9.354	04/03/2015	03/04/2019	20.071,89	532	3,773
1	6	2014.001.001527/INEMA/LIC-01527	-13,81380556	-46,08469444	11.971	04/07/2016	04/07/2020	3.254,17	100	3,254
1	7	2014.001.00862/INEMA/LIC-00862	-13,30441667	-45,54336111	8.847	27/11/2014	26/11/2018	5.830,33	100	5,830
1	8	2015.001.001745/INEMA/LIC-01745	13,696667	45,895556	14.487	25/07/2017	25/07/2021	6.357,00	200	3,179
1	9	2015.001.003399/INEMA/LIC-03399	-13,16027778	-45,42416667	15.769	14/03/2018	13/03/2022	21.407,96	468	4,574
1	9	2015.001.003399/INEMA/LIC-03399	-13,17638889	-45,42388889	15.769	14/03/2018	13/03/2022	7.695,83	286	2,691
4	10	2016.001.000429/INEMA/LIC-00429	-13,65505556	-45,68392778	14.358	06/07/2017	05/07/2020	26.769,00	800	3,346
3	11	2016.001.000983/INEMA/LIC-00983	-13,42739167	-45,66629167	14.727	02/09/2017	01/09/2021	17.526,75	515	3,403
3	12	2016.001.00223/INEMA/LIC-02205	-13,84244444	-45,96205556	12.556	05/10/2016	04/10/2020	16.154,42	330	4,895
1	13	2016.001.002453/INEMA/LIC-02453	-13,25916667	-45,37638889	12.750	27/10/2016	26/10/2020	50.475,00	989	5,104
1	14	2016.001.002454/INEMA/LIC-02454	-13,25916667	-45,37638889	12.736	25/10/2016	24//10/2020	33.331,50	652,8	5,106
1	15	2016.001.003087/INEMA/LIC-03087	-13,25916667	-45,37638889	13.057	07/12/2016	06/12/2020	45.750,00	1023,2	4,471
1	16	2017.001.000242/INEMA/LIC-00242	-13,24666667	-45,21472222	14.518	28/07/2017	28/07/2021	74.268,00	1400	5,305
3	17	2017.001.000246/INEMA/LIC-00246	-13,79005556	-46,09391667	15.670	23/02/2018	22/02/2022	20.127,75	400	5,032
1	18	2017.001.001067/INEMA/LIC-01067	-13,76467778	-45,56148333	15.204	10/11/2017	10/11/2021	147.183,33	2471,1	5,956
31							Total	**537.417,94**	**11.514,10**	**84,04**
							Superficial	447.445,96	9.324,10	4,80
							Subterrânea	89.971,98	2.190,00	4,11
							Média	16.840,59	390,50	**4,12**

Quadro 7) Tabela de atributos dos pivôs centrais

PROJETO AGRONÔMICO

N° processo	Qsolcicitada (m³/dia)	ha	L (mm) solicitada	lâmina bruta projeto	tipo captação	N° pivos solicitados	N° pivos outorgados	VERDE	há	(m³/dia)	AMARELO	há	(m³/dia)
1	Ñ SEIA	Ñ SEIA	Ñ SEIA	Ñ SEIA	Subterrânea	1	1	1	113	6.480,00	0	0	0,00
2	43.907,00	632	6,95	6,95	Superficial	6	4	0	0	0,00	4	369	10.411,13
3	37.668,75	584	6,45	20,33	Superficial	8	6	0	0	0,00	6	381	12.030,00
4	21.077,81	324	6,51	7,81	Superficial	5	5	0	0	0,00	5	324	10.373,00
4	23.419,78	360	6,51	7,81	Superficial	3	1	0	0	0,00	1	60	1.920,88
5	20.071,89	532	3,77	5,04	Subterrânea	4	4	4	532	20.071,89	0	0	0,00
6	6.750,00	200	3,38	8,37	Subterrânea	2	1	1	100	3.254,17	0	0	0,00
7					Superficial	N SEIA	1	0	0	0,00	1	100	5.830,33
8	6.362,25	200	3,18	6,95	Subterrânea	2	2	2	200	6.357,00	0	0	0,00
9					Superficial	5	5	0	0	0,00	5	468	21.407,96
9	37.351,94	1000	3,74	4,48	Superficial	5	3	0	0	0,00	3	286	7.695,83
10	26.893,40	800	3,36	4,48	Superficial	4	4	4	800	26.769,00	0	0	0,00
11	17.536,50	515	3,41	4,48	Subterrânea	11	11	2	94	3.199,06	9	421	14.327,69
12	11.677,58	360	3,24	6	Subterrânea	3	3	3	330	16.154,42	0	0	0,00
13	55.255,20	1088	5,08	6,77	Superficial	10	10	10	989	50.475,00	0	0	0,00
14	33.150,90	652,8	5,08	6,77	Superficial	6	6	6	652,8	33.331,50	0	0	0,00
15	64.374,98	1305,6	4,93	6,57	Superficial	12	10	10	1023,2	45.750,00	0	0	0,00
16	93.168,00	2040	4,57	7,76	Superficial	12	12	0	0	0,00	12	1400	74.268,00
17	20.250,00	600	3,38	5,16	Subterrânea	4	3	2	340	17.108,59	1	60	3.019,16
18	158.857,02	2539,21	6,26	7,15	Superficial	32	32	21	1680	100.063,94	11	791	47.113,44
	677.772,99	**13732,61**	**73,51**		Total	135	**124**	**66**	**6.854**	**329.014,56**	**58**	**4.660**	**208.397,42**
Superficial	595.124,77	11325,61	59,42		Superficial	108	99	51	5.145	256.389,44	48	4.179	191.050,56
Subterrânea	677.772,99	2407	20,35		Subterrânea	27	25	15	1.709	72.625,12	10	481	17.346,86
Média	26.893,40	600,00	4,57										

VERMELHO	
área hectares	**5.785,94**
n° pivôs	**64**
Qvermelha (m³/dia)	**238.383,20**

5 CONCLUSÃO

A vazão outorgada para os pivôs centrais em Correntina/BA é muito expressiva, representa 95,10% do total outorgado no município, sendo a vazão outorgada captada - para esse uso - das águas superficiais aproximadamente 5 vezes maior que a vazão outorgada para a captação das águas subterrâneas. A região centro-norte de Correntina apresenta-se como uma maior concentração de outorgas e de pivôs centrais, é uma zona de que possui uma pressão hídrica, necessitando de maiores esforços nas análises de novas concessões de outorgas e no planejamento dos recursos hídrico.

Nesse município está ocorrendo uma reserva fictícia de água pelos irrigantes o que dificulta a concessão de outras outorgas das águas para novos irrigantes. Essa situação é evidente quando se utilizou a geotecnologia para verificar que no mês de setembro 42,7 % da vazão outorga das águas superficiais (191.050,56 / 447.440 m³/dia) não está sendo utilizada, o que corresponde um a uma imobilização e não utilização de 191.050,56 m³/dia das águas superficiais e 19,28% da vazão outorgada para as águas subterrâneas. A não utilização da vazão outorgada no mês de setembro das águas superficiais e subterrâneas é de 38,78% do volume total outorgados para a irrigação por pivôs centrais, o que corresponde a uma vazão de 208.397,42 m³/dia. Esse comprometimento do volume de captação faz com que muitas outorgas sejam negadas, instigando as captações irregulares para atender as demandas hídricas das culturas não contempladas com as outorgas. Esta variação mensal da real necessidade do uso da água na agricultura irrigada precisa ser conhecida a fim de melhor aproveitar a água outorgada. Novos mecanismos, tais como as outorgas sazonais e/ou as transações entre produtores das cotas (certificados) de outorgas levarão a contemplação de um maior número de usuários, a fim de buscar uma forma eficiente de alocar os recursos da água entre os múltiplos usuários.

É fato constatado pelas comunidades do município que os rios têm "sentido" o volume de água retirado para serem usados na irrigação, com abaixamento expressivo do nível d'água. Caso esse volume reservado, que foi identificado no estudo (outorgado e não utilizado), passe a ser realmente usado, com a relação vazão (outorgada/utilizada) se aproximando de 1, é muito provável o colapso da disponibilidade hídrico nessa bacia. Logo a necessidade de revisar as outorgas e seus critérios de concessões.

No mês de setembro foram identificados 64 pivôs centrais sem outorgas, que somam uma área estimada de 5.785,94 hectares, o que corresponde a uma estimativa de 238.383,20 m³/dia que estão sendo extraídas dos mananciais hídricos sem outorgas, o que representa 44,36 % do volume outorgado para os pivôs centrais. A maior parte desses pivôs se localizam na porção oeste do município, região da cabeceira da bacia hidrográfica do Rio Corrente.

As técnicas de análises espaciais são ferramentas poderosas para se conhecer, planejar, monitorar e fiscalizar o uso dos recursos hídricos. Permitem obter um panorama atual e uma visão de futuro sobre a agricultura irrigada. A atualização permanente dessas bases de dados permite percepções realistas mais rápidas proporcionando uma resposta mais oportuna ao uso inadequado dos recursos hídricos. Ressalta-se a necessidade de conhecer a parcela de água outorgada que está sendo consumida pelas culturas agrícolas a fim de planejar o uso equitativo e equânime dos recursos hídricos, fazendo prevalecer os seus usos múltiplos. A aplicação do sensoriamento remoto na estimativa da evapotranspiração (parte fundamental do balanço hídrico) permite conhecer as demandas hídricas das culturas e com isso saber com maior precisão a parcela da água outorgada que é consumida pelas culturas agrícolas.

REFERÊNCIAS

ANA e Embrapa Milho e Sorgo, 2016. **Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil** - ano 2014. Disponível em: < http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>. Acessado em 22/08/2018.

ANA, Agência nacional de águas. 2016. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil**: Relatório síntese-2014. Brasília, 33p.

BORGHETTI, J. R. et al. **Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias**. FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura., p. 243, 2017. ISSN ISBN: 978-92-5-709754-4.

CLIMATE-DATA.ORG. 2018. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/location/43220/> Acessado em 16 de julho de 2018.

FERNANDEZ-CARRERA, J.; GARRIDO, J-C. **Economia dos Recursos Hídricos.** 1° ed. Salvador: Edufba, 2002.

GOODCHILD, M.; BRADLEY, P.; STEYAERT, I. **Environmental modeling with GIS**. New York: Oxford University Press, 1993. 488p.

LANDAU, E.C.; GUIMARÃES, D.P.; SOUZA, D.L. 2014. Caracterização Ambiental das Áreas com Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais na Região do Matopiba – Brasil. Embrapa Milho e Sorgo: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 99.

LAURINI, R.; THOMPSON, D. **Fundamental of spatial information systems**. Toronto: Academic Press, 1992. 680p.

MIRANDA, E. E; CARVALHO, C. A.; Na Agricultura, a Preservação dos Cerrados. **Revista AgroDBO,** N° 71, Outubro de 2015. Disponível em: < https://www.embrapa.br/gite/projetos/matopiba/151030_CERRADOS_MATOPIBA.pdf>. Acessado em 08 de agosto de 2018.

NORDESTE RURAL. 2018. Disponível em <nordesterural= http://nordesterural.com.br/oeste-da-bahia-se-destaca-na-producao-agricola/>. Acessado em 25 de junho de 2018.

TJBA, DIÁRIO DA JUSTIÇA ELETRÔNICO. 2018. ATA DE AUDIÊNCIA PÚBLICA REALIZADA EM CORRENTINA/BA - INQUÉRITO CIVIL Nº 676.0.219381/2015. Disponível em: < www.mp.ba.gov.br/sites/default/files/biblioteca/diariojustica/20180228.pdf >. Acessado em 25 de junho de 2018.

APLICAÇÃO DO PTL SEGUNDO A NBR14166 PARA MUNICÍPIOS COM EXTENSÃO TERRITORIAL PREDOMINANTEMENTE LESTE–OESTE: CASO DO MUNICÍPIO DE MAÇAMBARÁ–RS

AROYTO PEREIRA DE SOUSA CARDOSO BACURI 1
LEONARD NIERO DA SILVEIRA 2
SAMUEL TARSO DA SILVA 3
ROBERT MARTINS DA SILVA 4

Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA
Núcleo de estudos em cartografia e agrimensura – NECA
Itaqui – RS
aroytopscardoso@gmail.com, leonardsilveira@unipampa.edu.br, samucaurg@gmail.com,
robertsilva@unipampa.edu.br

RESUMO – Os sistemas de projeção cartográficas derivadas do sistema transverso de Mercator tem excelência em aplicação para a representação gráfica de áreas superficiais em um mapa, carta ou planta, porém não são adequados para projetos e obras devido às distorções inerentes a curvatura terrestre, principalmente a linear caracterizada pelo fator K. Este problema é maior quando a extensão de um território se desenvolve majoritariamente no sentido Leste-Oeste. O município de Maçambará tem um território que se desenvolve nesse sentido, o que tornou necessário o desenvolvimento de um Plano Topográfico local para que fosse possível a confecção de projetos e implantar obras sem a necessidade de se levar em consideração os efeitos nocivos da curvatura terrestre. Para a criação do PTL, foi concebido um vértice virtual denominado CPTL como origem do sistema e as coordenadas transportadas para dez vértices geodésicos implantados em todo o território municipal, sempre aos pares para que se tenha a possibilidade de se efetuar levantamentos utilizando métodos clássicos de poligonação. Em associação à criação do PTL foram transportadas as altitudes ortométricas pelo método relativo das diferenças de ondulação geoidal, deixando desta forma, para o município de Maçambará, um sistema completo (com valores de coordenadas horizontais e verticais).

ABSTRACT - The cartographic projection systems derived from the Mercator transverse system have excellent application for the graphical representation of surface areas in a map, chart or plant, but are not suitable for projects and works due to the inherent distortions in the terrestrial curvature, especially the linear characterized by the factor K. This problem is greater when the extension of a territory develops mainly in the east-west direction. The municipality of Maçambará has a territory that develops in this sense which made it necessary to create a Local Topographic Plan so that it could be possible to develop projects and implement works without having to take into account the harmful effects of the terrestrial curvature. For the creation of the PTL, the virtual vertex called CPTL was conceived as the origin of the system and the coordinates transported to ten geodetic vertices implanted throughout the municipal territory, always in pairs, so that it is possible to carry out surveys using classical methods of polygon. In association with the creation of the PTL, the orthometric altitudes were transported by the relative method of the geoidal undulation differences, leaving, for the municipality of Maçambará, a complete system (with horizontal and vertical coordinate values).

1 INTRODUÇÃO

As coordenadas planas derivadas do sistema Transverso de Mercator (TM) apresentam diversas considerações quanto a sua aplicação que em nenhuma hipótese deverão ser negligenciadas para aplicação prática.

Tais considerações estão associadas aos efeitos provenientes da curvatura terrestre, bem como a distorção linear, que impossibilita a obtenção de exatidão quando a mesma é desconsiderada, tendo ainda o agravante de que as coordenadas obtidas para um determinado vértice em uma dada época mudam quando se altera ou reajusta o sistema geodésico de referência, denotando uma característica variável, pois as coordenadas geradas neste sistema só servirão

para serem operacionalizadas no sistema de referência em que a mesma foi obtida, sendo impossível obter para cada sistema geodésico ou até para um mesmo sistema uma única coordenada UTM associada ao mesmo ponto.

Atualmente o Sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) é o sistema de representação cartográfica adotado pelo Sistema Cartográfico Brasileiro conforme a NBR 14166. Deve-se ressaltar que o mesmo é um sistema de grande abrangência, no entanto, só é eficiente quando são considerados todos os diversos fatores e parâmetros que causam distorções.

Neste sentido, um dos grandes problemas recorrentes atualmente em obras de engenharia é que muitos profissionais desconhecem ou ignoram os fatores distorcivos e os parâmetros dos sistemas de projeções cartográficos e geodésicos, gerando grandes problemas na confecção dos projetos e no processo de implantação das obras, o que torna o sistema de coordenadas UTM impraticável em diversas situações.

Conforme as suas características e classificação, o sistema UTM é uma projeção cilíndrica, transversa, que mantém a forma das figuras (conforme). Para minimizar os erros, adota-se um cilindro secante para a projeção (CINTRA, 1993).

Ainda sobre este sistema, é de grande importância destacar o coeficiente de deformação linear "K", um dos parâmetros que mais degradam os elementos nas projeções TM, sendo que outros fatores como a redução angular (Ψ), causam pouca influência nas deformações dos sistemas.

Esta projeção apresenta três meridianos notáveis, nos meridianos secantes que são onde os mesmos tocam a superfície do cilindro o coeficiente de deformação linear é unitário (K=1) refletindo em não deformação das distâncias, no entanto, no meridiano central o valor se altera (K = 0,9996) onde as distâncias são deformadas em virtude da influência da curvatura terrestre.

Todas estas circunstâncias observadas para o sistema de coordenadas UTM não se aplicam quando são adotadas as coordenadas provenientes do Plano Topográfico Local (PTL), pois de acordo com Dal'forno et al. (2010) empregando-se o sistema PTL é possível desconsiderar os erros sistemáticos causados pela curvatura da Terra e pelo desvio da vertical, o que é impossível para o sistema UTM.

De acordo com Silveira e Rocha (2016), em obras de engenharia que exigem uma maior precisão para fins de locação deve-se eliminar as distorções inerentes a transformação de elementos sobre a superfície elipsóidica para a superfície plana, sendo a melhor opção a conversão das coordenadas planas UTM em coordenadas plano topográficas locais.

O PTL se apresenta como o sistema de projeção cartográfica que melhor se adapta a superfície terrestre, embora o Sistema de Coordenadas Terrestres local não tenha a mesma abrangência espacial que a projeção UTM.

Torge (2001), explica que a superfície sólida da Terra tem um formato totalmente irregular e é nela que se efetuam as diversas operações topográficas e geodésicas. Sobre este ponto a ABNT (1998) orienta que as áreas de abrangência do PTL devem ser reduzidas, no caso de a superfície terrestre abrangida ser muito acidentada em seu relevo, apresentando áreas em que haja desníveis superiores a 150 m.

Desta forma, levando-se em consideração principalmente os problemas causados pela desconsideração do "K" e a imperícia de alguns profissionais quanto ao emprego do sistema UTM, o presente trabalho tem a finalidade de apresentar o PTL como o melhor sistema de coordenadas a ser usado para fins de mapeamento e aplicações em obras civis em municípios com extensão territorial predominantemente Leste – Oeste.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O sistema de coordenadas planas UTM é um sistema de projeção cartográfica, derivado do sistema de projeção cilíndrica transversa de Mercator na qual se passa as informações da superfície curva da Terra para uma superfície plana (mapa), no entanto há distorções de natureza linear e angular. Este sistema é utilizado para a representação gráfica da superfície e pode ser utilizado em obras, desde que se leve em consideração as distorções inerentes ao sistema.

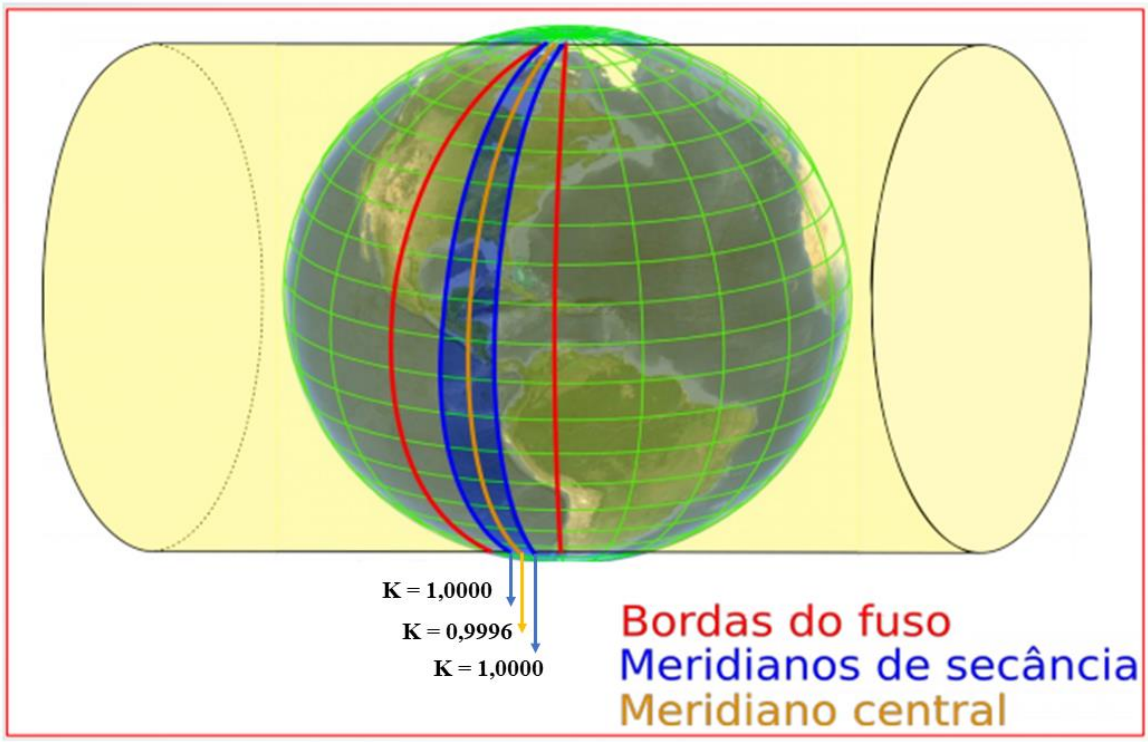
Conforme Elmiro (2012) é um caso particular da Projeção Transversa de Mercator (TM), sendo uma projeção conforme, ou seja, mantém os ângulos com mínimas distorções e tende a manter a forma de pequenas áreas, porém deforma distâncias lineares e valor de grandes áreas.

Sobre o coeficiente de deformação linear "K" é possível inferir que a sua ação distorciva é majoritariamente Leste – Oeste, ou seja, em levantamentos convencionais onde se adotam as coordenadas provindas dos sistemas TM para os processos de transportes de coordenadas e locações de obras civis, não há necessidade de analisar a ação deste fator no sentido Norte – Sul, pois as mesmas são constantes, ou seja, não variam sobre o meridiano, conforme pode ser observado na figura 1.

Na visão de Cintra (1993), o fator escala K, pode ser definido como sendo um número (dado por uma expressão calculada num ponto) que multiplicado pela distância sobre o elipsóide fornece a distância em planta.

Esta distância em planta, nada mais é do que uma distância que foi gerada por meio das coordenadas obtidas no sistema UTM após as correções (aplicação do parâmetro "K"), e deverá ser a mesma distância obtida no PTL, quando geradas por meio de levantamentos topográficos clássicos, entre outras palavras a distância em planta mencionada é a mesma distância topográfica.

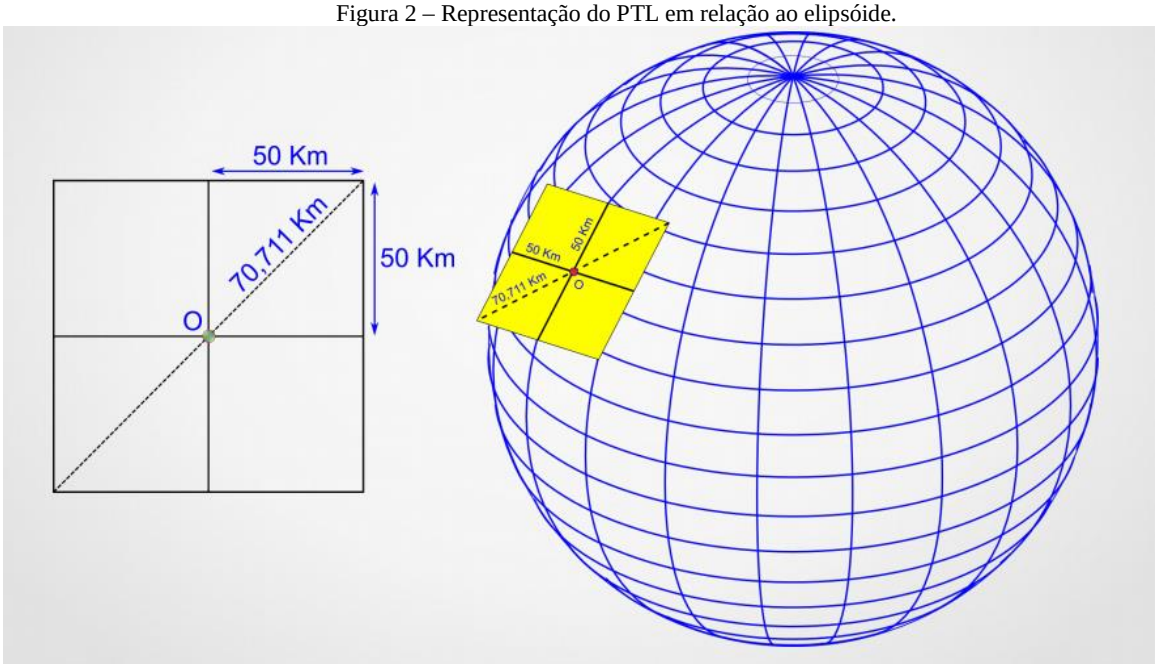
Figura 1 – Cilindro Secante ao globo terrestre.



Fonte: Silveira (2017).

A ABNT (1998), define que a área de abrangência do plano topográfico local é de 10.000 Km^2, ou seja, 100 km x 100 km sendo que as bordas do plano distanciam-se 50 km do seu centro, tendo a maior distância em sua diagonal ($50\sqrt{2}$) que é aproximadamente 70,711 km. As dimensões e abrangência do plano topográfico local é ilustrada na figura 2.

Figura 2 – Representação do PTL em relação ao elipsóide.

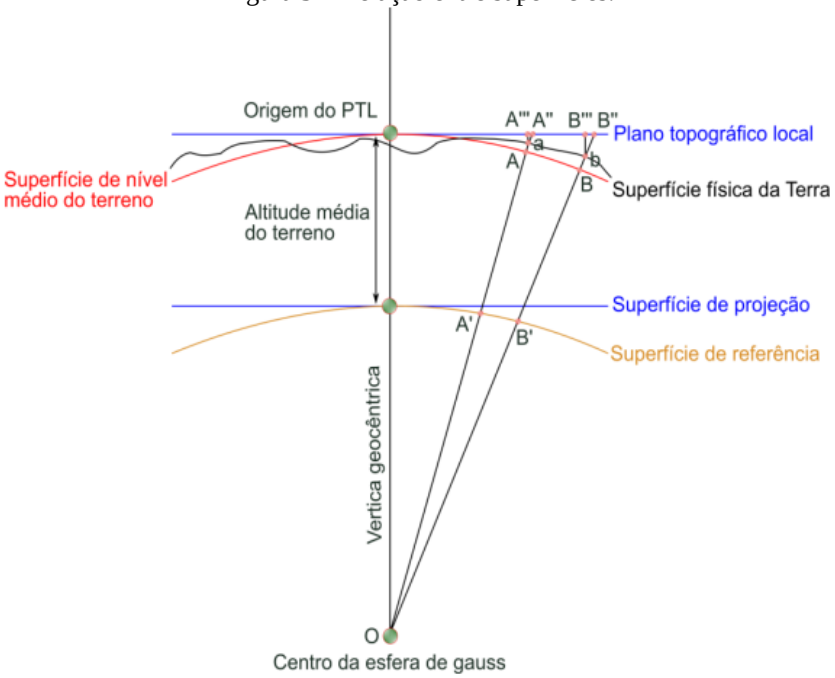


Fonte: Silveira (2017).

A mesma norma acrescenta que, a fim de elevar o plano topográfico de projeção ao nível médio da área, objeto do sistema topográfico, as coordenadas plano-retangulares são afetadas por um fator de elevação, sendo assim, elevado

à altitude ortométrica (H) média da área de abrangência do sistema, passa a chamar-se Plano Topográfico Local, conforme indicado na figura 3.

Figura 3 – Relação entre superfícies.



Fonte: Adaptado de ABNT (1998).

2.1 Equações do Plano Topográfico Local

$$X_p = 150000 + x_p \tag{1}$$

$$Y_p = 250000 + y_p \tag{2}$$

$$Xp = -\Delta\lambda_1 \cos\varphi_p N_p arc1'' xc \tag{3}$$

$$y_p = \frac{1}{B}[\Delta\varphi_1 + Cx_p^2 + D(\Delta\varphi_1)^2 + E(\Delta\varphi_1)x_p^2 + ECx_p^4]xc \tag{4}$$

$$\Delta\lambda = \lambda_p - \lambda_o \tag{5}$$

$$\Delta\varphi = \varphi_p - \varphi_o \tag{6}$$

$$\Delta\lambda_1 = \Delta\lambda''[1 - 3{,}9173\,x10^{-12}(\Delta\lambda'')^2] \tag{7}$$

$$\Delta\varphi_1 = \Delta\varphi''[1 - 3{,}9173\,x10^{-12}(\Delta\varphi'')^2] \tag{8}$$

$$B = \frac{1}{M_0 arc1''} \tag{9}$$

$$C = \frac{\tan\varphi_o}{2M_o N_o arc1''} \tag{10}$$

$$D = \frac{3e^2 sen\varphi_o \cos\varphi_o arc1''}{2(1 - e^2 sen^2\varphi_o)} \tag{11}$$

$$E = \frac{1 + 3\tan\varphi_o}{6N_o^2} \tag{12}$$

$$c = \frac{R_o + Ht}{R_o} \tag{13}$$

$$R_o = \sqrt{M_o N_o} \tag{14}$$

$$M_o = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 sen^2 \varphi_o)^{3/2}} \tag{15}$$

$$N_o = \frac{a}{(1-e^2 sen^2 \varphi_o)^{1/2}} \tag{16}$$

$$N_p = \frac{a}{(1-e^2 sen^2 \varphi_p)^{1/2}} \tag{17}$$

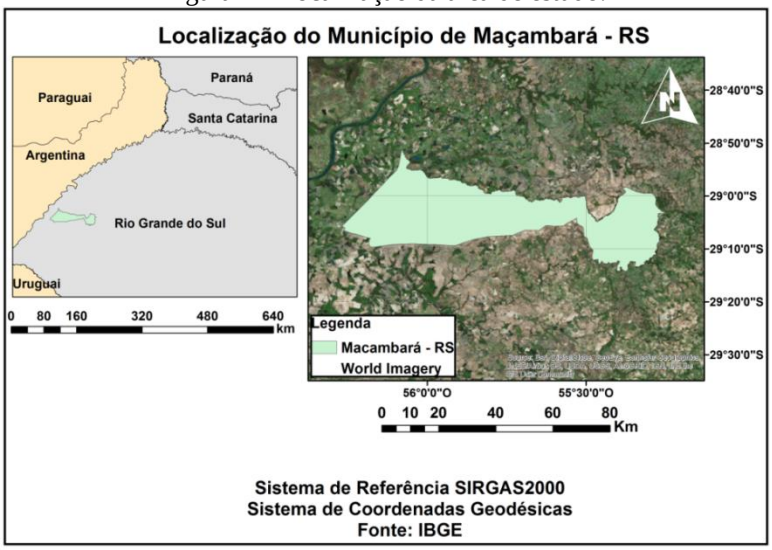
$$e = \left(\frac{a^2 + b^2}{a^2} \right)^{\frac{1}{2}} = [f(2-f)]^{1/2} \tag{18}$$

Onde:
c – é o fator de elevação, adimensional;
H_t – é a altitude média do terreno, em metros;
R – m é o raio médio terrestre igual a MN, adotado como raio da esfera de adaptação de Gauss, em metros;
M – é o raio de curvatura da elipse meridiana do elipsoide de referência na origem do sistema topográfico local, em metros;
N – é o raio de curvatura da elipse normal à elipse meridiana na origem do sistema topográfico local, em metros.

3 METODOLOGIA DO TRABALHO

Este trabalho tem como área de estudo o município de Maçambará no estado do Rio Grande do Sul, tendo sua posição central definida pelas coordenadas geodésicas 29°08’46,65’’S de Latitude e 56°03’58,89’’W de Longitude, tendo como referência geodésica o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000). O município conta com uma população de aproximadamente 4.814 habitantes, conforme o IBGE (2010).

Figura 4 – Localização da área de estudo.



Fonte: Autor, 2018.

3.1 Equipamentos utilizados

Para os levantamentos topográficos foram utilizadas estações totais marca Nikon, modelo NPL 632 com precisão

angular de 2" e precisão linear de ± (3 mm + 2 ppm) vezes a distância linear, além de estações totais marca Foif, modelo OTS655-R500, com precisão angular de 5" e precisão linear de ± (3 mm + 2 ppm) vezes a distância linear.

Para fins de rastreio para a homologação dos pilares geodésicos, além do transporte de coordenadas para os demais vértices da rede de referência cadastral, foram utilizados receptores *GNSS* marca *Ashtech*, modelo Promark 500, dupla frequência, com precisão nominal de ± (3 mm + 1 ppm) vezes o comprimento da linha de base.

Os mapas e a determinação do centroide do município foram desenvolvidos utilizando-se o *software* QGIS versão 2.18.11 e os cálculos de transformação das coordenadas geodésicas para o PTL foi utilizado o aplicativo Transfogeo pelo método da NBR14.166.

3.2 Metodologia

Inicialmente foi determinada a implantação de dois pilares geodésicos com dispositivo de centragem forçada para a homologação junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) situados na Praça 22 de Outubro localizada no centro do núcleo urbano do município.

A partir destes pilares geodésicos, foi implantada a sub-rede de vértices geodésicos (aos pares) nos núcleos urbanos municipais. Além do núcleo urbano sede (cidade de Maçambará) também receberam os vértices Geodésicos (VGs) os núcleos de Povinho, São Donato, Bororé, Serra do Iguariaçá e Passo do Goulart. O núcleo de Encruzilhada já possui um vértice oficial do IBGE, dessa forma optou-se pela não implantação de vértices na região.

Os VGs foram monumentalizados conforme as normas de padronização de marcos geodésicos do IBGE, contendo em seu topo uma chapa de bronze com a identificação dos mesmos. Ao todo foram implantados dez VGs, e além desses, foram implantados vértices para compor a rede de apoio a levantamentos topográficos denominados VTs distribuídos pelo perímetro urbano do Município de Maçambará. Os VTs foram monumentalizados com chapas de alumínio cravadas no passeio público ou em marcos cilíndricos contendo sua identificação.

Foram implantados quarenta e três VTs com previsão de implantação de mais alguns no núcleo sede e mais duas sub-redes nos núcleos de Povinho e Bororé, não havendo a necessidade de implantação nos outros núcleos.

Após a implantação de todos os vértices, foi efetuado o rastreio dos pilares geodésicos na praça para fins de homologação dos mesmos. Após a homologação junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os pilares foram identificados com os códigos 99697 e 99698, fazendo parte do Sistema Geodésico Brasileiro.

Em todas as determinações foram utilizados receptores dos sinais dos sistemas de posicionamento baseados em satélites artificiais constituintes do GNSS (*Global Navigation Satellite System*). A disposição dos vértices tipo SAT e os VGs podem ser verificados na figura 5.

Figura 5 – Disposição dos vértices da rede de adensamento geodésico.

Fonte: Autor, 2018.

3.3 Transporte de altitude ortométrica

A referência utilizada para a obtenção da altitude ortométrica foi a RN1936Z localizada no distrito denominado de Encruzilhada pertencente à rede altimétrica que compõe o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), devido à impossibilidade de se efetuar o transporte de altitudes por meio de nivelamento geométrico em virtude da distância dos pilares geodésicos até a referência de nível oficial mais próxima, optou-se por efetuar este transporte por meio do método relativo por diferenças de ondulação geoidal.

Outro detalhe importante a ressaltar é que como a referência de nível estava em local de difícil rastreabilidade

devido à cobertura vegetal, foi efetuado o transporte de altitude da RN até o vértice 92021, a partir da qual foi realizado o transporte pelo método relativo até os demais vértices da rede de referência.

Este método consiste em transportar as coordenadas de uma estação de referência cujo valor da altitude elipsoidal é disponibilizado para uma referência de nível e para um ponto a se determinar a altitude ortométrica.

Extrai-se o valor da ondulação geoidal para a referência de nível e para o ponto. Calculam-se as diferenças da altitude elipsoidal e da ondulação geoidal entre o ponto e a referência de nível. Por meio destas diferenças e da altitude ortométrica da RN, calcula-se a altitude ortométrica do ponto. O transporte de altitude pelo método relativo é dado pelas equações abaixo de acordo com (FEATHERSTONE; DENTITH; KIRBY, 1998).

$$H_2 = H_1 - \Delta N + \Delta h \tag{19}$$

Onde:
H_2 = Altitude ortométrica do ponto a determinar;
H_1 =Altitude ortométrica do ponto de origem;
ΔN= Diferença de ondulação geoidal;
Δh = Diferença de altitude elipsoidal.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

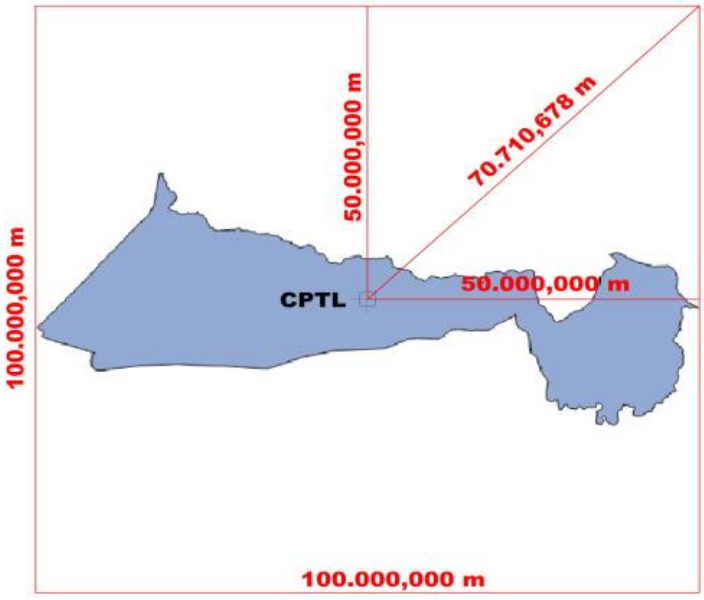
Inicialmente foi criado um plano topográfico local para todo o município, tendo como origem o marco denominado 99697 pertencente a rede passiva do SGB, localizado no centro o perímetro urbano.

No entanto, percebeu-se que em virtude da altitude média do terreno e o mau aproveitamento do plano o PTL tendo como origem o vértice 99697 não seria eficaz, e quanto a altitude a ABNT (1998), orienta que as áreas de abrangência do PTL devem ser reduzidas, no caso de a superfície terrestre abrangida ser muito acidentada em seu relevo, apresentando áreas em que haja desníveis superiores a 150 m ou que caso a área exceda as dimensões deve-se criar mais de um PTL, cujos centros (ponto de origem) devem distanciar-se 100 km um do outro para que se tenha um contato tangente entre as bordas dos sistemas articulados.

Então, como solução determinou–se o centroide do município onde foi fixado um ponto virtual que passou a ser a origem do PTL, este ponto foi denominado de Centro do Plano Topográfico Local (CPTL).

Após isso, notou-se que o município de Maçambará tem uma extensão territorial praticamente idêntica a extensão do PTL, ou seja, o território municipal cabe dentro de um PTL, conforme pode ser observado na figura 6.

Figura 6 – Dimensões do PTL com origem no CPTL.



Fonte: Autor, 2018.

O vértice CPTL foi criado de forma virtual devido a impossibilidade de sua materialização, sendo que o processo de materialização só poderia ser concretizado se a coordenada obtida para o vértice se encontrasse dentro uma área pública, ou seja, o mesmo não poderia pertencer a nenhuma propriedade particular, ou ainda, não se encontrar sobre uma rodovia, e sua localização se encontrava em um local de difícil acesso.

5 CONCLUSÕES

Como o município tem uma extensão predominantemente Leste – Oeste e o território coube perfeitamente dentro de um PTL, assume-se que os resultados obtidos foram extremamente satisfatórios ao adotar o CPTL como sendo a origem do PTL.

Desta forma, é possível perceber que Maçambará, devido a sua extensão territorial ser predominantemente no sentido Leste – Oeste, teria grandes problemas para a implementação de obras e execução de projetos utilizando as coordenadas derivadas dos sistemas TM.

Isso ocorreria, porque conforme mencionado neste trabalho, além de ser extremamente necessária a consideração dos parâmetros distorcivos deste sistema, atualmente muitos profissionais desconhecem ou ignoram estes fatores e parâmetros para os sistemas de projeção cartográfica e geodésicas.

Portanto, para evitar os transtornos causados mediante a aplicação do sistema UTM para a confecção de projetos e locação de obras em municípios com extensão territorial predominantemente Leste – Oeste, a solução é a criação de um plano topográfico local. Neste sistema, os dados provenientes dos levantamentos de campo possuem verdadeira grandeza, ou seja, a medida é similar ao valor real da parcela.

No PTL, os levantamentos podem ser realizados de forma direta por meio de métodos topográficos clássicos sem a preocupação dos parâmetros distorcivos, o que não se aplica ao sistema UTM, e ainda neste sistema é possível garantir que se esteja trabalhando com um sistema que não se altera com o tempo (é imutável em áreas geologicamente estáveis) e nem com a alteração do sistema geodésico por ser um sistema de coordenadas estritamente local.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14166:** Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. Disponível em: < http://www. censo2010. ibge. gov. br/>. Acesso em: 10 out. 2017., v. 23, 2010.

FEATHERSTONE, Will E.; DENTITH, Michael C.; KIRBY, Jon F. Strategies for the accurate determination of orthometric heights from GPS. **Survey Review**, v. 34, n. 267, p. 278-296, 1998.

SILVEIRA, Leonard Niero da. ROCHA, Jonatan dos Santos. Influência da altitude na deformação de áreas projetadas nos sistemas planos UTM, LTM e RTM. **Tecnologia e Ambiente**, v. 22, 2016.

SILVEIRA, Prof. Leonard Niero da. **TRANSFORMAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE COORDENADAS UTM, RTM, LTM, GAUSS KRÜGER E PLANO TOPOGRAFICO LOCAL**: CARTOGRAFIA II, 2017. 12 p. Notas de Aula (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA).

CINTRA, Jorge P. Sistema UTM. **EPUSP, Apostila**, 1993.

Torge, W., 2001. **Geodesy**, Walter de Gruyter, New York, USA, 526 p.

DIREITO REAL DE LAJE NO CADASTRO TERRITORIAL MULTIFINALITÁRIO

CARLA BARBOSA DA SILVA[1]
ANDREA FLÁVIA TENÓRIO CARNEIRO[2]
SILVIO JACKS DOS ANJOS GARNÉS[2]
IGOR JORDÃO COUTINHO DE ALBUQUERQUE[3]

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
[1]Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
[2]Programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação
[3]Doutorando MDU
carlabarbosa27@hotmail.com, andreaftenorio@gmail.com, silviogarnes@gmail.com, igorjordan@hotmail.com

RESUMO - O processo acelerado de migração de habitantes da zona rural brasileira para os grandes centros urbanos, que ocorreu principalmente no início do século XX, teve como uma das consequências a ocupação desordenada do solo. Esse crescimento abrupto, sem planejamento e sem o necessário aumento da infraestrutura disponível, fez com surgissem moradias construídas sem nenhum projeto arquitetônico e de engenharia. Uma das soluções amplamente utilizadas pelas famílias são as construções sobre as lajes de edificações existentes, que foram surgindo de forma irregular e sem um suporte legal que garantisse o direito de propriedade. Em 2017, a Lei n. 13.465 estabelece o Direito Real de Laje, que concede ao possuidor da laje o direito de propriedade apenas da área construída, com ligação ao terreno da construção original apenas pela posição espacial. Nesse contexto, esse trabalho tem como objetivo analisar essa nova modalidade de unidade territorial juridicamente autônoma, à luz dos conceitos de parcela e objeto territorial, no âmbito do Cadastro 3D.

ABSTRACT – The accelerated process of migration of inhabitants of the Brazilian countryside to the great urban centers, which occurred mainly in the early twentieth century, had as one of the consequences the disordered occupation of the soil. This abrupt growth, without planning and without the necessary increase of the available infrastructure, has given rise to houses built without any architectural and engineering design. One of the solutions widely used by families is the constructions on existing slabs of buildings, which have appeared irregularly and without legal support to guarantee property rights. In 2017, Law no. 13.465 establishes the Real Laje Right, which grants the slab holder the right to own only the built area, with connection to the original building land only by the spatial position. In this context, the objective of this work is to analyze this new modality of territorially autonomous territorial unit, in the light of the concepts of plot and territorial object, within the framework of Cadastro 3D.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo de décadas, os grandes centros urbanos tornaram-se superpovoados, devido ao processo de urbanização provocado pelo deslocamento populacional da área rural para a área urbana. Na maior parte das vezes, isso se deve à busca de melhores condições pela população nas grandes capitais do Brasil, tendo como resultado um crescimento desordenado das cidades. Atrelado a isso, está a falta de infraestrutura por parte dos municípios, juntamente com os problemas sociais decorrentes.

A ocupação desordenada localiza-se às margens dos centros urbanos, estabelecidas em locais impróprios para uma moradia digna, tornando-se fruto da ausência de planejamento e fiscalização da gestão pública. Os imóveis construídos nessas áreas não atendem à legislação urbanística e permanecem à margem do sistema formal de propriedade. Entre os tipos de habitação utilizados, são comuns as construções edificadas sobre uma construção base ou sobre a Laje dessa construção.

Muitos desses imóveis da construção base não são registrados. Sem a documentação legal, as pessoas passam a construir na ilegalidade, resultando em casos como o citado por Farias *et al* (2018), onde, em uma determinada construção, o pai é proprietário do terreno e permite que o filho construa na parte superior de sua residência. Assim como a construção base, essa também continua irregular, sem a devida documentação.

A lei 13.465/17 trata da regularização urbana, com a instituição do Direito de Laje como um direito real de propriedade, segundo o qual o proprietário da construção-base pode ceder tanto a parte superior quanto a parte inferior da construção, sem vínculo com o solo, obtendo titularidades distintas.

Essa nova modalidade de unidade a ser registrada implica numa situação inédita no Brasil, onde a especialidade da matrícula, se refere à descrição do imóvel e não a descrição do solo. Considerando que o Cadastro Territorial tem condições técnicas de proporcionar ao Registro de Imóveis um aperfeiçoamento dessa caracterização, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo preliminar, analisando a situação do Direito de Laje, a partir dos conceitos do Cadastro 3D, e apresentando alternativas para essa descrição.

Segundo Carneiro *et al* (2011), os cadastros representam as unidades territoriais através de informações espaciais em 2D, mas diante da complexidade quanto a ocupação territorial, uma vez que existem direitos distintos sobre uma mesma projeção ortogonal, se faz necessário a implementação do cadastro incluindo informações 3D.

Diante da dificuldade em se identificar a parcela em 2D para os imóveis que se enquadram no Direito de Laje, esta pesquisa propõe, a partir de um estudo de caso no município de Igarassu - PE, definir a unidade cadastrada e o identificador da parcela.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento dessa pesquisa, foi abordado a nova lei que se refere ao Direito Real de Laje e a partir de um estudo de caso, aplicar o conceito de parcela e o identificador nesta situação, implicando a importância do CTM numa visão tridimensional.

2.1. O Direito de laje na legislação vigente

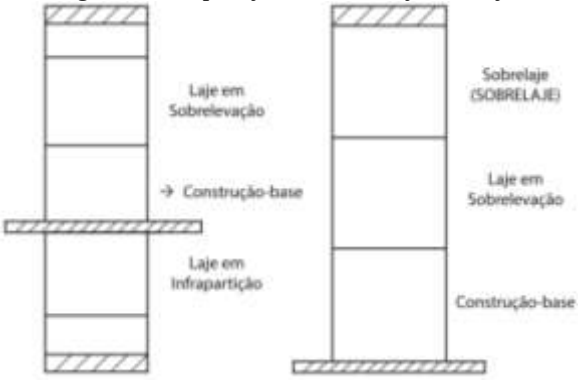
Segundo Antunes (2017), a preocupação nas últimas décadas com o direito sobre a terra fez com que em 2001, por meio do Estatuto das Cidades, houvesse uma esperança de legalização de muitas moradias, através da Regularização Fundiária Urbana - REURB, proporcionando ao cidadão o direito à terra. Em 2018, o Decreto 9.310 instituiu as normas gerais e os procedimentos aplicáveis à Regularização Fundiária Urbana estabelecida na Lei 13.465 de Julho de 2017. O decreto abrange as medidas jurídicas, urbanísticas, ambientais e sociais destinadas à incorporação dos núcleos urbanos informais ao ordenamento territorial urbano e à titulação dos seus ocupantes.

O Art. 2º do Capítulo 1 trata dos objetivos da REURB, sendo um deles constituir sobre as unidades imobiliárias os direitos reais em favor dos ocupantes, ou seja, uma segurança jurídica e que estabiliza o direito sucessório de sua propriedade. O capítulo VI do presente decreto, conforme a Lei 13.465, inclui o Direito Real de Laje e diz que: *"o direito real de laje contempla o espaço aéreo ou subsolo de terrenos públicos ou privados, tomados em projeção vertical, como unidade imobiliária autônoma, não contemplando as demais áreas edificadas ou não pertencentes ao proprietário da construção-base."*

De acordo com a Lei 13.465/17, ainda afirma que: *"o direito real de laje somente se aplica se constatar a impossibilidade de individualização de lotes, a sobreposição ou a solidariedade de edificações ou terrenos"*. Porém, segundo Júnior (2017), este direito não aborda um direito real novo, mas um tipo de direito de superfície, expressa pela legislação brasileira em 2001, a respeito da superfície por sobrelevação.

Farias et al (2018) caracterizam o direito sobre a laje como a nova lâmina de propriedade feita por meio da cessão, onerosa ou gratuita, da superfície superior ou inferior de uma construção, seja ela sobre o solo ou já em laje, por parte do proprietário ou "lajeário" da mesma. A laje, ou o "puxadinho" como é mais conhecida, pode ser estabelecida tanto na parte inferior quanto superior e a figura 1 mostra um esquema das formas de disposição em que a laje é edificada.

Figura 1 - Disposição da construção da laje.



Fonte: MAZZEI (2013).

Conforme o esquema proposto, a construção-base é também caracterizada como construção original, em que o proprietário tem o título do direito dessa construção e independe se haverá o primeiro direito de laje. Já para o lajeário, o mesmo possui o título do direito da laje, que se refere só a área construída, sendo válido para a laje em sobrelevação e para a laje em infrapartição. Quanto à laje em sobrelevação, é o direito de laje criado a partir da edificação original, no qual usufrui do espaço aéreo livre, considerando as normas estabelecidas e os limites da construção. A laje em infrapartição é o direito de laje referido à área abaixo da construção – base, aproveitando-se as garagens ou porões, preservando as normas e segurança da edificação (FARIAS *et al*, 2018).

Estas disposições podem causar problemas de topologia ao se estabelecer a abertura de matrícula e a dispensa de atribuição de fração ideal apenas para a superfície por sobrelevação ou direito de laje, (JÚNIOR, 2017). Dependendo do caso, uma vez que existem vários tipos de sobreposição dessas moradias e de acordo com a REURB, a laje representa uma unidade autônoma e com matrícula própria, independente da construção original e sem possuir áreas comuns entre as edificações.

2.2. O Cadastro territorial e o Direito de laje

O cadastro territorial tem como missão identificar as relações entre pessoas e terra, caracterizando os direitos, restrições e responsabilidades que existam entre os mesmos. A interconexão entre cadastros territoriais e registro de imóveis é desejável e positiva, por possibilitar o aprimoramento dos dois sistemas, uma vez que o cadastro reúne as condições técnicas para a melhor descrição do imóvel em atendimento ao princípio da especialidade objetiva do registro.

De acordo com a Portaria 511/2009, do Ministério das Cidades, o Cadastro Territorial Multifinalitário é definido como um inventário territorial, oficial e sistemático do município, baseado no levantamento dos limites de cada parcela, recebendo um identificador único e estável. Esta definição está baseada e de acordo com a definição internacional de Cadastro estabelecida pela Federação Internacional de Geômetras - FIG (FIG,1998).

Geralmente, a descrição da unidade cadastral limita-se ao espaço bidimensional, com identificação dos seus limites, área e confrontações. Porém, a complexidade da ocupação do espaço urbano e algumas situações de necessidade de individualização de direitos na superfície vertical levam à estruturação de Cadastros 3D.

Casos como o do Direito de Laje, em que a projeção ortogonal não é suficiente para individualizar o direito, são passíveis de utilização do Cadastro 3D, que possibilita obter dados espaciais tridimensionais (Xi, Yi, Zi). De acordo com Souza et al. (2011), essas informações integram o Cadastro 3D e ajudam a identificar como os espaços aéreos e subterrâneos são compostos e geridos. Atrelado a esses dados, o cadastro tridimensional auxilia na identificação dos direitos legais da propriedade, incluindo RRR (*rights, responsibilities and restrictions* – direito, responsabilidades e restrições).

De acordo com Stoter & Zevenbergen (2006), para que se desenvolva um sistema útil de registros em 3D, é importante entender e observar as reais necessidades do Cadastro com respeito às representações tridimensionais. Estas necessidades consistem em:

- Caracterizar a situação legal das propriedades;
- Fornecer a informação da situação legal desses objetos.

Para aplicar o cadastro tridimensional para o direito real de laje, faz-se necessário um estudo das titularidades e de sua topologia, uma vez que o proprietário da construção original possui uma matrícula correspondente ao terreno e sua construção-base, enquanto que o lajeário terá direito apenas à construção em sobrelevação ou infrapartição. De acordo com Loureiro (2017), o titular da laje não tem direito sobre a fração ideal do terreno onde se assentam as duas construções, em que o terreno pertence exclusivamente ao proprietário e o mesmo é concedente do direito real de laje. O autor ainda afirma que, nesse caso, haverá duplo ato registrário, em que a primeira situação é a de averbação na matrícula do imóvel do concedente transmitente, que sofrerá o ônus. A averbação é fundamental para que terceiros tenham conhecimento que o imóvel não abrange a construção existente sobre a laje. O segundo ato é de registro em sentido estrito, a ser lançado na matrícula especialmente aberta para a nova unidade imobiliária receber o direito de laje. A descrição do imóvel na matrícula deverá deixar absolutamente claro que o objeto é apenas a construção sobre a laje, e jamais o terreno onde ela se assenta (LOUREIRO, 2017).

2.3. A laje como unidade territorial do Cadastro

No conceito internacional do cadastro, publicado pela FIG (1998), a parcela é a sua unidade territorial básica e deve ter os seus limites identificados. Genericamente, a parcela é definida como "uma porção do solo com condições homogêneas de domínio", mas esse entendimento pode variar de um país para o outro, de acordo com a sua cultura e base legal. Esse é o conceito proposto pelas diretrizes para o CTM (Portaria 511/2009), e sua implementação tem sido testada, de acordo com a ISO 19.152 (*Land Administration Domain Model*) (ver SANTOS, 2013; FREDERICO,2014; COSTA, 2016).

Diante dessas características, a definição dos limites de cada parcela é de suma importância, uma vez que define a parcela no terreno e restabelece essas fronteiras, o que evita dúvidas na obtenção das informações cadastrais. As considerações feitas por Santos et al (2013), aplicadas à parcela como unidade de condições homogêneas de domínio, traz algumas questões como:

- A unidade territorial do registro de imóveis é o bem imóvel, devendo ser caracterizado de forma inequívoca, indicando o registro de origem.
- Para o cadastro dos municípios do Brasil, a unidade territorial adotada geralmente é o imóvel, onde no cadastro pode haver imóveis formais ou informais, e um imóvel pode ser constituído de mais de uma situação de domínio.

De acordo com o modelo Cadastro 2014 (KAUFMANN & STEUDLER, 1998 apud SANTOS et al.,2013), o mesmo estabelece novos conceitos, diferenciando a parcela e o objeto territorial em que:

- **Parcela**: porção de terra com limites definidos, sobre a qual se aplica o direito de propriedade a um indivíduo ou pessoa jurídica.
- **Objeto territorial**: porção de terra com condições homogêneas em seus limites, sendo que o objeto territorial legal é descrito pelo conteúdo legal de um direito ou restrição e pelos limites nos quais esses direitos e restrições se aplicam. Já os objetos territoriais físicos são aqueles que se referem às construções e ruas, por exemplo.

Na análise da aplicação do conceito de parcela no cadastro urbano brasileiro, as autoras Santos et. al. (2013) concluem que a consideração da parcela como uma porção do solo possuída por uma pessoa ou por várias *pro indiviso* (sem existência autônoma da parte) parece ser adequada, pelo menos para os casos analisados. A adoção do conceito de objetos territoriais resolve a questão da ligação do solo com a edificação, nos casos de posse distinta, e também de distintos usos e limites administrativos.

A parcela está, pois, diretamente relacionada ao solo. Esta ligação permite ao cadastro, obter informações de localização, coordenadas, direitos de propriedade, proprietário e também o valor da terra relacionado ao valor de imposto, melhorias entre outros. A unidade laje, no entanto, é independente do solo, como explicado anteriormente. Nesse caso, o Cadastro 3D pode melhor individualizar os direitos referentes ao solo, construção-base e laje.

Quando se trata do Cadastro 3D, Paixão et al (2012) cita alguns desafios para a sua implementação, como a falta de representação espacial em 3D e a informação temporal inexistente, principalmente no sistema cadastral. Já nos serviços registrais, casos como o dos apartamentos são ligados à matrícula do imóvel que deu origem ao prédio, sem informação gráfica individualizada, como se observa em alguns países.

Com o intuito de trazer essa representação tridimensional para identificar a parcela no direito de laje, é de fundamental importância que este direito não seja correlacionado ou confundido com a condição de condomínio edilício, abordado na Lei 4.591/64. A referida lei diz que: "*Cada unidade caberá, como parte inseparável, uma fração ideal do terreno e coisas comuns*". Já para a laje, além de ser uma unidade autônoma e não haver áreas comuns entre as edificações, também não possui fração do terreno.

2.4. Uma proposta de representação do Direito de laje no Cadastro 3D – estudo de caso

Diante da complexidade e da necessidade de se obter dados das edificações, a laje apresenta algumas peculiaridades jurídicas e cadastrais, uma vez que não basta apenas informações bidimensionais para representá-la. Para efetivar a laje de forma independente no contexto moderno do georreferenciamento, deve-se levar em consideração na descrição do seu registro, a posição tridimensional (X, Y, Z) ou (E, N, h) em relação a um sistema de projeção associado ao SGB (Sistema Geodésico Brasileiro) ou até mesmo a descrição nas próprias coordenadas elipsoidais do SGB, sendo estas latitude ($\boldsymbol{\phi}$), longitude ($\boldsymbol{\lambda}$) e altitude elipsoidal (h).

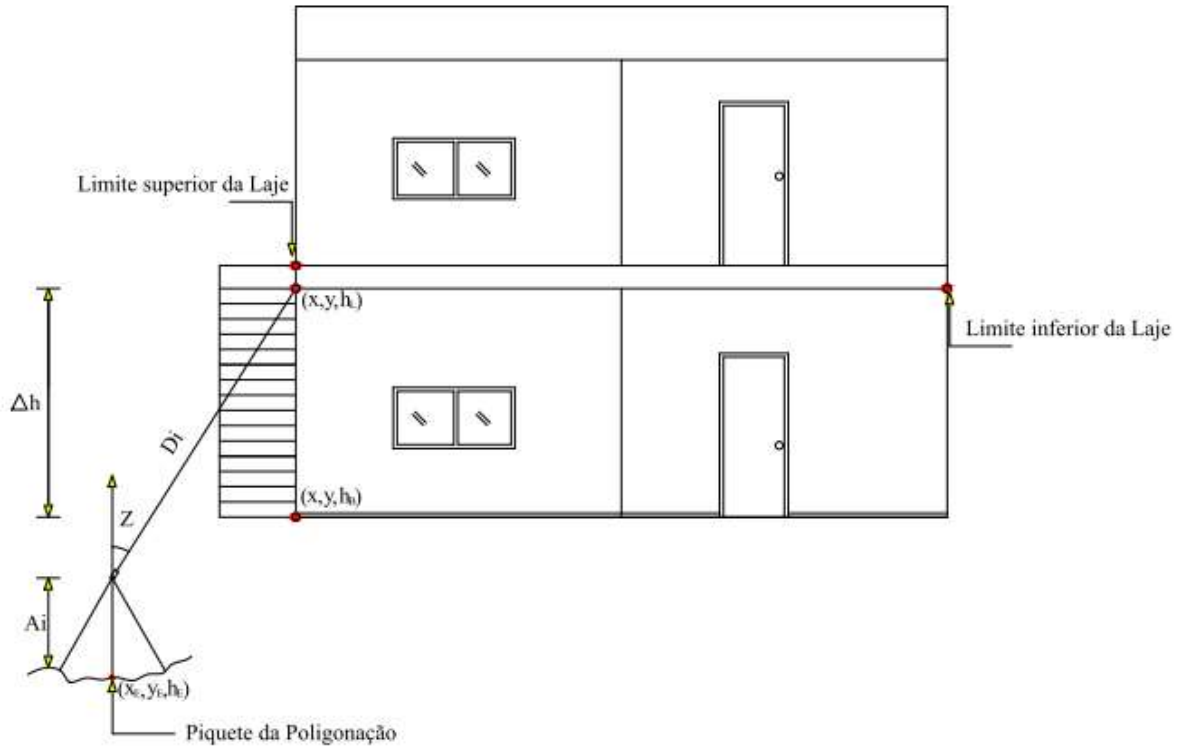
Com isso, para se obter dados tridimensionais, vários métodos podem ser aplicados, sendo estes topográficos ou geodésicos. A ressalva dos métodos topográficos é que estes sejam atrelados a uma Rede de Referência Cadastral, que por sua vez encontra-se georreferenciada. Em relação aos métodos geodésicos que podem ser aplicados a esse tipo de levantamento, estão os métodos relativos Stop and Go, Estático Rápido e RTK. A diferenciação desses métodos pode ser vista pelas seguintes caracterizações:

- *Stop and Go*: esse método de posicionamento consiste em se garantir a solução das ambiguidades nas primeiras épocas de rastreio de um par de receptores, onde um é base e outro móvel, e posteriormente, sem que haja perda dos sinais dos satélites, deslocar o receptor móvel para os pontos de interesse e marcar sua posição numa coletora. Essas paradas para o registro do ponto (stop) e em seguida o deslocamento para o novo ponto (go) é que dão nome ao método (*Stop and Go*). Com o pós-processamento dos dados rastreados com a condição inicial das ambiguidades resolvidas por alguma técnica de inicialização o posicionamento fica garantido ter poucos centímetros de erro.
- Estático Rápido: o posicionamento relativo estático rápido é caracterizado por dois ou mais receptores rastrearem de forma simultânea, os satélites visíveis por um tempo de até 20 minutos. Nas condições de linha de base curta o tempo de 20minutos é suficiente para que as ambiguidades sejam resolvidas mesmo com receptores de simples frequência (GARNÉS, 2001).

- Método RTK (Real Time Kinematic): consiste em resolver ambiguidades com ajustamento sequencial em tempo real e durante a trajetória do receptor móvel (*on the fly*). Para isso, a coletora em que o software de resolução de ambuiguidades está em execução, recebe as correções da fase da portadora da estação base, por meio de um link de rádio e as aplica com os dados de observação do receptor móvel a qual a coletora está ligada. Desta forma, a cada época, e em tempo real, se tem posicionamento com poucos centímetros de erro ou até mesmo poucos milímetros, dependendo da quantidade e da geometria dos satélites envolvidos.

No que se refere aos métodos topográficos, pode-se utilizar a poligonação por meio do levantamento planialtimétrico em que a cota da laje é obtida a partir do nivelamento trigonométrico, onde são medidas a altura do instrumento (Ai), a distância inclinada (Di), o ângulo zenital (z) e a altura do prisma (Ap=0 se não for utilizado prisma) na inferior da laje, conforme o exemplo ilustrado na figura 2 dado a partir de um estudo de caso na cidade de Igarassu - PE, localizado no bairro Cruz de Rebouças.

Figura 2 - Obtenção da cota da laje por meio do método da poligonação e levantamento trigonométrico.



Fonte: autores (2018).

A equação que permite obter as coordenadas 3D da construção base e da laje pela poligonação e nivelamento trigonométrico são:

$$h_L = h_E + Ai + D_i cosz_{EL} - Ap_L \quad (1)$$

$$h_B = h_E + Ai + D_i cosz_{EB} - Ap_B \quad (2)$$

Onde:

h_L, h_B, h_E : cotas ou altitudes da laje, da construção base, da estação poligonal, respectivamente;
Ai: altura do instrumento;
Z: ângulo zenital;
Di: distância inclinada.

A figura 3 ilustra como esse procedimento é realizado em campo, numa poligonação topográfica (fig. 3a e 3b). Além do nivelamento trigonométrico, pode ser usada também para obter a coordenadas (h) da laje, no cadastro 3D, a medição com a trena (fig. 3c) e a medição com estádia (fig. 3d).

Figura 3 - Poligonação Topográfica e medições com a trena e com a estádia da cota da laje.

Fonte: autores (2108).

No caso do posicionamento com GNSS pelos métodos descritos anteriormente, deve-se levar em conta que pelo menos uma região do céu esteja livre de obstruções, para que seja possível a resolução das ambuiguidades e se tenha um posicionamento preciso. A figura (4) ilustra como deve ser posicionada a antena para a coleta dos dados e mostra a região do céu com desobstrução para recebimento dos sinais dos satélites.

Figura 4 - Posicionamento por Satélite (GNSS).

Fonte: autores (2018).

Diante dos conceitos apresentados de parcela, foi feita uma análise especificamente para um imóvel que se caracteriza no Direito Real de Laje, de acordo com a figura (5). A partir disso, viu-se a necessidade de incluir a laje como uma unidade cadastral utilizando o cadastro tridimensional. Segundo Santos et al (2013), as edificações que integram a parcela cadastral também podem receber códigos no cadastro, sendo estas caracterizadas como unidades autônomas ou unidades de avaliação.

Ainda conforme os referidos autores, o cadastro permite a abertura de subunidades cadastrais para o mesmo imóvel, de acordo com três características:

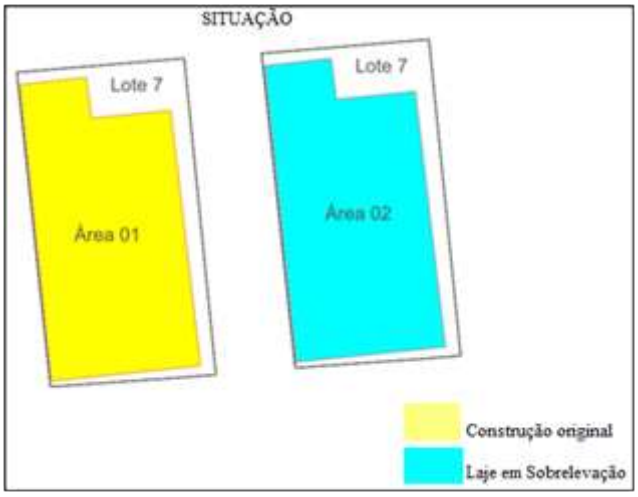
- Localização: quando a parcela possui parte urbana e parte rural;
- Regime Jurídico: quando as construções no mesmo lote pertencem a mais de um possuidor e o acesso às edificações são independentes, sendo o proprietário de direito e ou proprietário de fato;
- Uso distinto: quando a construção ou o terreno possui mais de um uso, residencial/comercial, no caso das construções, ou uso rural/urbano no caso do terreno.

Figura 5 - Fachada dos imóveis em análise.

Fonte: autores (2018).

O fato em questão baseia-se em dois imóveis situados no mesmo lote em área urbana, conforme a figura 6, em que a área 01 corresponde a construção – base e a área 02 refere-se a laje, onde a configuração de suas áreas são equivalentes. O dono do lote também é proprietário dos imóveis, ambos de uso residencial, com acessos independentes para cada edificação e acesso comum para o lote. Nesta situação, deve-se abrir uma nova matrícula para a laje em que o proprietário concede o direito ao lajeário. A matrícula para a nova unidade só tem ligação com o terreno para fins de localização do imóvel e conforme Loureiro (2017), deve-se conter a descrição com as medidas perimetrais e os seus confrontantes.

Figura 6 - Situação jurídica dos imóveis.



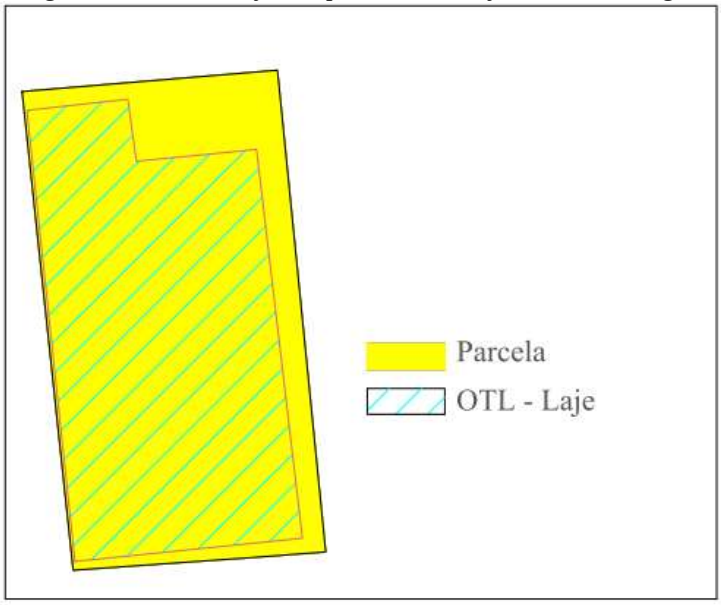
Fonte: autores (2018).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A modelagem tridimensional permite a definição de objetos acima e abaixo da superfície. A grande problemática é a restrição do Direito Real de Laje, uma vez que a laje é limitada à construção de origem. Ressalta-se que no cadastro urbano, esta unidade autônoma pode ser considerada como uma subunidade, mas quando se aplica o conceito de parcela, ela possui a restrição de não ter fração ideal no terreno. Com isso, a situação real demonstra algumas peculiaridades quanto a questão da independência da unidade, uma vez que a escada de acesso para o pavimento superior se encontra dentro do lote pertencente ao proprietário da construção original, mas não constitui parte da construção base e seria de uso comum a eventuais sobrelajes. Entende-se que juridicamente e conforme a lei isso se caracteriza como coisa afetada ao uso de todo o edifício.

Diante deste cenário, o cadastro 3D possibilita que a laje seja caracterizada como Objeto Territorial Legal - OTL, sendo este descrito pelo conteúdo legal de um direito ou restrição e pelos limites nos quais estes direitos e restrições se aplicam. Conforme a figura 7, demonstra a situação cadastral tridimensionalmente, em que se tem a parcela referente ao terreno referente a matrícula 01 e a laje como objeto territorial legal, referente a matrícula 02.

Figura 7 - Demonstração da parcela e do objeto territorial legal.



Fonte: autores (2018).

Juridicamente, o Direito Real de Laje veio como uma forma de regularização para os moradores em sua maioria de baixa renda, onde este direito foi conquistado ao longo dos anos, permitindo a legalização de edificações com essas características. Para o cadastro urbano e o RI, a laje é tratada como uma subunidade, tendo um único proprietário, uso e característica homogênea de domínio, possuindo uma matrícula própria averbada, já que para o registro de imóveis, o que lhe cabe é o bem imóvel.

4. CONCLUSÕES

No presente cenário, constatou-se que a parcela a ser cadastrada é a da construção original, possuindo um identificador único, não sendo possível aplicar o conceito de parcela ao Direito Real de Laje, por não possuir ligação com o solo, no entanto entende-se que a laje como unidade a ser cadastrada é um OTL. Quanto à averbação de sua matrícula, se faz necessário discriminar a concessão pelo proprietário e a única ligação que haverá entre a laje e o terreno é a localização, conforme os dados descritivos da nova matrícula e além disso, tanto para o cadastro quanto para o RI, a matrícula referente a Laje deverá estar descrita com os mesmos confrontantes da parcela a qual está inserida.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Projeto de Extensão “Regularização Fundiária de Assentamentos Habitacionais na Região Metropolitana do Recife”, em TED com o Ministério das Cidades, pela oportunidade de aprendizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13133: Execução de Levantamento Topográfico.** Rio de Janeiro – RJ, 1994.

ANTUNES, A. F. B. **Elementos do Cadastro Territorial Multifinalitáio (CTM)**. Cadastro técnico rural e urbano. Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná - UFPR, p. 101, 2017.

BELLUCCI, R. G. **O Direito de Laje e a Problemática do Registo Imobiliário**. Curso de Direito, UNIFACS, Bahia, p.14, 2011.

BRASIL. **LEI Nº 4.591/64. Dispõe sôbre o condomínio em edificações e as incorporações imobiliárias**. Diário Oficial, Brasília, DF, 16 Dez. 1964.

BRASIL. **LEI Nº 13.465/17. Dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana, sobre a liquidação de créditos concedidos aos assentados da reforma agrária e sobre a regularização fundiária no âmbito da Amazônia Legal;**

institui mecanismos para aprimorar a eficiência dos procedimentos de alienação de imóveis da União; altera as Leis nos 8.629. Diário Oficial, Brasília, DF, 11 Jul. 2017.

BRUM, E. V. P.; OLIVEIRA, F. H. & RÉGIS, G. A Inconsistência na Descrição dos Perímetros das Parcelas Urbanas. **COBRAC – 12º Congresso de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial, 10º Encontro de Cadastro Técnico Multifinalitário para os países do Mercosul & 7º Encontro de Cadastro Técnico Multifinalitário para os países da América Latina – UFSC**. ISBN 1980-4520. Florianópolis/SC, Outubro, 2016.

CARNEIRO, A. F. T.; ERBA, D. A. & AUGUSTO, E. A. A. Cadastro Multifinalitário 3D: Conceitos e Perspectivas de Implantação no Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia.** Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, Nº 64/2: 257-271, 2011.

FARIAS, C. C.; DEBS, M. E. & DIAS, W. I. **Direito de Laje: do puxadinho à digna moradia**. Editora: JusPODIVM, p. 240. 2018.

GARNÉS, S.J.A. **Resolução das ambiguidades GPS para linhas de base curta: análise dos algoritmos de otimização**. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (Tese). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO 19152: Geographic information — Land. Administration Domain Model (LADM). Information géographique – Modèle ou domaine de I'administration des terres (LADM).** First edition. 2012.

JUNIOR, R. P. de A. O direito de laje não é um novo direito real, mas um direito de superfície. - **Revista Consultor Jurídico**, p. 1-4, 2 de janeiro de 2017.

LOUREIRO, F. E. **Direito de Laje e Superfície.** Disponível em: http://iregistradores.org.br/direito-de-laje-e-superficie/. Acesso: 23 agosto 2018.

MAZZEI, R. **Direito de Superfície**. Salvador: Editora: JusPODIVM, p. 357. 2013.

MINISTÉRIO DA FAZENDA. **Portaria nº 511, de 20 de outubro de 2009. Art. 1° Ajustar a programação de pagamento de que trata o Anexo VIII da Portaria Interministerial MP/MF no 64, de 30 de março de 2009, na forma do Anexo a esta Portaria.** Diário Oficial, Brasília, DF, 20 Out. 2009.

PAIXÃO, S. K. S.; NICHOLS, S. & CARNEIRO, A. F. T. Cadastro Territorial Multifinalitário: Dados e Problemas de Implementação do Convencional ao 3D e 4D. **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, Curitiba, v. 18, nº 1, p.3-21, 2012.

PANCHINIAK, T.; OLIVEIRA, F. H. & RIBAS, R. P. **O Cadastro 3D no Brasil – Similaridades e Diferenças entre a portaria 511/2009 e a ISSO 19.152**. Anais, XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Exposicarta 6 a 9 de novembro de 2017, SBC, Rio de Janeiro / RJ, p.1034-1038. 2017.

REVISTA BRASILEIRA DE POLÍTICAS PÚBLICAS. Regularização Fundiária. ISSN 2236-1677. Vol. 7, nº 1 – Brasília: UniCEUB, 2011.

SANTOS, J. C. dos; FARIAS, E. S. F. & CARNEIRO, A. F. T. Análise de Parcela como Unidade Territorial do Cadastro Urbano Brasileiro. **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, Curitiba, v. 19, nº 4, p.574-587, 2013.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy**. Walter de Gruyter, New York: 1993.
SILVA, R. M.; COSTA, T. S. P. S.; PURIFICAÇÃO, N. R. S. & CARNEIRO, A. F. T. Análise da Situação Atual do Cadastro 3D de Apartamentos. **Anais, VI Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. UFPE, Centro de Tecnologia e Geociências, Recife/PE, agosto, 2016.

SOUZA, Wendson de O., PIMENTEL, Juvíneo da S., CARNEIRO, Andrea F. T. **Cadastro 3D e 4D: a Realidade Territorial no Espaço e Tempo.** Anais, XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de Abril a 05 de maio de 2011, INPE p.2522.

STOTER, J.; ZEVENBERGEN, J. **Changes in the definition of property: A consideration for a 3D Cadastral Registration System.** Disponível em <http://www.fig.net/pub/proceedings/korea/full-papers/session27/stoter-zevenbergen.htm>. Acesso: 21 agosto 2018.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.

ESTUDO DA APLICABILIDADE DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NO CADASTRO TÉCNICO IMOBILIÁRIO DO MUNICÍPIO MACEIÓ, AL

FERNANDO AMORIM ALBUQUERQUE

KARINA MENDONÇA TENÓRIO DE MAGALHÃES

LUANNE DE ANDRADE BRANDÃO

MONAIRA CRISTIANE ALCIDES DA COSTA

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Ciências Agrárias – CECA, Rio Largo, AL
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU, Maceió, AL
Centro Universitário Tiradentes – UNIT, Maceió, AL
fernando_crvg@hotmail.com, karidemagalhaes@gmail.com, brandaoluanne@gmail.com, monairacristiane@hotmail.com

RESUMO - O presente artigo tem como objetivo central analisar a aplicabilidade do Sistema de Informação Geográfica - SIG no Cadastro Técnico Imobiliário do Município de Maceió, através da compatibilização de dados alfanuméricos com dados gráficos e a criação de projetos que auxiliem nas demandas de trabalho e contribuam significativamente para uma boa estruturação da gestão urbana municipal. Para alcançar o objetivo estabelecido, utilizou-se como metodologia de pesquisa a revisão de literatura, obtendo o embasamento sobre os conceitos de SIG e do seu funcionamento aliado aos Cadastros Técnicos Municipais e definiu-se a área de estudo para a compatibilização de informações entre os dois bancos de dados. A área escolhida para o trabalho foi o Loteamento Aldebaran (Alfa e Ômega), localizada no bairro Jardim Petrópolis, Maceió-AL. Vale ressaltar que o aprimoramento das informações dos Cadastros Técnicos é de fundamental importância para um melhor planejamento urbano.

ABSTRACT - The present article aims to analyze the applicability of Geographic Information System (GIS) in the Real Estate Technical Register of Maceió city through the compatibilization of alphanumeric and graphic data and the creation of projects that help with work demands and significantly contribute to a satisfactory structuring at municipal urban management. In order to reach the objective, the literature review was used as research methodology, obtaining the basis on GIS concepts and its operation together with the Municipal Technical Records, and the definition of the study area for the information compatibility between the two databases. The chosen work area was the Aldebaran allotment (named Alpha and Omega), located in Jardim Petrópolis neighborhood, Maceió-AL. It is emphasized that the information enhancement of the Technical Register is fundamental to a better urban planning

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Federação Internacional de Geômetras – FIG (1998), Cadastro é o sistema de informações atualizado que contém um registro de interesses sobre a terra urbana, bem como a descrição geométrica das parcelas, seus valores e benfeitorias. De acordo com Henssen (1990) o Cadastro relaciona-se ao registro da terra e a sua utilização, sendo este registro formado por duas partes: a base cartográfica e os dados descritivos contendo as mais diversas informações sobre a propriedade.

O Cadastro do Município de Maceió dispõe desses dois bancos de informações de maneira individualizada e não vinculada. A base cartográfica é disponível no formato DWG, através do software Autocad e os dados alfanuméricos – contendo as informações sobre os respectivos lotes – acessível em um sistema chamado e-Ágata. Porém, essa independência dos bancos de informações pode gerar dados distorcidos e consequentemente, imprecisão nas informações passadas.

O presente trabalho tem como objetivo analisar a aplicação do Sistema de Informações Geográficas no Cadastro Técnico Imobiliário do Município de Maceió, através da ferramenta Qgis, integrando as informações gráficas e alfanuméricas, buscando aperfeiçoar o funcionamento das atividades relacionadas ao planejamento urbano de Maceió. Para a execução deste trabalho, foram utilizados os dados espaciais e alfanuméricos da Secretaria Municipal de Economia de Maceió - SEMEC para a criação de um projeto piloto desenvolvido durante o Programa SEMEC Acadêmica 2018, que busca a construção de um Cadastro Técnico Imobiliário efetivo visando à implementação de um Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM).

Segundo SABOYA (2000), o CTM integra informações gráficas (cartográficas) às informações alfanuméricas em um mesmo sistema, servindo de base para os mais diversos órgãos da cidade, proporcionando desta forma, informações unificadas e padronizadas para uma completa gestão dos municípios.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Trabalhar com o território, em especial o urbano, requer uma compreensão de suas especificidades, possibilitando um planejamento mais adequado e consciente da cidade. Dessa forma, o Cadastro Técnico Imobiliário exerce um papel importante no auxílio e controle da gestão territorial de um município, visto que este é o responsável pela obtenção de dados e registros que viabilizam o cadastramento de imóveis. Consequentemente se faz necessário o uso de ferramentas tecnológicas que permitam o levantamento, a análise e a manipulação de dados geográficos precisos e atualizados.

De acordo com Costa (2014), utilizar tecnologias de informação avançadas proporciona ao gestor municipal a identificação de problemas e a melhor maneira para solucioná-los. Para o autor,

> [...] o auxílio de dados específicos de caracterização municipal, tais como informações relativas a setores censitários, imagens de satélite, fotos aéreas e base de dados geográficos previamente produzidos por empresas especializadas, podem-se identificar praticamente os problemas mais graves que um município apresenta, como falta de infraestrutura básica, crescimento urbano desordenado, zonas de risco para construção de edificações, entre outros. (COSTA, 2014, p.14)

Uma alternativa que possibilita a unificação de informações do banco de dados de um cadastro imobiliário é a aplicação de um Sistema de Informações Geográficas - SIG, reduzindo tempo de trabalho e suprimindo erros. Segundo Câmara e Ortiz (1998, p. 1) um SIG é responsável por "[...] integrar numa única base de dados as informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno." Com isso, a efetivação do sistema facilita o planejamento e a gestão urbana de uma cidade, no que diz respeito às etapas de levantamento de dados, planejamento e medição de resultados, proporcionando um cadastro territorial mais atualizado.

De maneira simplificada, enxergar os problemas e onde eles ocorrem, facilita a compreensão e suscita as possíveis soluções para remedia-los. A visualização e a análise espacial correta das características físicas, geográficas e topográficas, proporcionam um resultado mais eficiente, reduzindo o tempo de trabalho e o dinheiro investido pelo município.

[1] Versão 2.14.4 disponível em: < https://www.qgis.org/pt_BR/site/>.

[2] Arapiraca, município no interior de Alagoas e Belo Horizonte, capital de Minas Gerais.

3 METODOLOGIA DO TRABALHO

A primeira etapa consistiu no levantamento bibliográfico em trabalhos científicos, com intuito de aprofundar o conceito de Sistema de Informações Geográficas - SIG, abordando o funcionamento do software livre Qgis[1] e analisando a sua aplicabilidade em outros municípios[2]. Feito isso, foi definida à área de estudo, o Loteamento Aldebaran (Alfa e Ômega), localizada no bairro do Jardim Petrópolis, Maceió-AL (figura 01), definida através de alguns critérios, como parcelamento uniforme, alto padrão construtivo e regularidade no cadastramento dos imóveis, bem como as divergências nas informações – área total do lote, tipo do imóvel (territorial e predial) –, encontradas na base cartográfica georreferenciada e no banco de dados alfanuméricos.

Considerando a aplicabilidade deste Sistema na Secretaria Municipal de Economia em Maceió, visando uma melhor arrecadação tributária – como o Imposto Predial Territorial Urbano - IPTU, que leva em consideração a área do terreno (valor venal de acordo com a região inserida), o padrão construtivo e a área construída –, deve-se ressaltar a importância na atualização desses dados de forma a minimizar os déficits financeiros municipais.

Figura 1. Delimitação do loteamento Aldebaran e do bairro Jardim Petrópolis

Fonte: Elaboração autoral (2018).

Após a definição da área de estudo, foram feitas as revisões e correções gráficas da base georreferenciada, ajustando, por exemplo, as demarcações poligonais de lotes, quadras e edificações, levando em consideração as camadas (layers), que seriam essenciais para a delimitação das parcelas, sua inserção dentro do perímetro urbano, sua identificação fiscal quanto à cidade de Maceió e possíveis identificações diante das modificações dessa parcela – como desmembramento e remembramento de lotes –, ou seja, todas as camadas que sejam essenciais para identificar e caracterizar o lote urbano. Foram eles: Quadra, lote fechado, edifício particular, piscina, via pavimentada, hot atributo, remembramento, desmembramento, toponímia de rua, código de logradouro.

Na etapa seguinte foi realizada a conferência da situação cadastral de cada lote, de acordo com os dados informados no Boletim de Cadastramento Imobiliário - BCI.

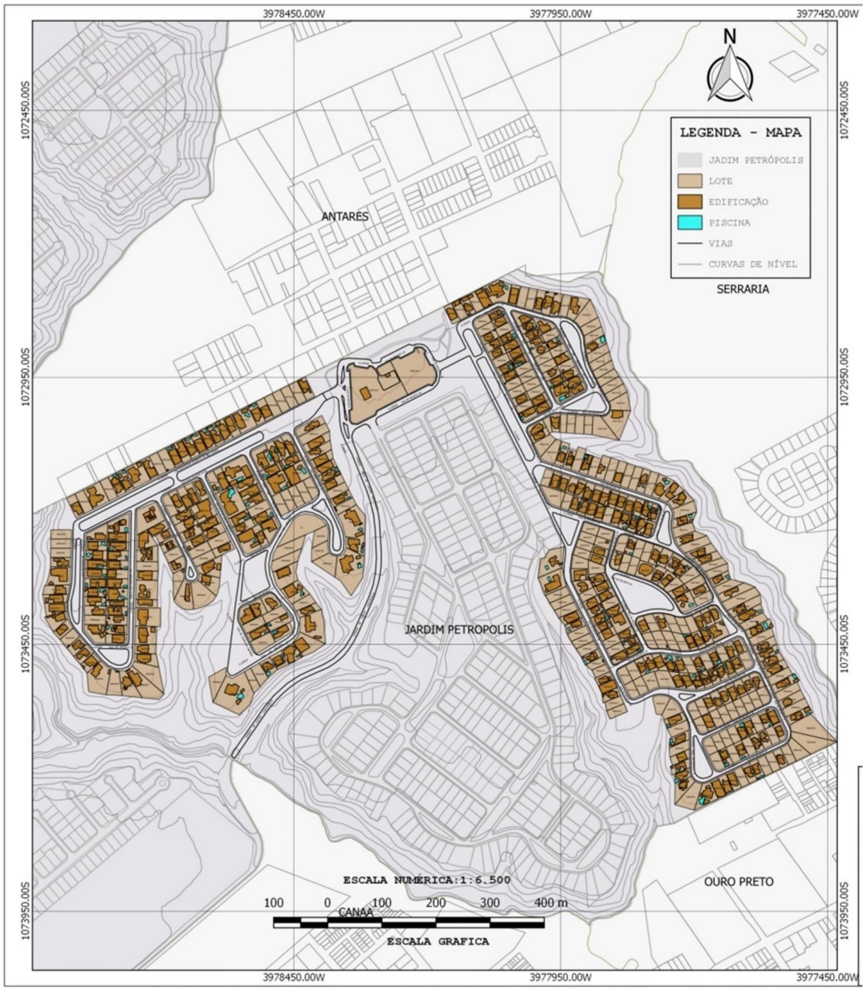
Com a base cartográfica devidamente corrigida, ainda no software AutoCAD Map 2014, implantou- se o geocódigo (setor/quadra/lote) em cada lote e por fim desta etapa, unificou- se todas as quadras tratadas. Após isso, criou-se o arquivo no formato shape, utilizando o programa Qgis.

Posto isto, foram lançadas todas as camadas exportadas e realizado um último tratamento antes da compatibilização do banco de dados com a base. Por fim, foram elaborados mapas temáticos – representações gráficas e ilustradas da superfície terrestre.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Acredita-se que o maior desafio na criação do SIG é o processo de vinculação e tratamento do banco de dados para representação real da área em estudo, porém, com as devidas correções feitas através do programa Qgis, foi possível a elaboração de diversas análises, permitindo uma visão geral da área de estudo conforme a figura 02.

Figura 2. Área de Estudo - Loteamento Aldebaran – Alfa e Omega, Jardim Petrópolis, Maceió-AL.



Fonte: Elaboração autoral (2018).

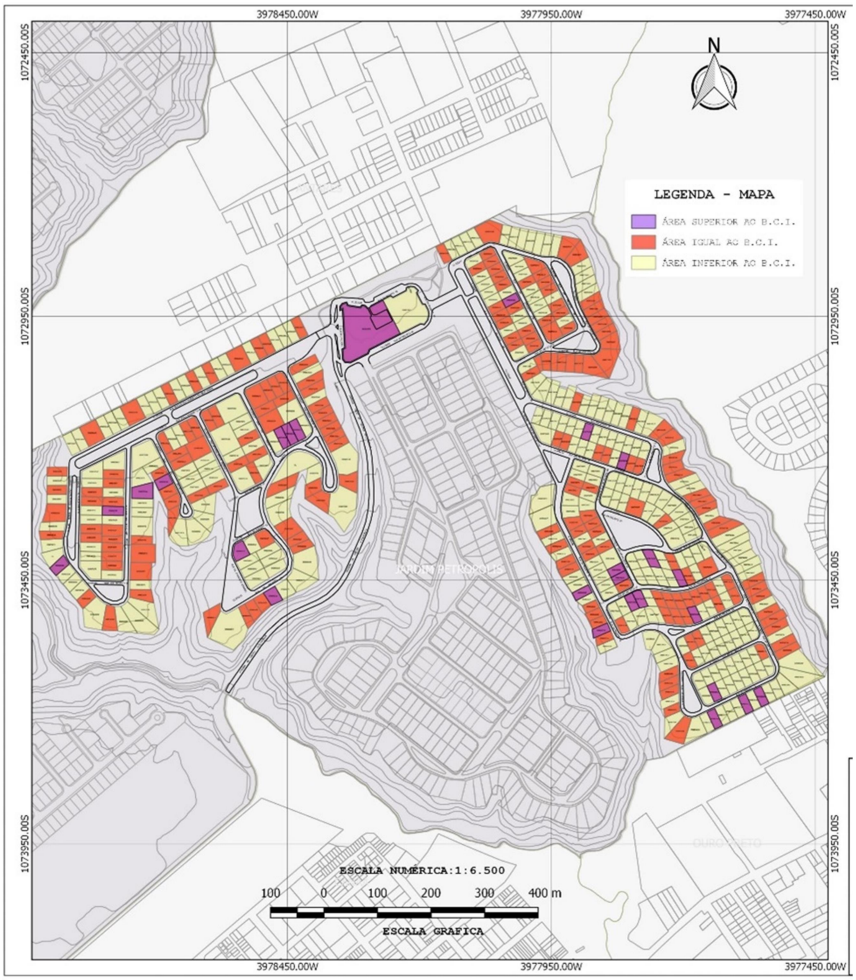
Através da criação do Sistema de Informações Geográficas - SIG, foi possível identificar o comportamento das áreas referentes aos lotes que apresentam divergências quanto às áreas descritas no Boletim de Cadastramento Imobiliário (BCI), como é possível observar na tabela 1 e na figura 3.

Tabela 1. Percentual dos imóveis com divergência no BCI.

QUANTITATIVO – TIPO DE IMÓVEL		
Tipo do imóvel	**Quantidade de imóveis**	**Percentual (%)**
Área inferior ao B.C.I.	281	55,98
Área igual ao B.C.I.	195	38,85
Área superior ao B.C.I.	26	5,18
Total	**502**	**100**

Fonte: Elaboração autoral (2018).

Figura 3. Análise da área dos lotes - Loteamento Aldebaran – Alfa e Omega, Jardim Petrópolis, Maceió-AL.

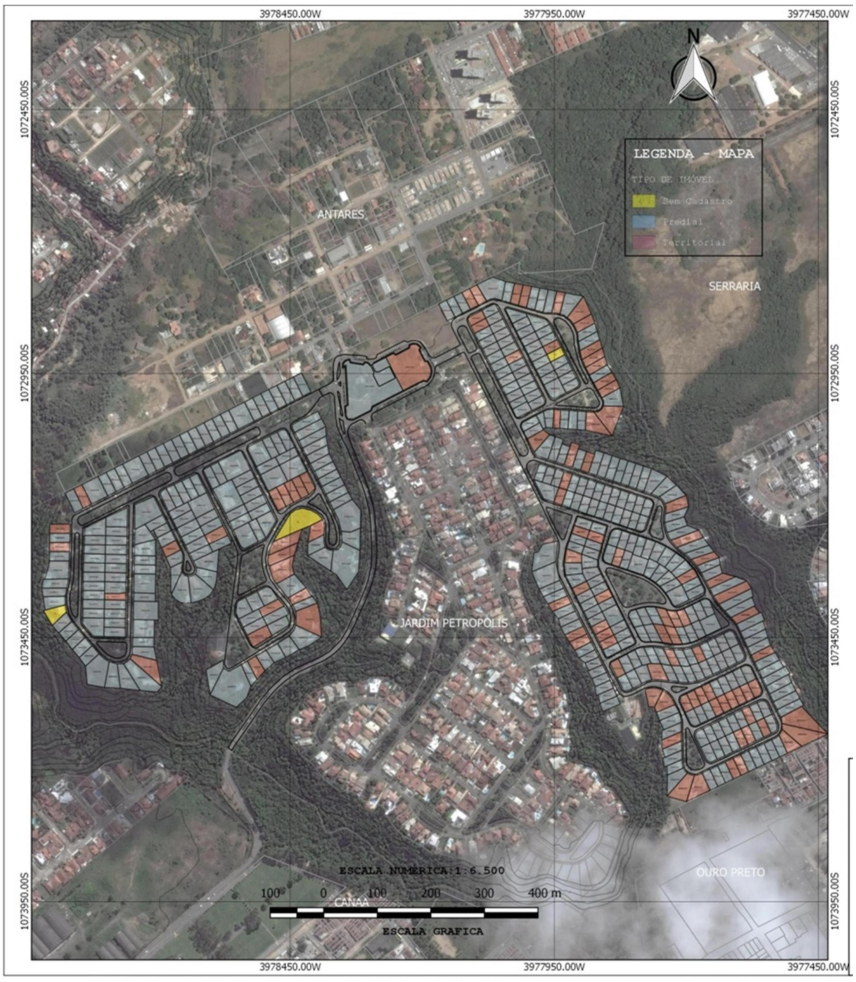


Fonte: Elaboração autoral (2018).

Mediante as informações expostas na tabela 1 foi possível identificar que em 61,16% dos lotes analisados houveram divergência entre a área que consta na base cartográfica e a área descrita no BCI, na qual destes, aproximadamente 55,98% tem área inferior ao BCI e apenas 5,18% apresenta área superior, impactando diretamente na arrecadação tributária e consecutivamente na veracidade das informações passadas.

Também foram analisados os imóveis em função da tipologia (prediais, territoriais e não cadastrados) descrita no BCI conforme figura 04. Vale ressaltar a importância de comparar a quantidade de pavimentos presentes na base cartográfica com os dados alfanuméricos, visto que possibilita uma noção mais aproximada do comportamento espacial das edificações, em relação aos planos horizontal e vertical.

Figura 4. Análise da tipologia dos imóveis – Loteamento Aldebaran – Alfa e Omega, Jardim Petrópolis, Maceió-AL.



Fonte: Elaboração autoral (2018).

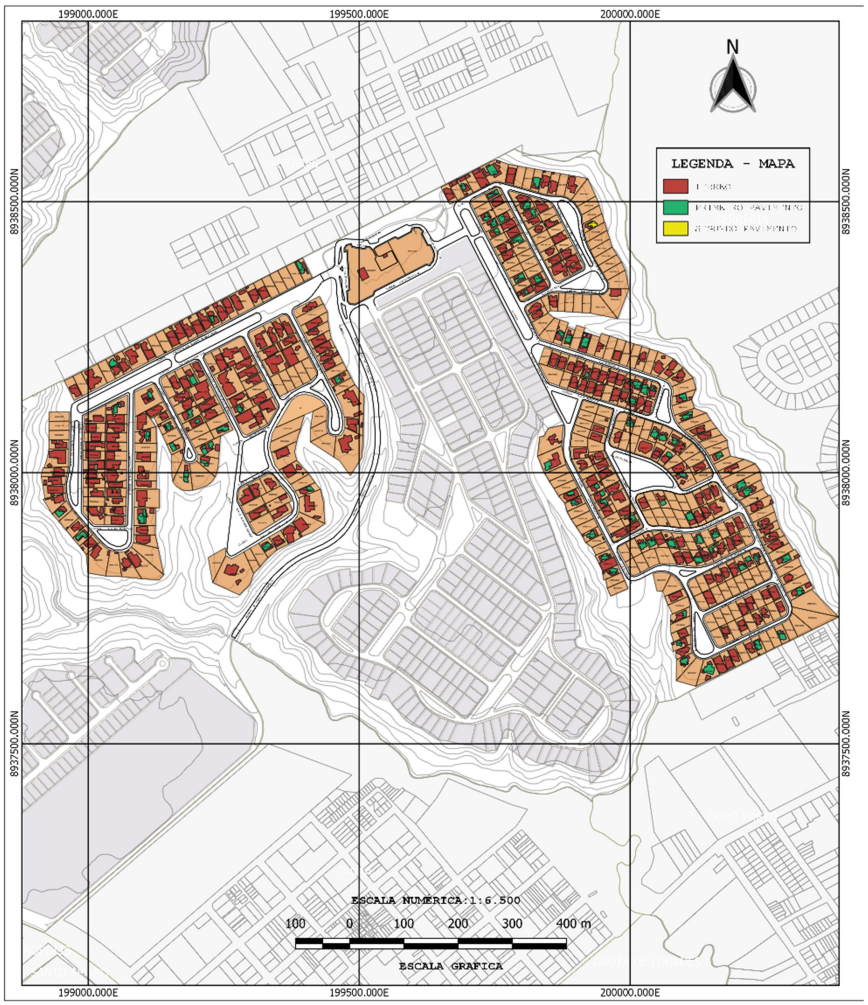
Ao analisar o comportamento do número de pavimentos presentes na base cartográfica e os dados referentes ao banco de dados presentes na figura 05, identificam-se inconsistências entre os tipos e a quantidade de pavimentos, tendo o térreo e o primeiro pavimento com a maior incidência de inconsciências (tabela 2).

Tabela 2. Divergência entre o número de pavimentos no BCI e na base cartográfica.

QUANTITATIVO – TIPO DE IMÓVEL		
Tipo de pavimento	**BCI**	**Base cartográfica**
Térreo	99 Imóveis	308 Imóveis
1° Pavimento	272 Imóveis	93 Imóveis
2º Pavimento	31 Imóveis	01 Imóveis
Total	**402 Imóveis**	**402 Imóveis**

Fonte: Elaboração autoral (2018).

Figura 5. Análise dos pavimentos dos imóveis – Loteamento Aldebaran – Alfa e Omega, Jardim Petrópolis, Maceió-AL.



Fonte: Elaboração autoral (2018).

Tabela 3. Percentual da tipologia dos imóveis.

Quantitativo – Tipo do imóvel		
Tipo do imóvel	Quantidade de imóveis	Percentual (%)
Sem Cadastro	03	0,60
Predial	400	79,68
Territorial	99	19,72
Total	502	100

Fonte: Elaboração autoral (2018).

A partir do que consta na tabela 3, observa-se que os imóveis presentes na área de estudo possuem caráter predominantemente do tipo predial assumindo o valor de 79,68% dos imóveis presentes no objeto estudado, apenas 19,72% possui tipologia territorial e 0,6% sem cadastro.

Em função desses valores obtidos foi possível analisar os imóveis prediais que apresentavam ou não carta de habite-se, conforme tabela 4. É válido destacar que a carta é emitida se o imóvel estiver em conformidade com parâmetros construtivos descritos no Plano Diretor Municipal. Mediante essa análise, identificou-se que cerca 30% dos imóveis do tipo predial não apresentam carta de habite-se, desta forma, o município não tem conhecimento se a obra ou reforma desses imóveis foi realizada de acordo com as exigências da Prefeitura, principalmente no que diz respeito às normas técnicas e o padrão de construções daquela região.

Tabela 4. Quantitativo dos imóveis com e sem carta de habite-se.

Carta de Habite-se		
Tipo do imóvel	Quantidade de imóveis	Percentual (%)
Predial sem Habite-se	121	30,25
Predial com Habite-se	279	69,75

Fonte: Elaboração autoral (2018).

5 CONCLUSÕES

Após a análise das informações relacionadas à aplicação do SIG, através do projeto piloto referente ao loteamento Aldebaran, no bairro Jardim Petrópolis constatou-se a eficácia no processo de inserção do software Qgis, e sua importância diante da compatibilização de dados e planejamento das atividades decorrentes do Setor de Cadastro Imobiliário.

Além disso, este projeto serviu como base para entender as deficiências na execução de atividades diárias e a necessidade de inserir uma equipe responsável por fiscalizar, notificar e regulamentar os imóveis irregulares, melhorando a qualidade dos trabalhos executados e buscando a arrecadação tributária devida, bem como a unificação dessas informações emitidas pela Prefeitura Municipal de Maceió em demais órgãos – como a identificação de melhor localização para a inserção de escolas pública, postos policiais e equipamentos públicos essenciais – informações que podem ser disponibilizadas as empresas que prestam serviços básicos, como a distribuição de água e esgoto, fornecimento de energia elétrica, coleta de lixo, mobilidade urbana, entre outros –.

Com a criação de um SIG em cada atividade exercida no município é possível a efetivação de um Cadastro Multifinalitário, na qual englobe e compatibilize os dados presentes neste grupo de atividades visando um melhor planejamento urbano e acesso de informações veiculadas em meio digital para a população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CÂMARA, G.; ORTIZ, M.J. Sistemas de Informação Geográfica para Aplicações Ambientais e Cadastrais: Uma Visão Geral. In: Souza E SILVA, M., Cartografia, Sensoriamento e Geoprocessamento, cap. 2, p.59-88.

COSTA, B.; MARINS, L.; NETO, D. Uso de geotecnologias para análise geomorfológica usando o uso e cobertura de terra no município de Niterói-RJ. SINAGEO: Geomorfologia, ambiente e sustentabilidade, 10 ed. Manaus/AM, 2014. Disponível em <http://www.sinageo.org.br/2014/trabalhos/3/3-205-451.html>. Acesso em 14 de janeiro de 2018.

FIG- INTERNATIONAL FEDERATION OF SURVEYORS. Disponível em: www.fig.net/commission7/reports/cadastre/statement_on_cadastre.html. Acesso em 04 de Agosto 2018.

HENSSEN, J. Cadastre: indispensable for development. ITC Journal. Vol 1990-p32-39. 1990.

SABOYA, R. Cadastro multifinalitário. 2010. Disponível em: <https://urbanidades.arq.br/2010/10/cadastro-tecnico-multifinalitario/>. Acesso em: 03 de Agosto de 2018.

FRAGILIDADES DO SIGEF E DA 3ª EDIÇÃO DA NTGIR: LIÇÕES DE CADASTRO PARA O SINTER

ADOLFO LINO DE ARAÚJO
FLAVIO BOSCATTO
GUILHERME BRAGHIROLLI
ROVANE MARCOS DE FRANÇA

Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC
Curso Técnico de Agrimensura
Departamento Acadêmico da Construção Civil
adolfo.lino@ifsc.edu.br, flavio.boscatto@ifsc.edu.br, guilherme.braghirolli@ifsc.edu.br, rovane@ifsc.edu.br

RESUMO – A estruturação e modernização cadastral no Brasil tiveram o seu maior avanço com a publicação da Lei Federal 10.267/2001. Embora alcance apenas os imóveis rurais, tal lei estimulou que outros instrumentos legais fossem elaborados e desenvolvidos para também absorver os princípios do cadastro em seus artigos. O INCRA é o órgão gestor do cadastro rural e, atualmente, a sua norma técnica – a NTGIR – encontra-se na terceira versão. Apesar dos avanços alcançados desde a publicação da lei, e desde o lançamento da última NTGIR, algumas fragilidades têm sido notadas tanto na norma quanto no SIGEF, tais como métodos de posicionamento em desuso, problemas no uso do sistema de projeção adotado (SGL) para o cálculo de áreas e perímetros, deficiências na planilha utilizada para certificação e presença de vazios cartográficos. Este artigo objetiva apontar e analisar algumas fragilidades da NTGIR e do SIGEF como forma de contribuir para a melhoria constante do cadastro e como forma de alerta aos novos cadastros em desenvolvimento, sobretudo na área urbana, a partir do advento do SINTER.

ABSTRACT - The cadastral structuration and modernization in Brazil had its greatest advance with the publication of Federal Law 10.267/2001. Although it only reaches rural properties, this law encouraged other legal instruments to be developed and developed to also absorb the cadastral principles in its articles. INCRA is the managing of the rural cadastre and, currently, its technical standards - NTGIR - is in the third version. Despite the advances made since the publication of the law, and since the last NTGIR was launched, some weaknesses have been noted in both the standards and SIGEF, such as unused positioning methods, problems in using the adopted projection system (SGL) for the calculation of areas and perimeters, deficiencies in the worksheet used for certification and the presence of cartographic voids. This article aims to point out and analyze some weaknesses of NTGIR and SIGEF as a way of contributing to the constant improvement of the cadastre and as a way of alerting new cadastres in development, especially in the urban area, as from the advent of SINTER.

1 INTRODUÇÃO

A terceira edição na Norma Técnica de Georreferenciamento de Imóveis Rurais – NTGIR (INCRA, 2013c) e a informatização dos processos de certificação das parcelas no Sistema de Gestão Fundiária – SIGEF trouxeram diversos benefícios ao Cadastro Territorial brasileiro. Apesar de ser aplicado somente aos imóveis rurais, o exemplo e os princípios cadastrais adotados podem ser estendidos em parte para as áreas urbanas.

Como benefícios do avanço, pode-se citar a agilidade nos processos de certificação, a padronização nas descrições dos imóveis e parcelas, além de dar ao profissional habilitado a devida responsabilidade do trabalho realizado. Faz-se oportuno lembrar que nas edições anteriores da NTGIR toda a peça técnica era elaborada pelo profissional e conferida pelo INCRA, além dos arquivos brutos das medições e relatório técnico. Atualmente não existe a conferência dos dados técnicos e o memorial descritivo é gerado automaticamente pelo SIGEF, sendo necessário o profissional apenas editar a planta quando for necessário algum processo no Cartório de Registro de Imóveis.

Entretanto, com a informatização e o novo sistema em funcionamento, percebeu-se ao longo do tempo que o SIGEF e a 3ª edição da NTGIR possuem algumas fragilidades a serem aprimoradas para o futuro e a servirem de lição aos cadastros que não se iniciaram.

O SINTER é o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais, criado pelo Decreto N° 8764/2016 com a missão de integrar em um banco de dados espaciais fluxo dinâmico de dados jurídicos produzidos pelos serviços de

registros públicos ao fluxo de dados fiscais, cadastrais e geoespaciais de imóveis urbanos e rurais produzidos pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal e pelos Municípios, sob responsabilidade da Receita Federal do Brasil – RFB (BRASIL, 2016). Conforme instituído no decreto, o SINTER deverá integrar bases de dados relacionadas a imóveis rurais e urbanos. No âmbito rural, o INCRA passará a fornecer sua base cadastral para alimentar o sistema; no âmbito urbano, as prefeituras farão esse papel. Entretanto, na ausência de normativa que oriente o reconhecimento de limites e padrões de precisão e métodos de posicionamento para os imóveis urbanos – a exemplo das publicadas pelo INCRA para os imóveis rurais – o SINTER divulgará manuais para tal finalidade.

O presente artigo visa a apontar algumas fragilidades encontradas no SIGEF e na NTGIR que vão desde os métodos de posicionamento em desuso, passando por problemas no uso do Sistema Geodésico Local para o cálculo de áreas e perímetros até deficiências na planilha utilizada para certificação e presença de vazios cartográficos. Ao apontar tais fragilidades, o artigo tem a intenção de colaborar com as versões futuras da NTGIR, e, ao mesmo tempo, de alertar os elaboradores dos manuais técnicos do SINTER para as lições cadastrais que podem ser aprendidas a partir das experiências anteriores.

2 FRAGILIDADES DO SIGEF E DA NTGIR

2.1 Adoção do Sistema Geodésico Local – SGL como sistema de projeção

Conforme indicado no Manual Técnico de Posicionamento (INCRA, 2013b), o Sistema Geodésico Local é adotado pela NTGIR para o cálculo de área das parcelas em substituição à projeção UTM adotada anteriormente. A justificativa apresentada para a adoção SGL é que os resultados de área assim obtidos expressam melhor a realidade física em comparação com o UTM. Uma nota de rodapé no capítulo 9 indica que, para fins do referido manual, são desconsideradas as possíveis distorções acarretadas pela não coincidência entre o plano topográfico da topografia clássica (perpendicular à vertical) e o utilizado no SGL (perpendicular à normal). Na prática significa que o SGL se aproxima de um Plano Topográfico Local – PTL criado exclusivamente para cada parcela certificada. Sabe-se que a projeção no sistema UTM, tendo como uma de suas características a conformidade, preserva as direções, mas deforma as distâncias e, por consequência, as áreas. Esta, entretanto, é uma vantagem apenas relativa, já que a adoção do SGL traz outros inconvenientes.

Inicialmente, pode-se apontar que o primeiro deles é que o SGL é concebido individualmente para cada parcela a partir das coordenadas médias da mesma, ou seja, o ponto de origem do sistema é criado na média das latitudes e longitudes e a altura do plano topográfico, na média das altitudes dos vértices de limite. A partir desta concepção é possível que parcelas lindeiras, possuindo cada uma o seu próprio SGL cheguem a valores lineares de confrontação diferentes, dadas as altitudes diferentes nas quais as reduções de distância serão feitas. Esta inconveniência do SGL aumenta quanto maiores forem as parcelas vizinhas e quanto mais acidentada for a região.

Em decorrência desse efeito, outro problema surge quando do desmembramento ou remembramento de parcelas certificadas, que é o fato de que a soma das áreas não seja igual às partes, o que é vedado sob pena de não se poder efetuar o registro do imóvel. No desmembramento, a soma das áreas das parcelas remanescentes, devidamente descritas em matrículas individuais, deve ser rigorosamente igual ao da matrícula mãe, o que pode ser frustrado pelo fato de se criar na certificação um SGL para cada uma das parcelas desmembradas. Situação semelhante acontecerá no remembramento.

Outro problema advindo da adoção do SGL e recorrente no SIGEF é que em muitos memoriais a soma dos lados não corresponde ao perímetro total do imóvel. Este é um problema que pode ser identificado facilmente com uma busca aleatória no SIGEF. A Figura 1 apresenta um extrato de memorial descritivo de parcela certificada no qual a soma dos lados resulta no valor de 1.816,89m, diferente do valor apresentado de 1.816,88m que foi apresentado pelo SIGEF e deveria ser rigorosamente igual ao anterior.

Figura 1 – Memorial descritivo de parcela certificada no SIGEF

Área (Sistema Geodésico Local): 11,4919 ha **Coordenadas:** Latitude, longi
Perímetro (m): 1.816,88 m

DESCRIÇÃO DA PARCELA							
VÉRTICE				SEGMENTO			
Código	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Código	Azimute	Dist. (m)	
D9Y-M-7445	-62°17'14,584"	-11°39'34,854"	306,58	D9Y-M-7444	181°38'	123,84	LOTE 18D
D9Y-M-7444	-62°17'14,701"	-11°39'38,882"	292,48	D9Y-M-7809	90°22'	400,27	LOTE 18D
D9Y-M-7809	-62°17'01,487"	-11°39'38,968"	295,09	D9Y-M-7810	178°40'	121,38	LOTE 18A
D9Y-M-7810	-62°17'01,395"	-11°39'42,917"	282,54	D9Y-M-7806	269°33'	658,28	LOTE 16
D9Y-M-7806	-62°17'23,127"	-11°39'43,085"	306,23	D9Y-M-7807	357°51'	123,35	LOTE 18C
D9Y-M-7807	-62°17'23,279"	-11°39'39,074"	308,27	D9Y-M-7808	18°22'	4,22	LOTE 18C
D9Y-M-7808	-62°17'23,235"	-11°39'38,943"	308,51	D9Y-M-7804	00°27'	124,49	LOTE 18C
D9Y-M-7804	-62°17'23,203"	-11°39'34,892"	311,2	D9Y-M-7445	89°44'	261,06	LOTE 20B

Fonte: www.sigef.gov.br

Parece haver alguma imprecisão nas sucessivas transformações de sistemas até se chegar ao SGL, o que acaba afetando o comprimento dos lados, do perímetro, ou ambos. Com esta divergência entre os lados e o perímetro no memorial gerado pelo SIGEF, o profissional pode encontrar problemas ao tentar registrar o imóvel no cartório. Sugere-se que uma projeção cartográfica adequada seja utilizada e que tal fato seja observado pelos organizadores dos manuais técnicos do SINTER, já que problema semelhante se repetirá em outros cadastros além do rural caso soluções de adoção de planos de projeção isolados para cada parcela sejam adotados, como o SGL.

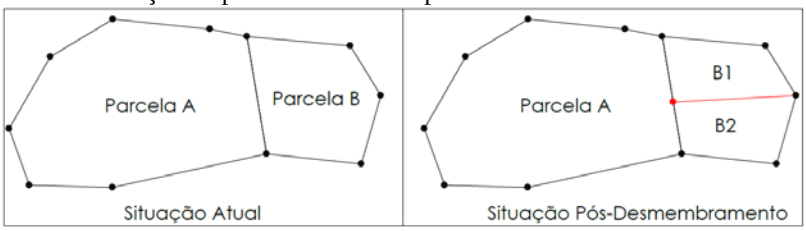
2.2 Vazios Cartográficos

Conforme o disposto na Lei 10.267/2001, e posteriormente ratificado nos decretos regulamentadores e na NTGIR, o SIGEF cuida de observar a sobreposição entre polígonos. A certificação, portanto, é definida como a submissão dos documentos apresentados pelo proprietário e responsável técnico para análise do INCRA com vistas à verificação da existência ou não de sobreposição dos limites de um imóvel com outro procurando inviabilizar a existência de camadas documentais sobre um mesmo espaço geográfico. Entretanto, este procedimento ignora a presença de vazios cartográficos, sejam acidentais ou intencionais.

A verificação de sobreposição é executada durante o procedimento de análise do SIGEF levando em consideração o tipo de limite e o respectivo padrão de precisão: 0,50m para vértices em limites artificiais, 3,00m para vértices em limites naturais e 7,50m para vértices em limites inacessíveis. Se por alguma razão ocorrer sobreposição, o SIGEF alerta o profissional responsável e o processo de certificação não vai adiante, mas se ocorrer um vazio cartográfico, ou seja, uma lacuna entre parcelas contíguas que deveriam compartilhar os mesmos vértices o sistema ignora o problema e leva a certificação adiante.

Neste sentido, uma possibilidade de ocorrência de vazio cartográfico intencional é durante o desmembramento de uma parcela já certificada que confronte com outra já certificada, situação prevista no Manual Técnico de Limites e Confrontações, no capítulo 6 intitulado Alteração de Parcela Certificada (INCRA, 2013a). Conforme indicado no referido manual e apresentado na Figura 2, se uma parcela for desmembrada e um novo vértice for adicionado alterando o perímetro da parcela lindeira (por mudança de confrontação após o desmembramento), a certificação da parcela lindeira deve ser cancelada e uma nova certificação deve ser feita. O manual transfere a responsabilidade da nova certificação, além das alterações em cartório, para o profissional credenciado responsável pelo desmembramento, inclusive com emissão de ART específica para este fim. Com este cenário, abre-se a possibilidade de que o profissional, agindo de má-fé, evite a inserção de um novo vértice que venha a interferir no memorial descritivo da parcela lindeira posicionando-o de forma a criar intencionalmente o vazio cartográfico para evitar atrair para si a responsabilidade por uma parcela que ele não levantou, nem acompanhou a certificação, como também evitar ao seu contratante os custos por uma certificação e custas cartoriais sobre imóvel que não lhe diz respeito.

Figura 2 – Alteração de parcela certificada por desmembramento de outra lindeira.



Fonte: Adaptado de INCRA (2013a)

Esta fragilidade do SIGEF é de grande relevância por contrariar o princípio cadastral da completude territorial, com a possibilidade de lacunas remanescendo entre parcelas contíguas. A fim de evitar a ocorrência dos vazios cartográficos, uma análise mais acurada deveria ser realizada no SIGEF levando em consideração o confrontante do limite (pelo número da matrícula, por exemplo) e os códigos de vértices declarados. Recomenda-se que os elaboradores dos manuais do SINTER observem cuidadosamente esta fragilidade do SIGEF a fim de elaborar uma solução, já que a dinâmica territorial em meio urbano é bem mais variada e complexa e é desejável que ao final as parcelas cadastradas cubram todo o território municipal sem a existência de sobreposições nem de vazios.

2.3 Métodos de posicionamento 2D para vértices 3D

A exigência para a coordenada 3D em parcelas que naturalmente são 2D (como no caso dos imóveis rurais) na elaboração da base cadastral e também para os registros públicos, além de desnecessária, implica numa complexidade injustificável. A 3ª edição da NTGIR exige que esse valor altimétrico seja informado para todos os vértices na tabela a ser enviada ao SIGEF para que seja utilizada no cálculo do Sistema Geodésico Local – SGL.

No entanto, alguns métodos indicados para os levantamentos das coordenadas dos vértices das parcelas não permitem a determinação da coordenada vertical e de sua precisão, ou seja, simplesmente não deveriam ser utilizados para este fim.

Como exemplo se pode citar os seguintes:

i. Método da interseção linear (PT6)
ii. Método da interseção angular (PT7)
iii. Método da paralela (PA1)
iv. Método da interseção de retas (PA2)
v. Método do alinhamento (PA8)
vi. Sensores Orbitais (PS4)

A falta de conhecimento e de orientação a respeito do SGL vem gerando uma série de problemas quando os métodos com solução planimétrica são utilizados. Parte dos profissionais tem deixado as altitudes com valor zero, ou valores altimétricos iguais para todos os vértices da parcela, assim como valor zero também para as precisões na planilha de dados cartográficos do SIGEF. A Figura 3 mostra um conjunto vértices de uma parcela certificada no SIGEF como valor zero nos sigmas da latitude e longitude e, além disso, apresenta valores de altitude para pontos obtidos por cálculos analíticos, ou seja, que não permitem calcular a altitude, mas que possivelmente foram utilizadas as altitudes dos pontos que deram origem às linhas paralelas ou de interseção de retas.

Figura 3 – Vértices de parcela certificada no SIGEF com métodos analíticos que não permitem determinar a altitude

Vértices da parcela

Código	Longitude	Sigma Long. (m)	Latitude	Sigma Lat. (m)	Altitude (m)	Sigma Altitude (m)	Método Posicionamento
CTZA-V-00186	-47°40'56,628"	0,00	-21°56'17,696"	0,00	720,4	0,00	PA1
CTZA-V-00185	-47°40'44,109"	0,00	-21°56'23,787"	0,00	709,43	0,00	PA1
CTZA-V-00184	-47°40'33,202"	0,00	-21°56'29,111"	0,00	703,5	0,00	PA1
CTZA-V-00183	-47°40'23,910"	0,00	-21°56'33,763"	0,00	682,76	0,00	PA1
CTZA-V-00182	-47°40'21,512"	0,00	-21°56'35,004"	0,00	678,71	0,00	PA1
CTZA-V-00454	-47°40'28,835"	0,00	-21°56'27,205"	0,00	678,08	0,00	PA2
CTZA-V-00453	-47°40'21,076"	0,00	-21°56'23,742"	0,00	644,9	0,00	PA2
CTZA-V-00447	-47°40'48,129"	0,00	-21°56'10,299"	0,00	712,29	0,00	PA2

Fonte: www.sigef.gov.br

Esta confusão conceitual entre métodos adequados para coordenadas 2D e 3D poderia ser contornada de duas formas: a) as parcelas tivessem os seus vértices de limites determinados planimetricamente e fossem representadas utilizando uma projeção cartográfica adequada ou b) o SGL fosse determinado apenas com os vértices cujos métodos de posicionamento fossem planialtimétricos. Entre as duas formas, a primeira é tecnicamente mais adequada, haja visto que no caso da segunda a determinação do SGL contaria com um número menor de vértices podendo conduzir à uma altitude média errônea.

Em relação aos imóveis urbanos, sugere-se que a determinação dos vértices de limite das parcelas territoriais seja somente 2D, haja visto que devido às muitas obstruções presentes no meio urbano uma quantidade consideravelmente grande de vértices terão de ser levantados por métodos analíticos (como os métodos de paralela ou interseção de retas), com os quais não é possível determinar a coordenadas altimétrica do vértice.

2.4 Documentação desnecessária

A edição atual da NTGIR corrigiu algumas fragilidades que estavam presentes nas duas primeiras edições que alimentavam o antigo SNCI (Sistema Nacional de Certificação de Imóveis), as quais exigiam que o profissional enviasse ao órgão cadastral – o INCRA – uma grande quantidade de documentos e dados brutos para a montagem do processo de certificação, que era totalmente administrativo. Deveria ser enviado ao INCRA um CD contendo documentação em forma textual, memorial descritivo e os polígonos a serem certificados, além de outros documentos impressos em papel, a fim de que o Comitê Regional de Certificação pudesse analisar as peças. O procedimento era complexo e moroso.

Lemos (2017) aponta que o processo compreendia a conferência de matrículas quanto à dominialidade, o cadastramento e atualização junto ao INCRA, a verificação das precisões declaradas pelo profissional e conformidade entre o memorial descritivo e a figura apresentada. Só a partir de então, um servidor do INCRA inseria os dados constantes no CD no banco de dados cartográficos existente em cada Estado para verificação de sobreposição. Não havendo sobreposição, inseria estes dados na base nacional para cadastramento definitivo e certificação. Qualquer

problema em um dos procedimentos levava a notificação do proprietário para ajustes e o processo ficava parado aguardando resolução. O mesmo autor aponta ainda que entre 2004 e 2010 muitos processos levaram mais de quatro anos para sua conclusão e certificação, que raramente um processo era concluído em menos de um ano, e que ainda hoje há um passivo de milhares de processos das duas primeiras edições da NTGIR que nunca foram certificados e outros que foram, mas que aguardam migração para o SIGEF na base cadastral do INCRA.

Embora tais fragilidades tenham sido eliminadas a partir da terceira edição da NTGIR, com o envio direto dos vértices coordenados das parcelas em formato de planilha via SIGEF e a guarda das respectivas peças técnicas e dados brutos e processados pelo profissional, resta a lição de que o processo burocrático anterior trazia imensas dificuldades para a certificação, dificultando o cumprimento da missão da base cadastral. Este alerta deve ser evidenciado quando tem sido anunciado em diversos seminários pelo país que o SINTER retrocederá aos moldes antigos do SNCI e adotará uma estratégia semelhante de envio pelos profissionais de uma série de documentos quando se tratar de certificação de parcelas urbanas. Corre-se o risco de repetir os erros passados, negando o avanço ocorrido na área cadastral com o advento do SIGEF, e causando um acúmulo de parcelas a serem certificadas no sistema.

Além do mais, tem-se anunciado que junto aos documentos a serem enviados há exigência para que se providencie um "laudo técnico de posicionamento geodésico" a ser elaborado considerando a otimização por meio de simulações em programas de ajustamento. Tal laudo deve comprovar a qualidade do posicionamento ao apresentar a metodologia empregada na aquisição, no processamento e no tratamento de dados das observações e as estimativas do ajustamento, por mínimos quadrados, considerando o princípio da vizinhança. Ainda, o laudo passaria a constar como um atributo da parcela. A exigência em si é confusa, já que um laudo é um documento técnico ou relatório emitido após a análise de uma determinada situação através da qual se faz um diagnóstico. Também é confusa sob o ponto de vista de atribuição: quem pode emitir tal laudo? Correm-se dois riscos indesejados que são o da reserva de mercado e o do acobertamento profissional, este último, infração prevista em lei.

2.5 Métodos de posicionamento em desuso

O Manual Técnico de Posicionamento publicado pelo INCRA (2013), complementar à NTGIR, apresenta os métodos de levantamento em campo divididos em quatro partes, sendo o posicionamento por GNSS, posicionamento por topografia clássica, posicionamento por geometria analítica, e, por fim, posicionamento por sensoriamento remoto e base cartográfica.

De todos os métodos listados no referido manual três chamam atenção por se tratarem de métodos em desuso, que são:

i. Método de triangulação (PT2);
ii. Método da trilateração (PT3); e,
iii. Método da triangulateração (PT4).

O IBGE (IBGE, 2018) indica em seu sítio eletrônico que a rede planimétrica nacional iniciou em 1944 com as medições referentes a uma base geodésica nas proximidades de Goiânia-GO com a utilização do método de triangulação. Conforme França *et. al* (2018), a rede planimétrica passou a ser densificada por tal método nas décadas seguintes, dando origem às estações geodésicas intituladas atualmente como vértices de triangulação (VT) ou também conhecidas como rede clássica. Ao todo, foram implantados cerca de 3600 vértices de triangulação ao longo das décadas de 1940 a 1980. Em meados da década de 1990 o próprio IBGE abandonou este método e passou a adotar somente o posicionamento por satélites, muito mais prático, por dispensar a intervisibilidade a outros vértices da rede possibilitando a implantação de novos vértices em locais que anteriormente seriam evitados, e também muito mais preciso. A esse respeito, o relatório de ajustamento do SIRGAS (IBGE, 2006) indica que foram realizados estudos de reocupação de vértices de triangulação com posicionamento por satélites ao longo de todo o território nacional à época da implantação do novo referencial planimétrico. Os resultados apontaram que as diferenças encontradas entre as coordenadas antes e após a reocupação chegaram a valores em torno de 9 metros nas regiões centro-oeste e norte do Brasil, sugerindo deformações na rede que não eram possíveis de serem detectadas pelas limitações técnica e instrumental associadas ao método de triangulação.

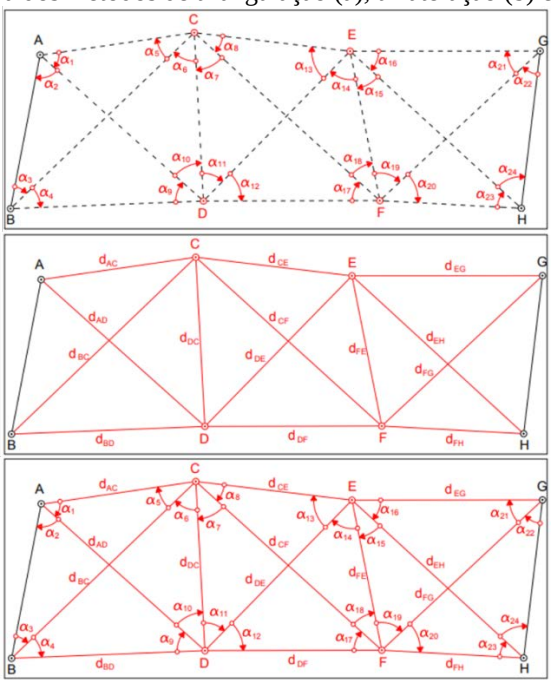
Tais métodos foram utilizados no passado, anteriormente ao avanço tecnológico atual, por se tratarem de soluções por triângulos quando havia dificuldades na tomada de dados de distâncias com a trena e soluções para terrenos pequenos apenas com medições lineares. Além disso, estes métodos não possuem benefícios de ajustamento ou otimização de erros em relação a outros métodos de posicionamento atuais e previstos no manual como, por exemplo, o método de poligonação (PT1) e o método de irradiação (PT5).

O Manual Técnico de Posicionamento (INCRA, 2013b) traz outras incoerências em relação aos métodos da triangulação, trilateração e triangulateração. De um lado, indica que estes são alternativas para o estabelecimento de pontos de apoio, a partir dos quais se podem determinar as coordenadas dos vértices de limite por outros métodos, mas de forma contraditória apresenta novamente estes métodos como possibilidades para a determinação de vértices de limite. Outra contradição é a de que o referido manual indica expressamente que para apoio ao SGB (obrigatório) somente podem ser utilizadas estações do tipo SAT/GPS (ativas ou passivas). Ou seja, o manual diz que não se podem

utilizar os vértices de triangulação do SGB, que é a rede geodésica fundamental do país e, portanto, a mais precisa, mas aceita que se utilize a mesma técnica para a determinação de vértices de limite. Difícil imaginar que um profissional nos dias atuais se utilizará de alguns destes métodos para determinar pontos de apoio; e menos ainda para as coordenadas do vértice de um imóvel rural, quanto mais um urbano.

A Figura 4 apresenta os métodos listados em desuso, e percebe-se que os mesmos necessitam de uma quantidade maior de pontos de referência, de observações, e uma logística em campo muito mais complexa em relação aos métodos de poligonação e irradiação. Sendo assim, tem-se mais estações de trabalho em que o equipamento precisa ser instalado, acarretando em mais erros de centragem e mais visadas com erros angulares e lineares. Na mesma figura, os pontos A, B, G e H são os pontos de referência a serem utilizados e os pontos C, D, E e F são os vértices de limites da propriedade, situação hipotética apresentada no Manual de Posicionamento e irreal na prática. Por menor que seja o imóvel rural quase nunca será possível realizar o método com a instalação de equipamento nos vértices.

Figura 4 – Esquema dos métodos de triangulação (a), trilateração (b) e triangulateração (c).

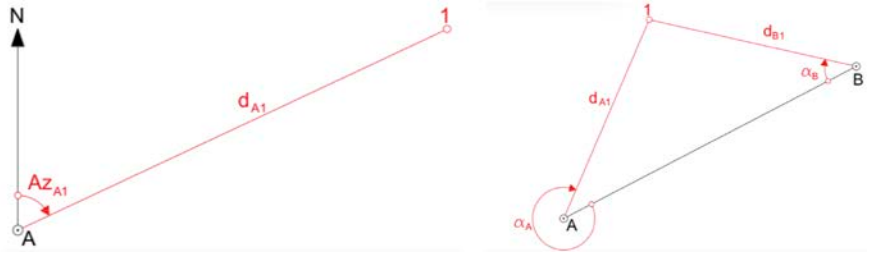


Fonte: Adaptado de INCRA (2013b).

O método de triangulação se caracteriza por somente medições angulares, e costumava ser utilizado na época em que a medida de distância apresentava dificuldades com uso de trenas ou imprecisão com uso de miras na taqueometria, não se justificando atualmente pelo uso das Estações Totais. O método de trilateração era utilizado antigamente sobretudo com o uso de trena, já que existindo disponibilidade de uso de teodolito e mira se pode lançar mão de outros métodos. A trilateração é um método para ser utilizados em pequenas áreas, mas que também foi substituído com o surgimento das Estações Totais. O método triangulateração é a combinação das medições lineares e angulares que não traz benefício em relação ao método de irradiação utilizando medições eletrônicas das Estações Totais.

O único fato de se cogitar o uso de um dos métodos de formação de triângulos é pela possibilidade de se ajustar ângulos e distâncias, mas o método da irradiação também apresentar vantagem igual ao utilizar observações redundantes. A Figura 5 mostra duas possibilidades do uso da irradiação previstas no Manual Técnico de Posicionamento; na segunda, o ajustamento já se faz possível (INCRA, 2013b).

Figura 5 – Método de irradiação com única observação e observações redundantes.



Fonte: Adaptado de INCRA (2013b).

Pelas dimensões dos imóveis rurais o uso de trena pode ser descartado imediatamente, pois medir longas distâncias horizontais com trenas é inviável, improdutivo e impreciso.

O fator produtividade também tem relação direta com o processamento dos dados. Os principais programas de automação topográfica brasileiros não apresentam soluções para os métodos em desuso, o que demonstra a baixa procura para essas soluções. Desta forma, para solucionar o posicionamento com os métodos em desuso, o profissional passará a usar planilhas eletrônicas e exportar os dados em formatos que os programas possam ler e integrar com a planilha ODT a ser enviada ao SIGEF no processo de certificação. Portanto, o fator produtividade em campo e escritório, somado ao pouco benefício de qualidade posicional em relação à poligonação e irradiação com Estação Total, faz com que estes métodos não se tornem interessantes, podendo mesmo ser retirados dos manuais de posicionamento sem prejuízo técnico ou prático.

De outro lado, as dificuldades encontradas nos imóveis rurais na aplicação dos métodos em desuso passam a ser encontradas nas áreas urbanas de forma amplificada, nas obstruções de visadas e detalhes a serem levantados. Por esses motivos é que se deve estudar bem os métodos a serem aplicados nos levantamentos cadastrais brasileiros, sobretudo quando o SINTER entrar em vigor sugerindo e exigindo determinada qualidade nas medições.

2.6 Certificação de polígonos com informações posicionais incoerentes

No sítio eletrônico do SIGEF, na seção das perguntas mais frequentes (https://sigef.incra.gov.br/sobre/faq/), o INCRA indica que o sigma da altitude não é elemento a ser utilizado na certificação. De fato, a lei não aponta para precisão vertical e nem se faz necessário, no entanto, as precisões na latitude e longitude são obrigatórias, mas tem se encontrado uma quantidade razoável de memoriais de parcelas certificadas mostrando que mesmo com valores zerados nos sigmas horizontais a peça técnica foi gerada. A Figura 6 mostra um exemplo. O método de posicionamento indicado é o PS1, correspondente a aerofotogrametria. Pelas características próprias do método, sabe-se que os pontos obtidos na restituição aerofotogramétrica possuem uma precisão que está associada a um conjunto de fatores que vão desde as câmeras utilizadas até os parâmetros do voo, do ajustamento e do controle executados. Entretanto, o profissional que fez o envio dos dados informou os sigmas de longitude e latitude dos vértices zerados, denotando que ou desconhecia os valores ou os omitiu no processo. Ainda assim, a parcela foi certificada.

Figura 6: Vértices de parcela certificada no SIGEF com sigmas zerados na latitude e longitude.

Vértices da parcela

Código	Longitude	Sigma Long. (m)	Latitude	Sigma Lat. (m)	Altitude (m)	Sigma Altitude (m)	Método Posicionamento
DRV-V-0150	-47°35'48,800"	0,00	-22°08'41,246"	0,00	915,65	0,00	PS1
DRV-V-0149	-47°35'49,254"	0,00	-22°08'42,025"	0,00	915,92	0,00	PS1
DRV-V-0148	-47°35'48,614"	0,00	-22°08'45,205"	0,00	920,32	0,00	PS1
DRV-V-0147	-47°35'47,059"	0,00	-22°08'51,511"	0,00	922,91	0,00	PS1
DRV-V-0146	-47°35'49,665"	0,00	-22°08'53,575"	0,00	900,17	0,00	PS1
DRV-V-0145	-47°35'49,973"	0,00	-22°08'56,340"	0,00	902,06	0,00	PS1
DRV-V-0144	-47°35'47,636"	0,00	-22°09'02,307"	0,00	916,17	0,00	PS1
DRV-V-0143	-47°35'46,535"	0,00	-22°09'04,510"	0,00	914,26	0,00	PS1

Fonte: www.sigef.gov.br

Outra ocorrência que tem se apresentado comumente nos memoriais descritivos disponíveis no SIGEF está relacionado às altitudes dos vértices, que ou foram informados também zerados ou aparecem todas com o mesmo valor. Nos dois casos há um grave problema, já que a versão atual da NTGIR adota o SGL como plano de projeção para o cálculo de área da parcela. Se a altitude dos vértices for informada incorretamente, as devidas reduções ao plano de projeção serão calculadas de forma errônea, afetando o valor da área do imóvel e comprometendo a segurança cadastral e registral. A Figura 7 demonstra um exemplo de situação de incoerência relacionada às altitudes com todos os vértices da parcela aparecendo zerados. Pela pesquisa de localização da parcela, identificou-se que se trata de terreno ondulado (as altitudes não poderiam ser todas iguais) e a cerca de 150m de altitude acima do nível do mar (as altitudes não poderiam ser zero). O referido exemplo da Figura 7 ainda ratifica o exposto no parágrafo anterior em relação às precisões zeradas, pois o método indicado é o PG1 (relativo estático). Ainda assim, igualmente, a parcela também foi certificada.

Figura 7 – Vértices de parcela certificada no SIGEF com altitudes zeradas, além dos sigmas de latitude e longitude

Vértices da parcela

Código	Longitude	Sigma Long. (m)	Latitude	Sigma Lat. (m)	Altitude (m)	Sigma Altitude (m)	Método Posicionamento
F38-P-1032	-48°43'51,239"	0,00	-27°35'53,496"	0,00	0,0	0,00	PG1
F38-P-1031	-48°43'50,334"	0,00	-27°35'52,992"	0,00	0,0	0,00	PG1
F38-P-1030	-48°43'49,915"	0,00	-27°35'53,039"	0,00	0,0	0,00	PG1
F38-P-1029	-48°43'49,602"	0,00	-27°35'53,325"	0,00	0,0	0,00	PG1
F38-P-1028	-48°43'49,318"	0,00	-27°35'53,793"	0,00	0,0	0,00	PG2
F38-P-1049	-48°43'48,984"	0,00	-27°35'55,027"	0,00	0,0	0,00	PG1
F38-M-3899	-48°43'47,035"	0,00	-27°35'47,824"	0,00	0,0	0,00	PG1
F38-M-3900	-48°43'47,757"	0,00	-27°35'47,764"	0,00	0,0	0,00	PG1

Fonte: www.sigef.gov.br

Estas são fragilidades do SIGEF facilmente contornáveis via programação no sistema e que já poderiam ter sido resolvidas. Em relação às altitudes, um filtro simples resolveria a questão de elas serem apresentadas zeradas ou todas iguais. Da mesma forma em relação aos sigmas, um filtro simples indicaria ao sistema que os valores foram apresentados zerados, gerando uma pendência na certificação da parcela que deveria ser equacionada pelo profissional. A resolução de ambas as fragilidades pode ser incorporada ao SINTER.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Lei 10.267/2001 (BRASIL, 2001) já está em vigor há mais de 15 anos e os avanços trazidos a partir dela na área cadastral para o nosso país são notáveis. Desde então, passou-se a dispor de mecanismos mais seguros de registro e, progressivamente, o tecido do imenso território brasileiro vai sendo coberto por parcelas definidas por coordenadas que esclarecem onde estão e a quem pertencem cada pequeno pedaço de terra.

O cadastro dos imóveis rurais, gerido pelo INCRA, parametrizado pela NTGIR, já na sua terceira versão, e disponibilizado pelo SIGEF está em constante aprimoramento, embora ainda haja fragilidades que devam ser consideradas. O presente artigo apresentou algumas delas e teceu comentários à guisa de contribuição aos cadastros em desenvolvimento.

O SINTER, como integrador de diferentes cadastros, de diferentes autores, em diferentes níveis, tem a difícil tarefa de disparar processo semelhante ao do ambiente rural nas áreas urbanas. O desafio aumenta admiravelmente se considerarmos que em relação ao ambiente rural há um órgão que desempenha o papel de gestor do cadastro – o INCRA, mas que no ambiente urbano tal papel será desempenhado de maneira difusa pelas cerca de 5570 prefeituras, cada uma com sua realidade local administrativa, técnica, financeira, territorial, cultural, etc. No SIGEF, o envio de dados é feito diretamente pelos profissionais que executam os levantamentos; no SINTER, o envio será feito por diversos usuários, além dos profissionais da agrimensura.

Uma maneira prudente de tentar fazer melhor é analisar as experiências já consolidadas e aprender com os acertos alcançados, a fim de aprimorá-los, e os erros cometidos, a fim de não os repetir. Esse o papel destinado aos elaboradores dos manuais técnicos do SINTER no presente momento: observar a experiência bem sucedida da NTGIR ao longo de três versões, do SIGEF na automação e simplificação dos processos de certificação, bem como atentar para as fragilidades demonstradas aqui e em outros documentos e fóruns de debate profissional e acadêmico como forma de continuar promovendo a estruturação e modernização cadastral no Brasil.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Decreto Nº 8.764, de 10 de maio de 2016**. Disponível em < https://goo.gl/8itd61>. Acessado em julho de 2018.

_____. **Lei Federal 10.267 de 28 de agosto de 2001**. Disponível em <https://goo.gl/HTaish>. Acessado em julho de 2018.

FRANÇA, R.M.; BOSCATTO, F.; ARAÚJO, A.L. **Geodésia aplicada**. Florianópolis: Publicação do IFSC, 2018. Disponível em < https://goo.gl/CLontd>. Acessado em agosto de 2018. 59p.

IBGE. **Rede Planimétrica**. Sítio eletrônico. Disponível em < https://goo.gl/CFzd5T>. Acessado em julho de 2018.

_____. **Ajustamento da Rede Planimétrica Brasileira em SIRGAS2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Disponível em <https://goo.gl/FrvyJp>. Acessado em agosto de 2018. 29p.

INCRA. **Manual técnico de limites e confrontações: Georreferenciamento de imóveis rurais**. Brasília: INCRA, 2013a. 27p.

_____. **Manual técnico de posicionamento: Georreferenciamento de imóveis rurais**. Brasília: INCRA, 2013b. 37p.

_____. **Norma técnica para georreferenciamento de imóveis rurais**. Brasília: INCRA, 2013c. 4p.

LEMOS, F.E.M. **Evidências da desconexão entre a administração pública e o cartório de registro de imóveis para o Cadastro Territorial rural brasileiro**. Dissertação. Florianópolis: UDESC, 2017. 76p.

INTEGRAÇÃO DE BASES CADASTRAIS URBANAS VISANDO SUA ADEQUAÇÃO À ISO 19.152 – LADM

NATHALIA ROSE SILVA DA PURIFICAÇÃO
ANDREA FLÁVIA TENÓRIO CARNEIRO
GABRIEL LINS MELO
CEZÁRIO DE OLIVEIRA LIMA JÚNIOR

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
nathaliarosesilva@gmail.com, aftc@ufpe.br, gabriel_linsmelo@hotmail.com, cezario5@yahoo.com.br

RESUMO - O *Land Administration Domain Model* (LADM) é um modelo padronizado de administração territorial que foi criado pela Federação Internacional dos Geômetras (FIG) em parceria com outras instituições, publicado no ano de 2012 por meio da ISO/FDIS 19.152 visando suprir a ausência de padronização de conceitos, terminologias e aplicações do cadastro territorial em todo o mundo. O presente trabalho apresenta um estudo de caso realizado no município de Itaquitinga localizado no estado de Pernambuco, onde foi verificado e analisado o atual cadastro da cidade, para a elaboração de uma proposta de modelo conceitual que esteja de acordo com os padrões da referida norma.

ABSTRACT - The Land Administration Domain Model (LADM) it's a padronized model of territorial administration created by Federação Internacional dos Geômetras (FIG) in partnership with other institutions, published in 2012 by ISO/FDIS 19.152, aiming to compensate the absence of concepts padronization, terminologies and aplications of territorial cadastre in all the world. The current job present a study of a case carried out in the municipality of Itaquitinga located in the state of Pernambuco, where was checked and analysed the actual cadastre of the city, to a elaboration of a proposal of conceitual model, that complies with the standards said norm.

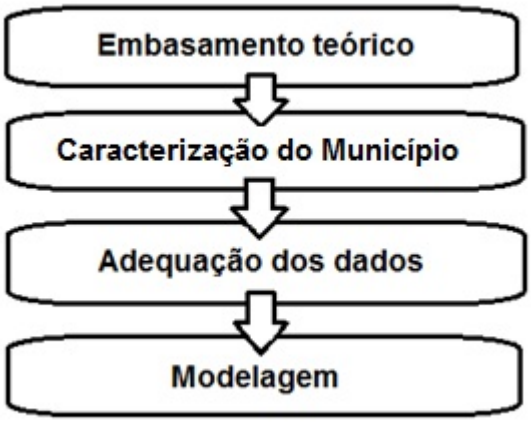
1 INTRODUÇÃO

No Brasil é de responsabilidade dos municípios criar, manter e utilizar o cadastro como ferramenta de gestão territorial e arrecadação tributária. Esta última, por sua vez, é bastante priorizada nos cadastros atuais surgindo assim problemas na utilização da informação territorial, pois são criados cadastramentos e mapeamentos não confiáveis impossibilitando a representação total do território. Visando atender as características de um cadastro ideal que possibilite o melhor adequamento dos espaços, promova desenvolvimento (seja ele social, político ou econômico) e que ao mesmo tempo use uma linguagem universal, foi realizado um estudo de caso em um município de pequeno porte do estado de Pernambuco, verificando a situação em que se encontra o cadastro do mesmo com o intuito de criar uma proposta conceitual de modelo de administração territorial que esteja nos padrões da ISO 19.152 – LADM.

2 METODOLOGIA

O experimento realizado fundamenta-se através do embasamento teórico que permitiu o entendimento da ISO 19.152 - LADM e da realidade do cadastro urbano brasileiro nas cidades de pequeno porte. Perante este modelo conceitual, foi desenvolvido um experimento que envolveu a modelagem da norma em linguagem UML numa área selecionada, através de um estudo de caso. A Figura 1 mostra uma síntese do processo de desenvolvimento do trabalho.

Figura 1- Sistemática do processo metodológico aplicado ao trabalho.



3 LADM

O modelo conceitual do LADM tem dois principais objetivos:

1. Proporcionar uma base extensível para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de um sistema cadastral eficaz e eficiente com base em uma Model Driven Architecture (MDA);
2. Permitir que as partes envolvidas, tanto dentro de um país e dentre diferentes países, possam se comunicar através de uma base partilhada implícita no modelo.

O LADM está organizado em três pacotes básicos e um subpacote. Cada pacote ou subpacote tem seu próprio nome e é constituído por um grupo de classes com certo grau de coesão, de modo a facilitar a manutenção de diferentes conjuntos de dados por diferentes organizações. O modelo completo pode ser executado por meio de um conjunto distribuído de (geo) sistemas de informação, cada um apoiando as atividades de manutenção de dados e o fornecimento de elementos no modelo. O mesmo também pode operar a nível nacional, regional ou local.

3.1 Pacotes e classes do LADM

a) Pacote das Partes (Party Package): Neste pacote estão os dados das pessoas que se relacionam com a terra. Tem como classe principal a LA_Party (uma pessoa ou organização) que possui uma especialização, a LA_GroupParty (um grupo de pessoas ou de organizações). Estas duas classes se relacionam por meio de uma classe opcional chamada LA_PartyMember (um membro do grupo).

b) Pacote Administrativo (Administrative Package): Representação dos direitos, restrições e responsabilidades. Tem como classes básicas LA_RRR, que possui três classes de especialização: LA_Right (Direitos como instâncias), LA_Restriction (Restrições como instâncias), que tem como associação a classe LA_Mortage (Hipoteca como instância), LA_Responsibility (Responsabilidades como instâncias); e a classe LA_BAUnit (unidades administrativas básicas). Em princípio, todos os direitos, restrições e responsabilidades estão baseados numa fonte administrativa, como instâncias da classe LA_AdministrativeSource.

c) Pacote das Unidades Espaciais (Spatial Unit Package): A principal classe deste pacote é LA_SpatialUnit que possui as unidades espaciais como instâncias e está associada a LA_SpatialUnitGroup (um grupo de unidades espaciais). As unidades espaciais possuem duas especializações: a LA_ LegalSpaceBuildingUnit (unidades de construção como instâncias) e a LA_ LegalSpaceUtilityNetwork (redes de serviço público como instâncias).

d) Subpacote dos Levantamentos e Representações (Surveying and Representation Subpackage): Responsável pela representação geométrica das unidades espaciais. Possui quatro classes: LA_BoundaryFace (limites das unidades espaciais em uma superfície 3D), LA_BoundaryFaceString (limites das unidades espaciais por linhas em 2D), LA_Point (um ponto) e LA_SpatialSource (documentação dos levantamentos como instâncias as fontes espaciais).

4 O CADASTRO EM MUNÍCIPIOS DE PEQUENO PORTE

Os municípios de pequeno porte possuem muitas dificuldades no que diz respeito ao cadastro de seus territórios. A grande maioria carece de recursos e funcionários capacitados, contam com informações cadastrais dispostas em formulários de papel com pouca ou nenhuma informação gráfica. Junto a isso estão: "ausência de logística, espaço de trabalho e recursos humanos para que seja possível atender às exigências legais referentes à manutenção da gestão territorial urbana. No entanto, quando devidamente implantado pelos municípios, o cadastro é base para o IPTU, auxilia no desenvolvimento urbano, identifica padrões de uso e ocupação do solo, auxilia no monitoramento das intervenções urbanas e de áreas de risco, dentre outras funções." (PEREIRA, C.M.; AZEVEDO, R.B. 2013, p.20). Devido a estas dificuldades expostas, parcerias entre universidades e os municípios vem sendo realizadas visando auxiliar na implementação ou no melhoramento do Cadastro Territorial Multifinalitário dos municípios, como no caso da cidade de Ribeirão dos Índios - SP, Quatro Barras – PR, Arapiraca - PE e Itaquitinga - PE.

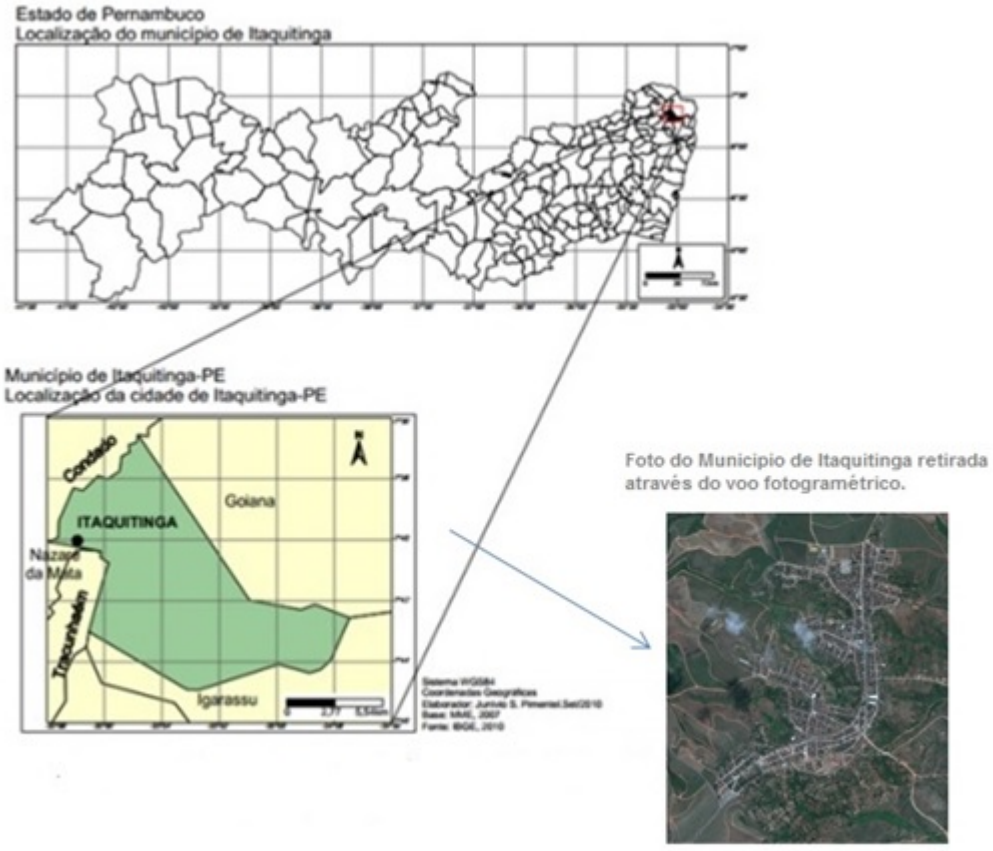
5 ADEQUAÇÕES DA ISO 19.152 A UM MUNICÍPIO DE PEQUENO PORTE

5.1 Caracterização da área de estudo

A área utilizada como estudo de caso foi o município brasileiro de Itaquitinga-PE. O município é formado pelo distrito sede e pelo povoado de Chã de Sapé. Limita-se ao norte com Goiana e Condado, a leste com Goiana, ao sul com Igarassu, e a oeste com Nazaré da Mata e Tracunhaém. Encontra-se localizado a 86,2 km de Recife-PE, a uma latitude 07º40'04"S e a uma longitude 35º06'06"W (Figura 3), estando a uma altitude de 88 metros. Abrange uma área de 103,442 km² e, de acordo com censo populacional de 2013 (IBGE, 2013) conta com uma população total de 16.638 habitantes.

A escolha dessa região se deu devido ao projeto de extensão desenvolvido pelo Laboratório de Cadastro da UFPE no período de 2011 e 2012, cujo principal objetivo era a estruturação do cadastro territorial do município. Para isso, foi implementada uma rede de referência geodésica de apoio a já existente para a elaboração da base cartográfica, treinamento e seleção do corpo técnico de cadastramento da prefeitura, além da atualização dos dados.

Figura 2 – Localização da área de estudo.



Fonte: PIMENTEL (2011).

A coleta de informações para a pesquisa envolveu a seleção de dados cartográficos e descritivos que, depois de organizados e tratados, permitiram testar a aplicação de recomendações das Diretrizes, como o uso da parcela como unidade territorial e a identificação de limites legais e físicos. Os dados do município encontram-se em tabelas do Excel, correspondentes a 3.528 lotes da seguinte forma: Cadastro, Tipo, Emissão, Reside, Física/Jurídica, Tipo de Terreno, Situação na Quadra, Patrimônio (Ter.), Patrimônio (pr.), Limitação, Ocupação do Terreno, Topografia, Situação na Rua, Regime de Ocupação, Padrão Construtivo, Estado de Conservação, Pedologia, Estrutura, Situação do Lote, Uso do Imóvel, Proprietário, Endereço, Número, Complemento, Bairro, CNPJ, CPF, Estado, CEP, Insc. Imobiliária, Loteamento, Área da Unidade, Área Construída, Área do Terreno, Testada Principal, Profundidade, Área Coberta, Número de Pavimentos, Ano de Construção e Tipo de Construção.

5.2 Modelo Conceitual

Para o município de Itaquitinga foram levados em consideração apenas os atributos que fossem modeláveis de acordo com a ISO 19.152. Os atributos que possuem função meramente fiscal não foram considerados.

A diagramação do modelo proposto foi elaborada por meio de linguagem UML que é uma linguagem de modelagem unificada orientada a objetos oficialmente utilizada no LADM. Para isso, fez-se uso do software livre *Astah Community*.

5.2.1 Party package

O Pacote Party pode ser representado por uma pessoa, um grupo de pessoas, uma cooperativa ou comunidade que se relacionam com a parcela, considerando o fato de que cada parte está associada a zero ou uma instância da classe LA_RRR e que uma parte pode possuir vários imóveis e que um imóvel pode possuir vários proprietários (propriedade compartilhada). Cada proprietário será armazenado na classe LA_Party que foi modelada com os seguintes atributos:

• pID: Identificador da parte. Sugeriu-se a utilização do número de CPF/CNPJ para este atributo, pois no Brasil este número é único, não havendo, por exemplo, duas pessoas que possuam mesmo número de CPF ou duas empresas com mesmo CNPJ.
• Nome: O nome da parte.
• Tipo: Tipo de instância (pessoa, grupo, organização etc.).
• Papel: Papel da instância na atualização de dados e manutenção das informações (notário, escritor, agrimensor, banco etc.).
• BR_Tipo: Tipo de pessoa (no Brasil: Física/Jurídica)

A LA_GroupParty é uma subclasse da LA_Party que precisa ser constituída por duas ou mais partes, pode ser uma família, uma associação, uma tribo etc. Foi modelado com apenas dois atributos:
• GrupoID: identificador do grupo.
• Tipo: Tipo de grupo.

A LA_PartyMember é uma classe opcional associado a LA_Party. Nela serão identificados os membros dos grupos. Tem como atributos:
• MembroID: Identificador do membro (CPF)
• GrupoID: Identificador do grupo ao qual pertence o membro.
• Nome: O nome do membro.

5.2.2 Administrative package

O pacote administrativo estabelece a relação entre pessoas e terras através de direitos, restrições e responsabilidades. Estas são instâncias da classe abstrata LA_RRR. Se a instância for um direito ou uma responsabilidade esta classe deve estar associada a exatamente uma parte e uma unidade administrativa básica. Se for uma restrição, deve estar associada a zero ou uma parte e exatamente uma unidade administrativa básica.

A classe LA_RRR foi modelada com os seguintes atributos:

• rID: identificador RRR
• Partes: Uma parte em uma instância da subclasse LA_RRR, por exemplo: uma parcela que possui duas partes, terá cota de 0,5 no direito de propriedade.
• Espec_Tempo: Este é um atributo operacional que serve para registrar ações temporais com definições de data em relação ao uso do imóvel.

Toda parcela deve ser registrada mesmo que ela não compreenda o direito legal à propriedade. Deste modo, a classe LA_Right, responsável pelo armazenamento dos direitos, engloba tanto o direito de propriedade quanto o de posse, arrendamentos etc. Esta foi modelada com apenas um atributo:

• Tipo: O tipo de direito.

As restrições e responsabilidades dependem da legislação de cada país. No Brasil não existe um único documento legal que contenha essas informações, o que gera muitos conflitos de direito. No entanto, o LADM é mais específico, identificando, por exemplo, a responsabilidade em se manter um curso d'água ou a restrição em um terreno de marinha. As classes LA_Responsability e LA_Restriction foram também modeladas com apenas um atributo:

• Tipo: O tipo de responsabilidade e restrição.

Incluiu-se também a subclasse LA_Mortgage referente a hipoteca. Esta subclasse está associada à LA_Party (parte provedora do dinheiro) e LA_Right (o direito que é a base para a hipoteca). Como a relação de hipoteca é feita diretamente entre cartório e financeira, o único tipo de hipoteca registrado nessa subclasse será o financiamento de imóveis, já que estes são caracterizados nas prefeituras municipais como hipoteca. Os atributos da LA_Mortgage são:

• Quantidade: O valor da hipoteca em moeda local (Real).
• Juros: Os juros correspondentes à hipoteca.
• Ranking: A ordem de classificação se mais de uma hipoteca se aplica ao direito.

A classe LA_BAunit é uma unidade de administração básica que está associada a classe LA_Party. Segundo SANTOS (2012) esta classe nos permite associar um direito a uma combinação de unidades espaciais, como por exemplo, um apartamento e uma vaga de estacionamento. Abaixo, seus atributos:

• uID: Identificador da unidade administrativa básica.
• Nome: O nome da unidade administrativa básica.
• Tipo: O tipo de unidade administrativa básica.

Por fim, a classe LA_AdministrativeSource foi incluída para armazenar a documentação de caráter legal que serve de base para os direitos, restrições e responsabilidades. Foi modelada com os seguintes atributos:
• Texto: O conteúdo do documento.
• Tipo: O tipo de documento.

5.2.3 Spatial unit package

Composto pelas parcelas a classe LA_SpatialUnit é capaz de representar dados literais, 2D ou 3D. No entanto, para Itaquitinga, os dados em 3D não foram incluídos. Os atributos desta classe são:

• Área: A área da unidade espacial (Parcela).
• Dimensão: A dimensão da unidade espacial.
• Endereço: Armazena o endereço da unidade espacial.
• Etiqueta: Descrição textual da unidade.
• suiD: Identificador da unidade espacial. Neste caso, preferiu-se usar o tipo sequencial de codificação de parcelas e não a inscrição imobiliária para que as parcelas que ainda não são cadastradas na prefeitura, como praças, possam também ser inclusas no cadastro.
• Ponto_ref: As coordenadas de um ponto dentro da unidade espacial.
O atributo endereço será preenchido de acordo com a classe BR_addressType que terá os seguintes atributos: rua, número, bairro, complemento, CEP,cidade, UF e país.

A classe LA_SpatialUnitGroup foi incluída para armazenar os grupos de unidades espacias, por exemplo, um condomínio. Tem como atributos:

• Nível_Hierarquia: O nível na hierarquia de uma subdivisão administrativa, ou de zoneamento .
• Etiqueta: Descrição textual curta do grupo de unidades espaciais.
• Nome: O nome do grupo da unidade espacial.
• Área: A área do grupo de unidades espaciais.

• sugID: O identificador do grupo de unidades espacias.

Para o armazenamento das unidades de construção modelou-se a classe LA_LegalSpaceBuildingUnit com os seguintes atributos:

• Tipo: Tipo de unidade de construção.
• Num_Pavimentos: O número de pavimentos da unidade de construção.
• unidID: identificador da unidade de construção.
• Área_Const: Área construída.

As estruturas de rede não são atualmente cadastradas pelo cadastro de Itaquitinga, porém a classe LA_LegalSpaceUtilityNetwork foi previamente modelada para que redes de água, esgoto, elétrica e gás possam ser futuramente registradas. Abaixo, seus atributos:

• Tipo: O tipo de utilitário de rede.
• Risco: O nível e o tipo de risco da rede, caso haja.
• Status: Status da rede (em uso, desativada etc.).
• RedeID: O identificador da rede.

5.2.4 Surveying and representation subpackage

No subpacote levantamento e representação as unidades espaciais são representadas geometricamente. A classe LA_BoundaryFaceString, usada para definir limites através de linhas em 2D foi modelada com os seguintes atributos:

• fsID: O identificador do FaceString.
• Geometria: A fronteira através de uma linha ou curva.
• Descrição_text: Fronteira natural através da descrição textual.

A classe LA_Point inclui os pontos. Seus atributos são:

• PontoID: Identificador do ponto.
• Papel_ponto: O papel do ponto da estrutura.
• Acurácia: Precisão estimada do ponto.
• Método: Origem dos dados.
• Tipo: O tipo de ponto.
• Ponto_Original: As coordenadas do ponto.

E por último, a classe LA_SpatialSource utilizada como base para o mapeamento e reconstituição histórica do modelo. Tem como atributos:

• Medições: Observações e medições.
• Métodos: Os procedimentos utilizados na obtenção das medições.
• Tipo: O tipo de documento.

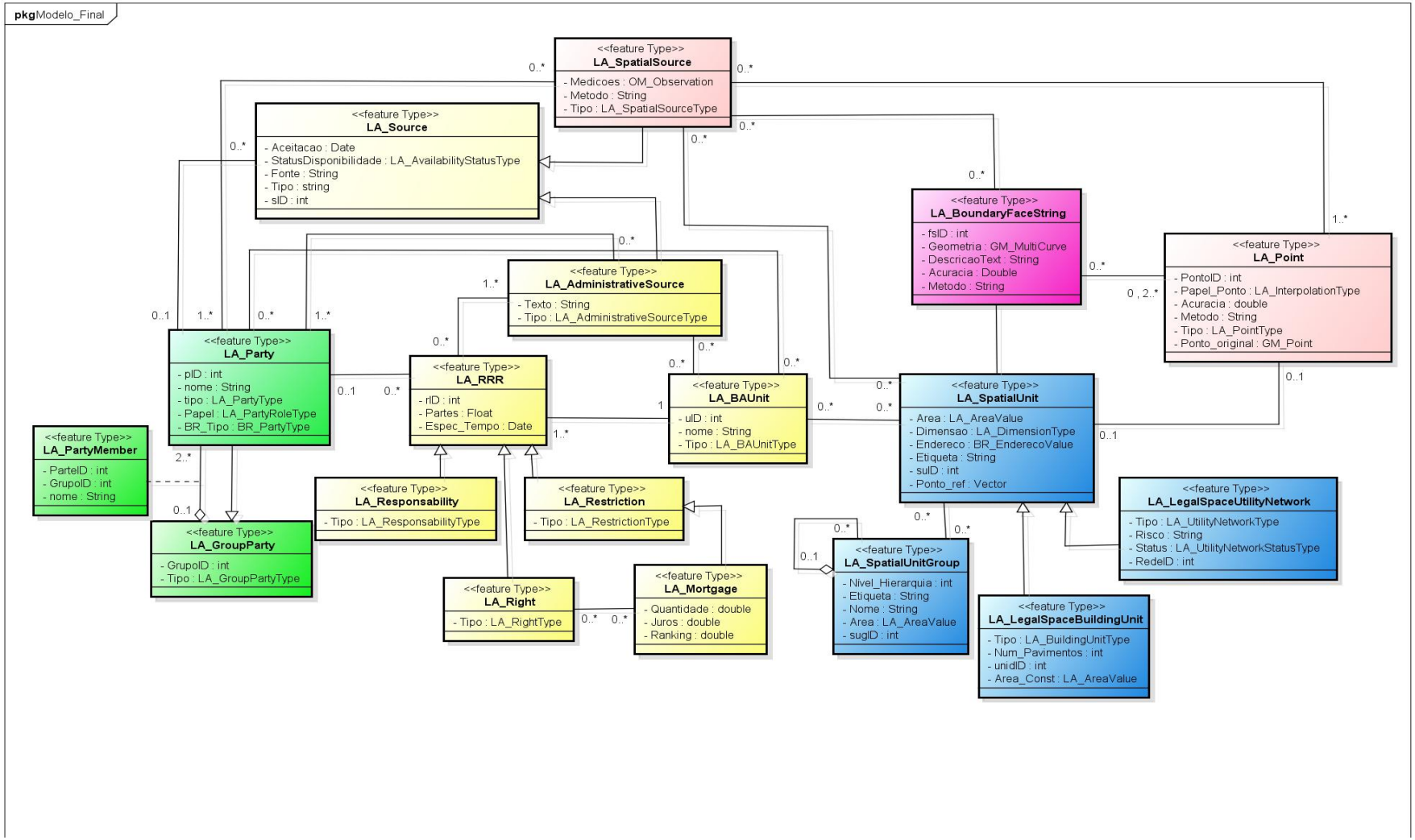
5.2.5 Classe externa VersionedObject

A classe externa VersionedObject foi introduzida no modelo para gerenciar e manter os dados históricos no banco de dados. Nela os dados inseridos e já desatualizados são datados de forma a permitir que o conteúdo da base possa ser reconstruído a qualquer momento. São seus atributos:
• VersãoInicial: A data de início de uma versão específica de uma instância.
• VersãoFinal: A data do fim de uma versão específica de uma instância.
• Fonte: Organização responsável por uma versão específica de uma instância.

6 RESULTADOS

A modelagem completa em UML seguindo os padrões da ISO 19.152-LADM para o município de Itaquitinga-PE pode ser visualizada na Figura 3. Nela podemos identificar como se dá o relacionamento e a cardinalidade entre os pacotes e classes da norma.

Figura 3 – Modelo conceitual final para o município de Itaquitinga – PE.



7 CONCLUSÕES

O LADM tem como objetivo a modelagem de sistemas cadastrais com uma linguagem semântica. A construção de uma linguagem internacional traz consigo a possibilidade de compartilhamento de informações e disponibilização de dados, no entanto, para que isso ocorra, verifica-se a necessidade de transformação dos dados físicos em dados em formato digital, pois deste modo se permite a inserção de informações de forma simples e usual em sistemas de geoinformação.

Infelizmente os dados descritivos e cartográficos do município estudado ainda não estão integrados, impossibilitando a aplicação do modelo proposto. Entretanto, pode-se dizer que o estudo da Norma ISO 19.152:2012 para o caso de Itaquitinga é coerente com a realidade nacional, já que a metodologia empregada nessa pesquisa foi considerada satisfatória, mesmo estando o Brasil distante de um cadastro territorial unificado, cada vez mais barreiras estão sendo quebradas visando antecipar e preparar as bases para esse futuro.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A.J.B. **Modelo de Implementação do Cadastro Territorial Multifinalitário para a República de Cabo Verde**. Dissertação. UFPE, Recife, 2013, 147p;

FREDERICO, L.N.S. **Modelagem de Cadastro Territorial Multifinalitário de Bens Imóveis da União de Acordo com a LADM ISO/FDIS 19.152:2012**. Dissertação. UFPE, Recife, 2014.

FREDERICO, L. N. S.; CARNEIRO, A. F. T. **Considerações sobre a Aplicação do Land Administration Domain Model (LADM) na Modelagem do Cadastro Territorial Brasileiro**. In: V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2014, Recife/PE. V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2014.

ISO/FDIS/TC211 (2012). **ISO/TC 211 Geographic Information – Land Administration Domain Model (LADM).** ISO/FDIS 19152 (Final Draft International Standard).

PEREIRA, C.M.; AZEVEDO, R.B. **Implementação de Cadastro Territorial Multifinalitário em Município de Pequeno Porte – ITAQUITINGA/PE.** Monografia. UFPE, Recife, 2013.

SANTOS, J.C. **Análise da Aplicação do Modelo de Domínio de Conhecimento em Administração Territorial (LADM) ao Cadastro Territorial Urbano Brasileiro – Estudo de Caso para o Município de Arapiraca-AL.** Dissertação. UFPE, Recife, 2012.

MACROZONEAMENTO DA CIDADE DE PARAUAPEBAS: UMA PROPOSTA PARA A REVISÃO DO PLANO DIRETOR MUNICIPAL

JOSEVANDO DE SOUSA SILVA
TABILLA VERENA DA SILVA LEITE

Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA
Instituto Ciberespacial - ICIBE
Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Belém, PA
josevando.sousa@gmail.com, tabillaverena@hotmail.com

RESUMO - Este artigo tem o intuito de mostrar o macrozoneamento da cidade de Parauapebas - PA nos planos diretores de 2006 e 2018 respectivamente, anos da criação e revisão deste importante instrumento de desenvolvimento no âmbito municipal. Por meio de técnicas de sistemas de informações geográficas (SIG) e uso de arquivos vetoriais foi possível espacializar os dados dos distritos administrativos municipais e transformá-los em proposta para a gestão municipal, que posteriormente pode utilizar-se destes dados para parcelar áreas no município com diferentes enfoques (comercial, industrial, residencial, agícola, entre outros), bem como os usos e potenciais do solo de cada macrozona criada.

ABSTRACT - This article intends to show the macrozoneamento of the city of Parauapebas - PA in the executive plans of 2006 and 2018 respectively, years of creation and revision of this important instrument of development in the municipal scope. Through the use of geographic information system (GIS) techniques and the use of vector files, it was possible to spatialize data from municipal administrative districts and transform them into a proposal for municipal management, which can later be used to divide up areas in the municipality with different approaches (commercial, industrial, residential, agricultural, among others), as well as the uses and potentials of the soil of each macrozone created..

1 INTRODUÇÃO

Por volta de 1950 havia em torno de 33 milhões de pessoas vivendo no campo em contrapartida com as cidades onde existiam em torno de 19 milhões (GOUVÊA, 2005: 30). Já de acordo com o último Censo (2010) esse número mudou drasticamente, com mais de 160 milhões de brasileiros vivendo nas áreas urbanas, enquanto menos de 30 milhões vivem nas áreas rurais. O expoente máximo desse processo rápido de urbanização no Brasil é a cidade de São Paulo que por volta dos anos 1886 possuía cerca de 50 mil habitantes e em 1922 já tinha uma população estimada em 580 mil pessoas. Vinte anos depois a cidade já se encontrava com 1,3 milhões de habitantes (ROLNIK, 1997: 19).

Em inúmeras cidades, desde metrópoles mundiais, nacionais ou até mesmo regionais se pôde observar este fenômeno, a exemplo de São Paulo e Rio de Janeiro, Salvador, Recife, Fortaleza, Belém, Manaus, Porto Alegre. Esse processo desenfreado de urbanização oriunda problemas na sociedade nos mais diversos segmentos, desde o social até o econômico e reflete na maneira das populações de viverem. É nesse contexto que começa a surgir as primeiras políticas públicas que visavam minimizar os problemas advindos desse processo.

Csaba Dea'k (1999), em seu livro O Processo de Urbanização do Brasil observa que

> (...) foi a partir do segundo quartel deste século que a escala alcançada pela urbanização começou a provocar iniciativas por parte do Estado e modificações na administração pública. Um dos resultados nesse sentido é o aparecimento de uma nova atividade governamental com a finalidade específica de tratar dessas novas entidades que estavam surgindo. É o nascimento do planejamento e particularmente do planejamento urbano, cujos primórdios podem ser situados no Estado Novo – no advento do qual Otávio Ianni via, significativamente, a consolidação de "uma vitória importante [...] da cidade sobre o campo. (DEÁK;SCHIFFER, 1999: 12)

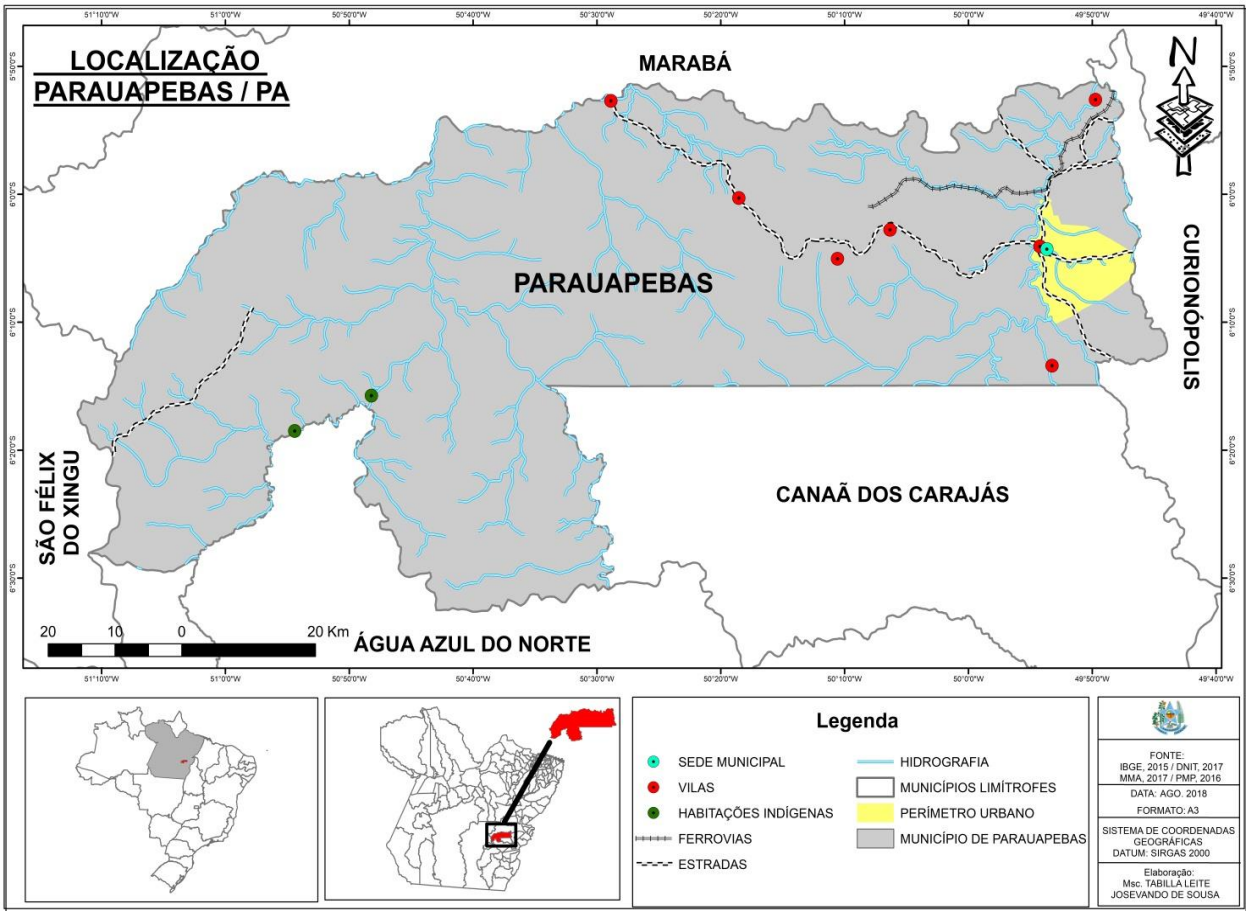
Para Villaça (1999), com os Planos Agache para a cidade do Rio de Janeiro (elaborado em 1930) e o Plano de Avenidas de Prestes Maia para a cidade de São Paulo (também elaborado em 1930) é dada a largada no caráter do planejamento urbano do Brasil, pois estes dois planos são pioneiros dos superplanos, conceito muito utilizado posteriormente nas décadas de 60 e 70.

Embora ainda em 1950 já se tenha conhecimento da expressão Plano Diretor, foi só após a promulgação da Constituição Federal de 1988, nos artigos 182 e 183 que o Plano Diretor passou a ser usado como instrumento de política e o desenvolvimento urbano, sendo umas das suas principais funções o de estabelecer diretrizes para o ordenamento da expansão urbana e o desenvolvimento das funções sociais, que garantam qualidade de vida aos habitantes dos municípios. Em 2001 com a aprovação do Estatuto das Cidades (Lei 10.257/2001) os Planos diretores passaram a ser ainda mais importante no tocante a gestão do território urbano municipal.

Mesmo o termo "macrozoneamento" especificamente não sendo citado na referida Lei, este tipo de zoneamento é um dos mais importantes do planos diretores. Por definição macrozoneamento é o primeiro nível de definição das diretrizes espaciais do Plano Diretor, estabelecendo "um referencial espacial para o uso e a ocupação do solo na cidade, em concordância com as estratégias de política urbana" (BRASIL, 2002, p. 41). O Estatuto da Cidade definiu que o macrozoneamento seja feita em toda a área do município; este deve conter a diferenciação entre área urbana e área ou zona rural e ainda as áreas de conservação ambiental, estabelecendo parâmetros sobre a utilização das porções dos territórios para diversas finalidades.

No estado do Pará, o processo de implantação dos planos diretores das cidades, ainda que pouco tardia, aconteceram em vários municípios. A maioria dos municípios fez seu Plano no ano de 2006, devido a pressão do Ministério Público Estadual e um destes municípios foi o de Parauapebas, através da lei municipal 4.328 de 30 de dezembro de 2006. Parauapebas é um município do estado do Pará, fundado em 10 de maio de 1988, com população estimada em 202.356 habitantes, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2017. Pertence a mesorregião do Sudeste paraense e microrregião de Parauapebas e dista em torno de 700 km da capital do estado, Belém do Pará. Faz divisa ao norte com o município de Marabá, Curionópolis ao leste, Canaã dos Carajás e Água Azul do Norte ao sul e São Félix do Xingu ao oeste. Conforme pode ser visto na Figura 1 esta é a localização geográfica do município de Parauapebas.

Figura 1 – Mapa de localização do município em relação às Regiões Intermediárias do IBGE.



Fonte: Os autores (2018)

2 METODOLOGIA

Como o município de Parauapebas está em processo de revisão do seu Plano Diretor, que devia ter ocorrido em 2016, haja visto que pela Legislação os planos devem ser revisados no prazo máximo de 10 anos, este artigo tem o objetivo de apresentar o macrozoneamento feito no plano no ano de 2006 na ocasião da sua elaboração e compará-lo com o macrozoneamento proposto na revisão do plano no ano de 2018. As informações geográficas que geraram o mapa de macrozoneamento atual foram discutidas junto com as Secretarias e órgãos competentes da Gestão municipal, num momento onde reuniu-se diversos técnicos da Prefeitura para elaborar um produto cartográfico que atendesse as reais expectativas e interesses que o arcabouço de um mapa como este tem por finalidade. Na Figura 2 há um registro desta reunião na Prefeitura municipal na data de 13 de julho de 2018.

No macrozoneamento de 2006 as informações das zonas que se estavam propondo na época tinham haver com o potencial e a vocação de cada região deste para diversas fins (agricultura, unidade de conservação, expansão urbana); o produto gerado em 2018 também não fugiu a esta proposta. A base cartográfica que se tinha das delimitações das zonas (arquivos *shapefile* ou *kml*) foi repassada pela Prefeitura e na reunião mostrada na Figura 2 os técnicos presentes foram adequando ainda mais à realidade local. Foi utilizado o *software* ArcGIS 10.1 para gerar os mapas, bem como suporte da plataforma *Google Earth* para interação espacial da área estudada.

Figura 2 – Reunião com técnicos da Prefeitura municipal para elaboração das macrozonas

Fonte: Os autores (2018)

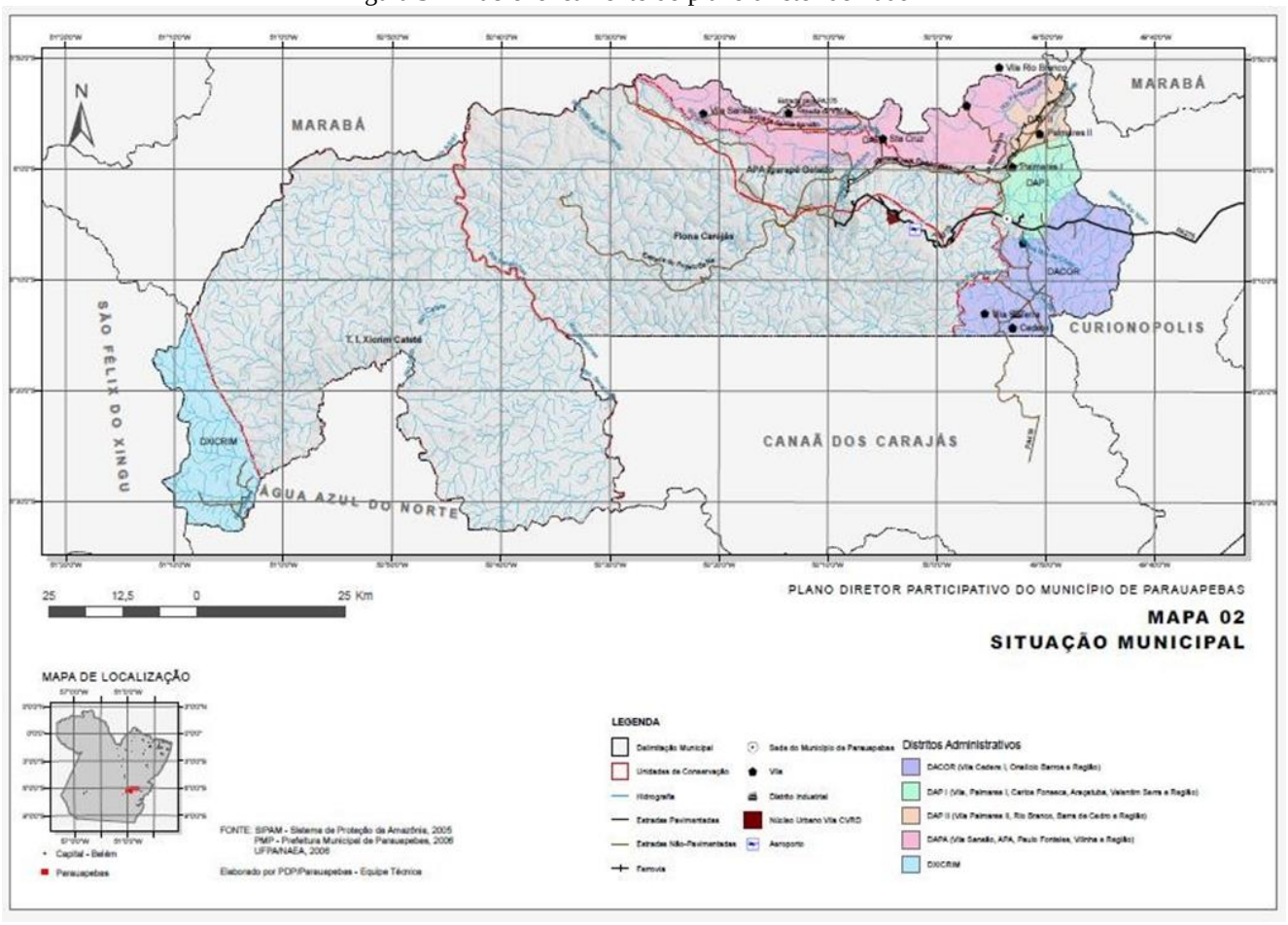
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando se fala de gestão municipal e o seu devido planejamento é importante ressaltar que todas as discussões acerca deste tema é de certa forma novidade no país. Com a promulgação do Estatuto da Cidade é que esta ferramenta se institucionalizou de forma concreta, anteriormente eram feitos planos de forma isolada e arbitrária. Por isso é importante frisar que mesmo que esteja basicamente iniciando, esta é uma proposta que deve ser levada em consideração, pois compreende em vários aspectos as demandas sociais municipais e o pleno desenvolvimento de políticas eficazes no que concerne ao estilo e qualidade de vida dos habitantes das cidades que tem planos diretores.

3.1 Mapa de macrozoneamento de 2006

O mapa da Figura 3 é o macrozoneamento elaborado no ano de 2006, sendo que a cidade foi dividida em 5 distritos administrativos, a saber: DACOR, DAP I, DAP II, DAPA E DXICRIM. Estes distritos correspondem a união de bairros, vilas, loteamentos ou quaisquer estruturas urbanísticas que possibilitem a junção de características comuns de serviços e possibilidades quanto aos usos e ocupações na área.

Figura 3 – Macrozoneamento do plano diretor de 2006



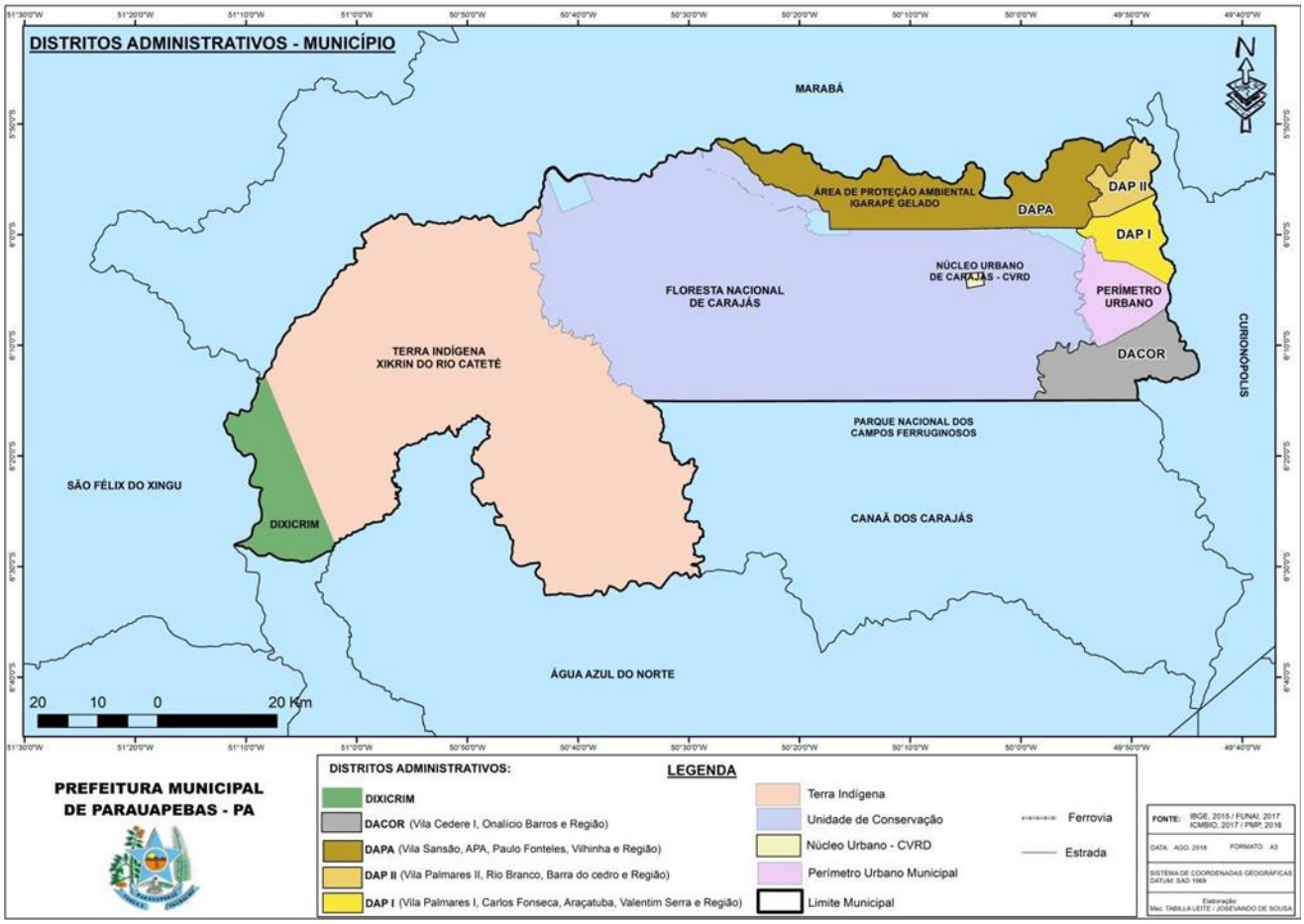
Fonte: Plano diretor municipal. Lei 4.328/2006.

3.2 Proposta de mapa de macrozoneamento de 2018

A Figura 4 mostra por fim o mapa dos distritos administrativos presentes na proposta de macrozoneamento no ano de 2018, onde a maioria das nomenclaturas dos distritos permaneceu a mesma, com alguns adendos como a criação oficial do CVRD (Núcleo Urbano de Carajás) e também do perímetro urbano da cidade enquanto distrito municipal. Após a finalização do mapa, a próxima etapa são as audiências públicas e demais processos legais para devida implantação do plano diretor com as propostas feitas, que até o começo de 2019 já deve ter sido concluído.

Portanto, o presente trabalhou procurou fazer uma breve análise da elaboração do Macrozoneamento municipal/urbano de Parauapebas no estado do Pará ao qual ficou constatado que o tipo de zoneamento em forma de divisões distritais utilizado para a divisão espacial dessa cidade foi pensado e especializado para atender a administração e gestão pública municipal. Mas para isso, fez-se necessário realizar um contexto histórico sobre o planejamento urbano e elaboração de planos diretores municipais, assim como a localização do município e seu contexto perante a revisão de seu plano diretor que já deveria ter sido revisado desde o ano de 2016 (prazo máximo segundo o Estatuto da Cidade), assim como o macrozoneamento no processo do planejamento urbano e divisão dos distritos.

Figura 6 – Mapa de macrozoneamento do plano diretor 2018



Fonte: Os autores (2018)

Desse modo, é importante reiterar que a divisão espacial com base nesse parcelamento teve como propósito estabelecer parâmetros relacionados ao uso e ocupação do solo para cada zona em Parauapebas. Por outro lado, esse macrozoneamento não resolve todos os problemas na gestão municipal e sim auxilia para o melhor entendimento das características distintas para cada parte e estabelecer diretrizes para a gestão. Devemos destacar também que esse é apenas um mapa importante para a gestão que deve estar presente no plano diretor municipal, no entanto muitos outros mapas devem ser elaborados para que assim a efetividade do planejamento urbano aconteça e a função do plano seja respeitada, desta forma os mapas são de caráter fundamental neste processo.

4 CONCLUSÕES

É importante salientar que as primeiras atividades inerentes ao zoneamento urbano foram realizadas nas cidades dos países do capitalismo central, mais precisamente na Europa e nos Estados Unidos. Isso foi materializado, porque tanto a primeira quanto a segunda Revolução Industrial foram determinantes para proliferação do processo de urbanização que influenciaram para as transformações espaciais das cidades.

Também foi constatado por meio dessa investigação que, no Brasil, a atividade do zoneamento no contexto do planejamento urbano tem um marco no Estatuto da cidade. Ademais, com passar do tempo, o zoneamento urbano no Brasil, começou a fazer parte dos planos urbanos, mais precisamente dos Planos Diretores. Em relação à análise do macrozoneamento em divisão por distritos de Parauapebas, percebeu-se que o modelo adotado para a divisão espacial destas zonas, foi principalmente para atender e espacializar as divisões já estabelecidas e abordadas pela gestão pública municipal, com bairros de características urbanas, de habitação, de serviços públicos entre outros com características comuns. Teoricamente esse modelo, tem como proposta atribuir para cada parte do espaço urbano determinado tipo de serviços e características urbanas em comum e suas funções.

Portanto, a realização desse trabalho não teve a intenção de esgotar um debate sobre esse tema, mas apenas caracterizou essa questão que acontece a nível da escala macro para Parauapebas, onde os técnicos da própria prefeitura

tiveram um papel fundamental visto que estabeleceram as diretrizes para o parcelamento em distritos. Entendemos também que cada ciência que estuda a questão urbana de forma específica e procura enfatizar com base no seu objeto de estudo uma análise mais específica sobre a importância do planejamento urbano é parcelamento como o macrozoneamento no contexto do planejamento urbano é um papel fundamental do Cartografo, que tem função chave na elaboração do planos diretores e demais planos e também papel fundamental no momento da gestão e um profissional de muito peso na prefeituras municipais.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei 10.257/2001 - **Regulamenta os arts 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências**. Brasília: [S.n], 2001.

CAPACIDADES. **Curso: Reabilitação Urbana com foco em áreas centrais . Módulo 1 – Unidade 1**. Disponível em: < http://www.capacidades.gov.br/evento/785/curso-a-distancia-de-autoinstrucao---reabilitacao-urbana-com-foco-em-areas-centrais---turma-12018>. Acesso: 15 março 2018.

DÉAK, Csaba, SCHIFFER, Sueli Ramos. **O Processo de Urbanização no Brasil**. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 1999.

GOUVÊA, Ronaldo Guimarães. **A questão metropolitana no Brasil**. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2005.

ROLNIK, Raquel. **A cidade e a lei: legislação, política urbana e territórios na cidade de São Paulo**. São Paulo: Studio Nobel: FAPESP. 1997. Reimpressão 2007.

VILLAÇA, Flávio. **Uma contribuição para a história do planejamento urbano no Brasil**. In: DEÁK, Csaba; SCHIFFER, Sueli Ramos (org.) **O processo de urbanização no Brasil.** São Paulo: EdUSP, 1999. p. 169 – 243.

MAPEAMENTO COMPARATIVO DA VEGETAÇÃO NATIVA DO MUNICÍPIO DE PARACATU-MG EXTRAÍDA POR IMAGENS DO SATÉLITE SENTINEL E AS ÁREAS CADASTRADAS NO CAR

THAÍS SILVA RAMOS
IZABELA SOARES DE OLIVEIRA
INGLITH DE SOUZA LAGE ALVES
GABRIEL DA SILVA GOUVEIA

Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Instituto de Geografia - IG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
thais007ramos@hotmail.com, isoares630@hotmail.com, inglith_lage@yahoo.com.br,
gabrielsilvagouveia94@gmail.com

RESUMO – As Áreas de Preservação Permanente (APP) sempre apresentaram índices elevados de desmatamento, porém é perceptível a intensificação nos últimos anos. Com intuito de fazer o controle dessas áreas, criou-se o Cadastro Ambiental Rural, que tem o objetivo a implementação de um banco de dados dessas regiões e o acompanhamento das mesmas. A cidade de Paracatu desdá sua criação sempre se destacou pela extração do ouro e minerais e também pela produção de grãos, e que vêm até os dias atuais, com ainda mais intensidade. Contudo a atividade garimpeira e o uso do solo para fins agrícolas contribuem para grandes impactos ambientais, em destaque os danos aos recursos e proximidades hídricas com o desvio, aterramento dos rios e retirada das matas ciliares. Este trabalho tem o objetivo de identificar e quantificar as APP presentes no município por meio de imagens do satélite Sentinel e compara-las com as áreas que já cadastradas no CAR com intuito de sinalizar possíveis áreas ainda não contempladas pelo cadastro.

ABSTRACT - As the Permanent Preservation Areas (PPA) have high rates of deforestation, however, intensification in recent years is perceptible. In order to create the areas of creation, create the Rural Environmental Registry, which has the implementation of a database of the regions and the monitoring of them. The city of Paracatu from its creation, without exception, was distinguished by the extraction of gold and minerals, and also by the production of grains, and which is present today, with even more intensity. Garimpeira and the use of the ground for profit are important for the environmental protection, the prominence for the protection of resources and for the water areas with the deviation, the contribution of the rivers and the removal of the riparian forests. This work has the objective of identifying and quantifying the information contained in the APP as there is no municipality for the satellite image medium and for the areas that have already been registered in the CAR with a flagging name of areas not yet covered by the cadastre.

1 INTRODUÇÃO

A vegetação nativa é compreendida como sendo uma vegetação natural de um determinado local. Este tipo de vegetação é alvo muitas vezes de desmatamento para ceder a área para o desenvolvimento de outras atividades. No entanto, esta vegetação é de extrema importância para a proteção de mananciais, ela protege o solo e permite a infiltração da água proveniente das chuvas. Outro aspecto é que ela é fonte de alimento para diversas espécies incluindo os seres humanos, auxilia na manutenção do clima da região e ainda é moradia para os animais silvestres. Tendo em vista sua funcionalidade, é possível dizer que para o equilíbrio do ecossistema é necessário se atentar a preservação e a recuperação desta vegetação, beneficiando assim, todos os seres vivos (IMASUL, 2016).

Para a garantia da preservação da vegetação nativa foi estabelecida a Lei de Proteção da Vegetação Nativa, também conhecido como Código florestal. Esta lei tem por objetivo o estabelecimento dos limites de uso de uma propriedade rural e bem como regras para que seja respeitada a vegetação nativa do local. Para tanto, ela estabelece os limites de terrenos que devem ser destinados para a reserva legal e para preservação permanente (BRASIL, 2012).

As florestas naturais que recobrem o planeta Terra vêm reduzindo o tamanho ao longo dos anos, os fatores mais impactantes nesse processo de degradação, que também pode ser denominado como desmatamento são os incêndios,

utilização da terra para agricultura e pecuária, corte das arvores para fins comerciais e os fenômenos naturais (ARRAES et al, 2012).

O Sensoriamento Remoto (SR), pode ser descrito como a tecnologia que permite extrair dados da superfície terrestre, através da captação e registro da energia que é refletida ou emitida pela superfície (FLORENZANO, 2011).

Para a elevação da qualidade dos dados advindos do SR, que estão sujeitos a vários tipos de erros, que se dão principalmente pela distância da superfície e satélite, esses erros podem ser eliminados ou minimizados por meio do Processamento Digital de Imagens (PDI). O PDI é a aplicação de procedimentos matemáticos nos dados, de forma que as imagens tenham elevadas qualidades espaciais e espectrais. O PDI consiste em basicamente dois segmentos, técnicas de realce e classificação (MENESES E ALMEIDA, 2012).

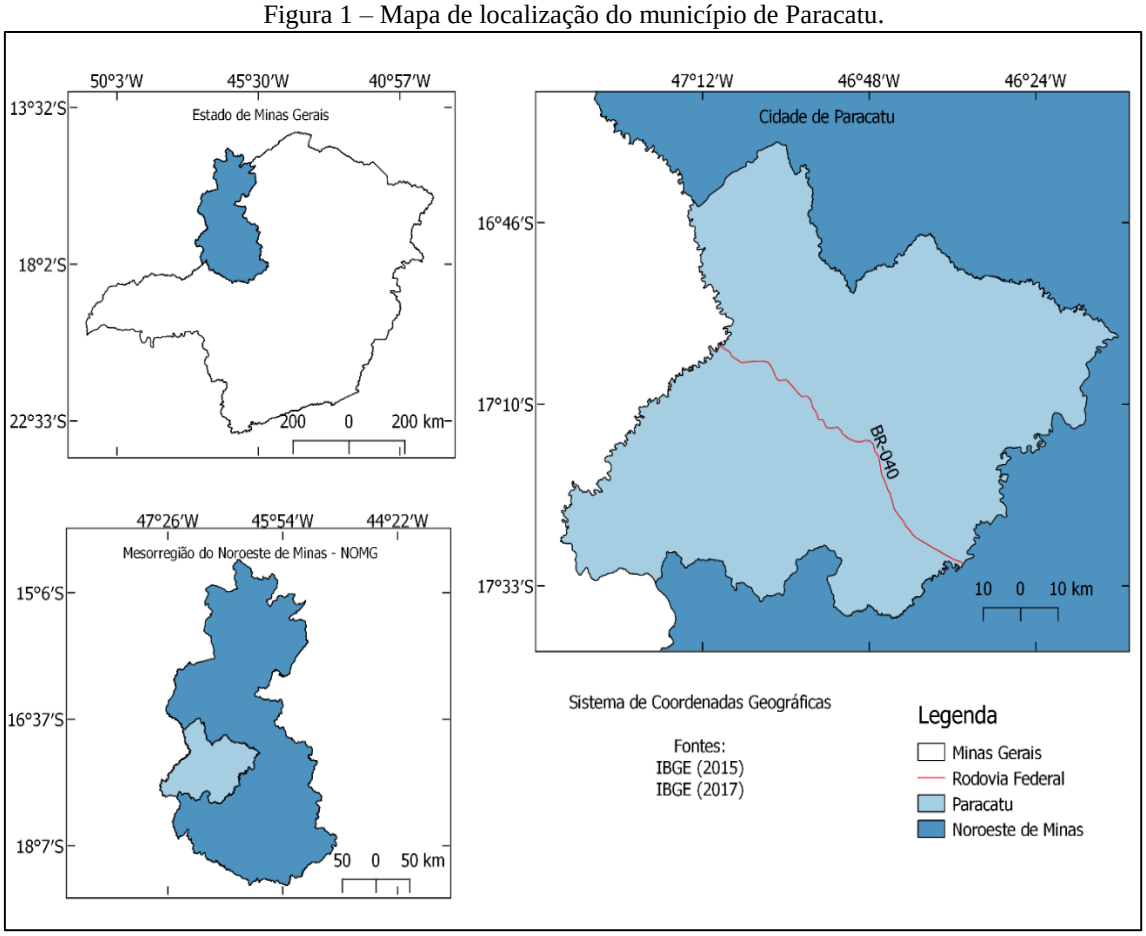
A utilização de dados advindos do SR se tornou muito comum nos últimos anos, principalmente no acompanhamento de desastres ambientais, das florestas existentes, vegetação nativa, desmatamento, entre outros problemas ambientais.

A cidade de Paracatu está localizada dentro da mesorregião do Noroeste de Minas, inserido no estado de Minas Gerais, a vegetação típica da região é o cerrado, altitude média de 687 metros e temperatura média anual de 24,4°C. O distrito denominado como Paracatu do Príncipe foi criado no ano de 1798, sendo elevado a vila em 1799, e posteriormente sendo caracterizada como cidade em 1840, com extensão territorial é de 8.229,595 Km^2(IBGE, 2017).

A cidade de Paracatu nasceu no ciclo do ouro, e durante quase um século o ouro estava presente de forma abundante na região, principalmente nos depósitos de aluvião, que eram encontrados em diversos córregos do município. A extração em abundância do ouro presente nos rios fez com que o arraial crescesse de forma rápida (PREFEITURA DE PARACATU, 2015).

O município tem destaque no estado de Minas Gerais por sua economia, que se tem uma moderna produção do ouro, de grãos e pela pecuária. Segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística no ano de 2010 a cidade tinha população de 84.718 mil habitantes, com uma densidade demográfica de 10,79 hab/Km^2 (IBGE,2010). Na Figura 1 é possível observar a localização do município de Paracatu, que serve como caminho da BR-040.

Figura 1 – Mapa de localização do município de Paracatu.



Fonte: os autores (2018)

O Cadastro Ambiental Rural (CAR), é registro eletrônico, obrigatório para todos os imóveis rurais, que busca armazenar informações ambientais das propriedades sobre as Áreas de Preservação Permanente (APP), de Reserva Legal, de remanescentes de florestas e demais formas de vegetação nativa, e das áreas consolidadas. Essas informações são armazenadas em um banco de dados para que assim sejam utilizados para o controle, monitoramento, planejamento ambiental, econômico e combate ao desmatamento. É de responsabilidade do SICAR (Sistema de Cadastro Ambiental Rural) a disponibilização de recibos, gerenciamento e disponibilização dos dados destinados a subsidiar políticas, programas, projetos e atividades de controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento ilegal (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018).

O município de Paracatu é conhecido pela presença das mineradoras, das indústrias, pela produção de grãos, entre outros, sendo assim, a cidade vem sofrendo com o desmatamento das APP. Apesar de o CAR ser obrigatório em todo território nacional, muitas áreas tanto no município quanto no país ainda não estão cadastradas, e por este descontrole e falta de informações dos territórios o desmatamento irregular cresce de forma desenfreada. Este trabalho tem o objetivo de identificar e quantificar as APP presentes no município de Paracatu-MG por meio de imagens do satélite *Sentinel* do ano de 2018 e compara-las com as áreas que já cadastradas no CAR com intuito de sinalizar possíveis áreas ainda não contempladas pelo cadastro.

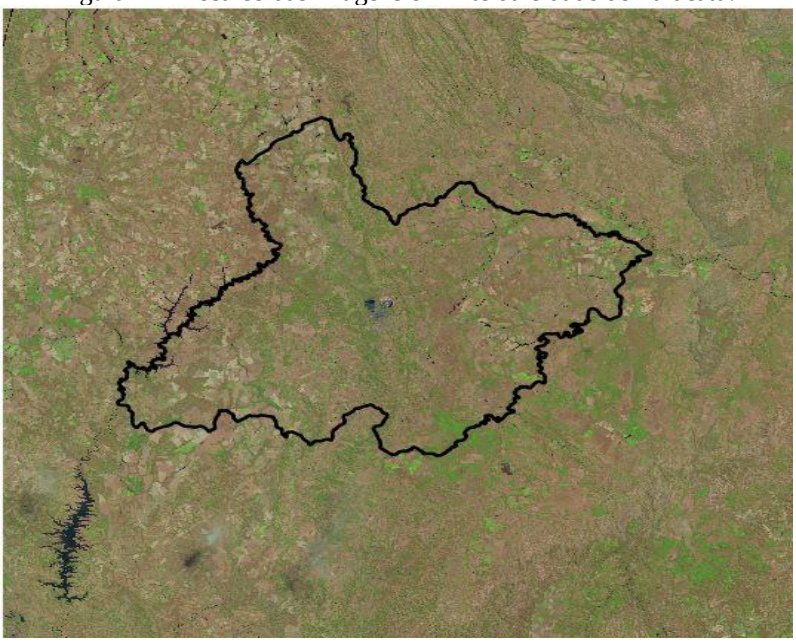
2.0 METODOLOGIA DO TRABALHO

Os materiais necessários para realização deste trabalho são as seguintes:

- Imagens do satélite *Sentinel* com resolução espacial de 15 metros registrada no dia 28 de agosto de 2018;
- Shapefile do limite municipal de Paracatu disponibilizada pelo IBGE (2015);
- Shapefile da vegetação nativa de Paracatu cadastrada no SICAR (2018);
- Software livre QGis 2.18.18;
- Software *Envi 5.0*.

Para a realização deste trabalho foram baixadas 4 imagens advindas do satélite *Sentinel* do mês de agosto de 2018 disponível na plataforma digital do *Science For a Changing World* (USGS). O município de Paracatu encontra-se localizado em 4 imagens do satélite *Sentinel*, por isso, foi necessário fazer o mosaico destas imagens, composta pela combinação 123, no software ENVI 5.0 adicionando todas as imagens na opção *Seamless Mosaic* e posteriormente o recorte no software QGIS com a ferramenta Recorte dentro da aba do menu Raster, de acordo com limite mundial fornecido pelo IBGE. A Figura 2 expõe o mosaico e o limite da cidade de Paracatu.

Figura 2 – Mosaico das imagens e limite da cidade de Paracatu.



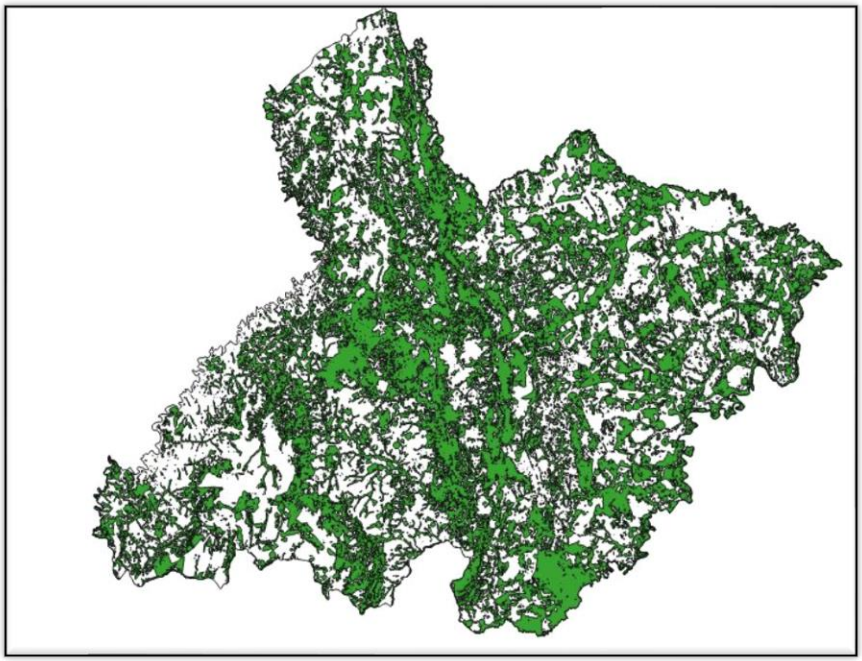
Fonte: os autores (2018).

A utilização destas imagens tem por intuito fornecer dados para observação e quantificação das áreas de vegetação nativa do município. Para a realização deste objetivo foi utilizado o software *ENVI 5.0*, possibilitando a realização de uma classificação supervisionada da área em estudo. Após salvo o recorte realizado no QGIS este foi encaminhado para

o ENVI e recolhidas amostras dos números digitais (pontos da imagem), utilizando a ferramenta ROI, para identificar a vegetação nativa na região e possibilitar uma imagem em formato Raster classificada pelo método estatístico *Maximum Lokelihood Classification*.

Posteriormente a imagem em formato Raster foi convertida para Vetor com a ferramenta "Raster para Vetor" localizada na aba de opções Raster. Então a vegetação nativa foi convertida para polígonos e criada automaticamente uma tabela de atributos com as características destes. Em seguida se fez possível o cálculo da área da vegetada existente na região de estudo criando uma nova coluna na tabela e utilizando a calculadora de campo obtendo a área de cada polígono e posteriormente a área total. O resultado é exposto, na Figura 3.

Figura 3 – Vegetação extraída por imagens do satélite *Sentinel* em formato de vetor.



Fonte: os autores (2018).

A base de dados cadastrados no SICAR possui um módulo no qual foram cadastradas as áreas de vegetação nativa do município. Este órgão permite a realização de download de dados vetoriais, que puderam ser facilmente manipulados através do Software QGIS.

Quando realizado o *donwload* dos dados advindos do CAR são disponibilizados ao usuário cinco arquivos, sendo um deles uma planilha contendo o valor de cada área de vegetação nativa cadastrada. Para a obtenção do valor total desta vegetação, foi aberta no Excel a planilha fornecida e somadas todas as áreas.

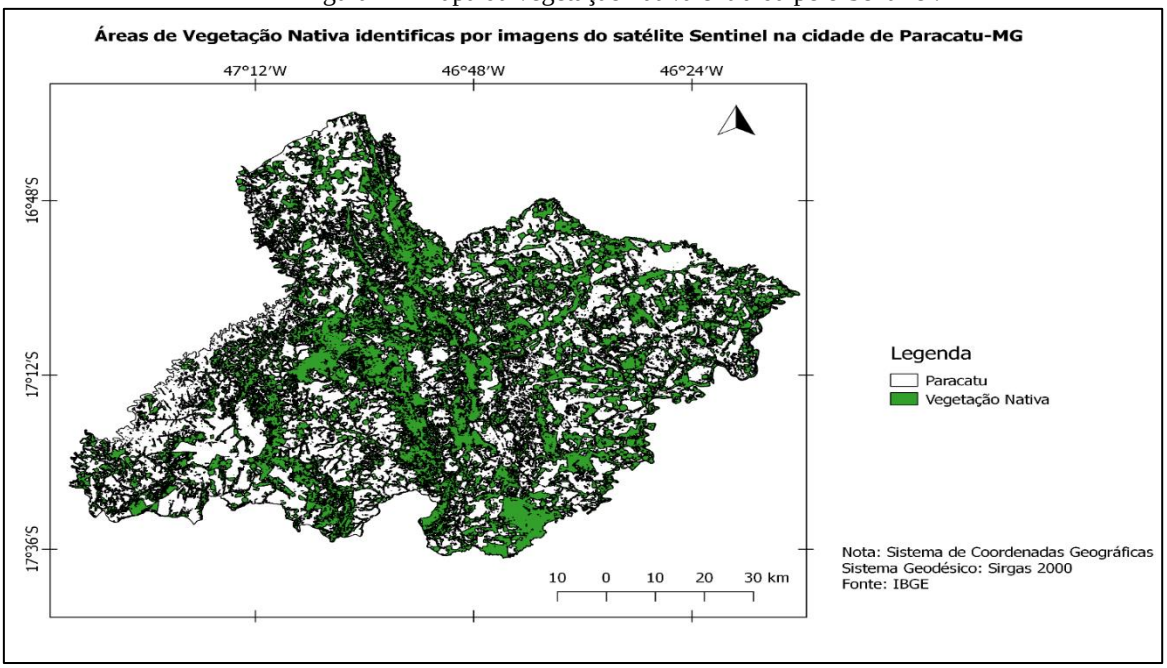
Para a comparação da área de vegetação nativa obtida pela a classificação supervisionada com as áreas cadastradas pelo CAR foi utilizada a ferramenta Diferença, presente no software QGIS. Esta ferramenta possibilitou observar quais áreas não estavam em comum acordo dos dados fornecidos pelo SICAR com os dados obtidos pela classificação supervisionada.

3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio das imagens do satélite *Sentinel* foi possível a realização da técnica de Processamento de Imagens, sendo esta a classificação supervisionada pelo método *Maximum Lokelihood Classification* no software *Envi 5.0*, que segundo Meneses e Andrade(2012) esse método considera que todas as bandas tem uma distribuição normal e calcula a probabilidade que cada pixel tem de pertencer a determinada classe. A partir desta classificação foi possível obter um mapa com áreas de vegetação nativa presentes no município de Paracatu, este mapa se encontra exposto na Figura 4.

Analisando o mapa que está presente na Figura 4, é possível observar que o município apresenta vegetação nativa presente em quase toda a extensão. Em algumas áreas se tem a vegetação nativa mais densa, em contrapartida em algumas áreas encontra-se com pouca presença desta vegetação.

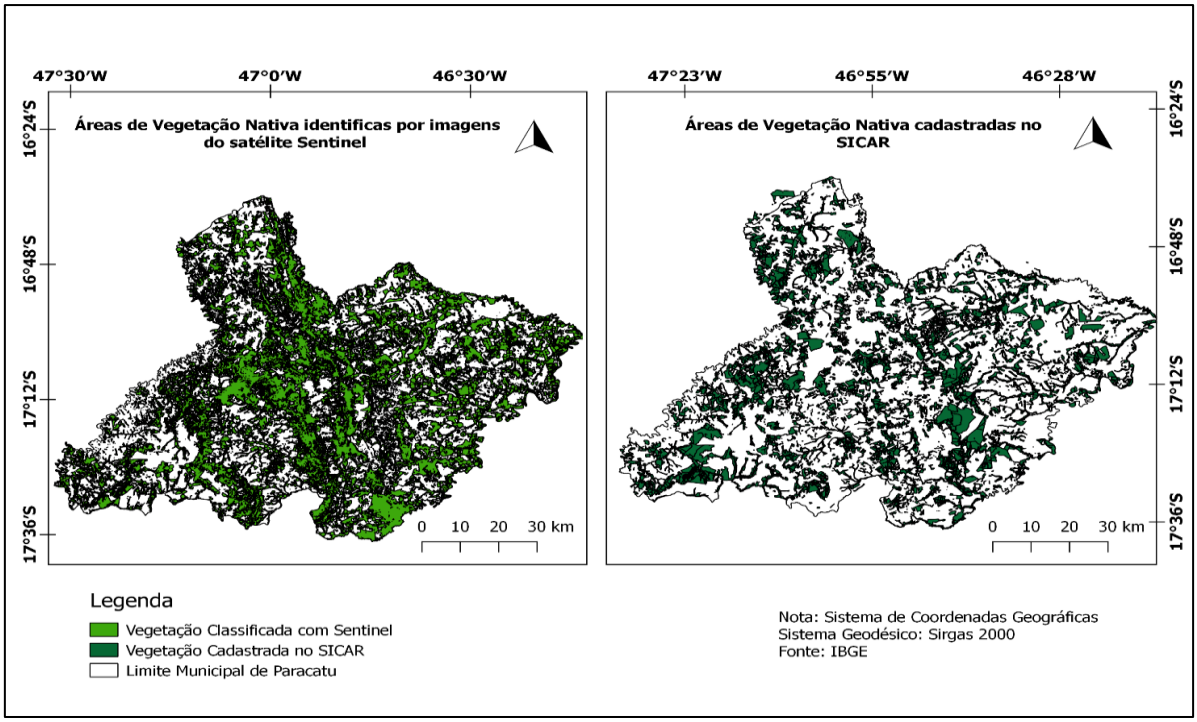
Figura 4 – Mapa da vegetação nativa extraída pelo Sentinel.



Fonte: os autores (2018).

A Figura 5, mostra a dois mapas, no primeiro se tem vegetação nativa classificada por imagens do satélite *Sentinel* e o segundo aquelas que estão cadastradas no CAR. A resolução temporal de ambos os dados é do mês de agosto, porém os advindos do SICAR tiveram data download no dia 30 do mês, já as satélite *Sentinel*, tiveram a data de registro no dia 28 e de download no dia 30 de agosto de 2018. Visualmente é perceptível que a vegetação nativa presente no mapa dos dados disponibilizados pelo SICAR se encontra menos densa que a vegetação obtida pelas imagens de satélite.

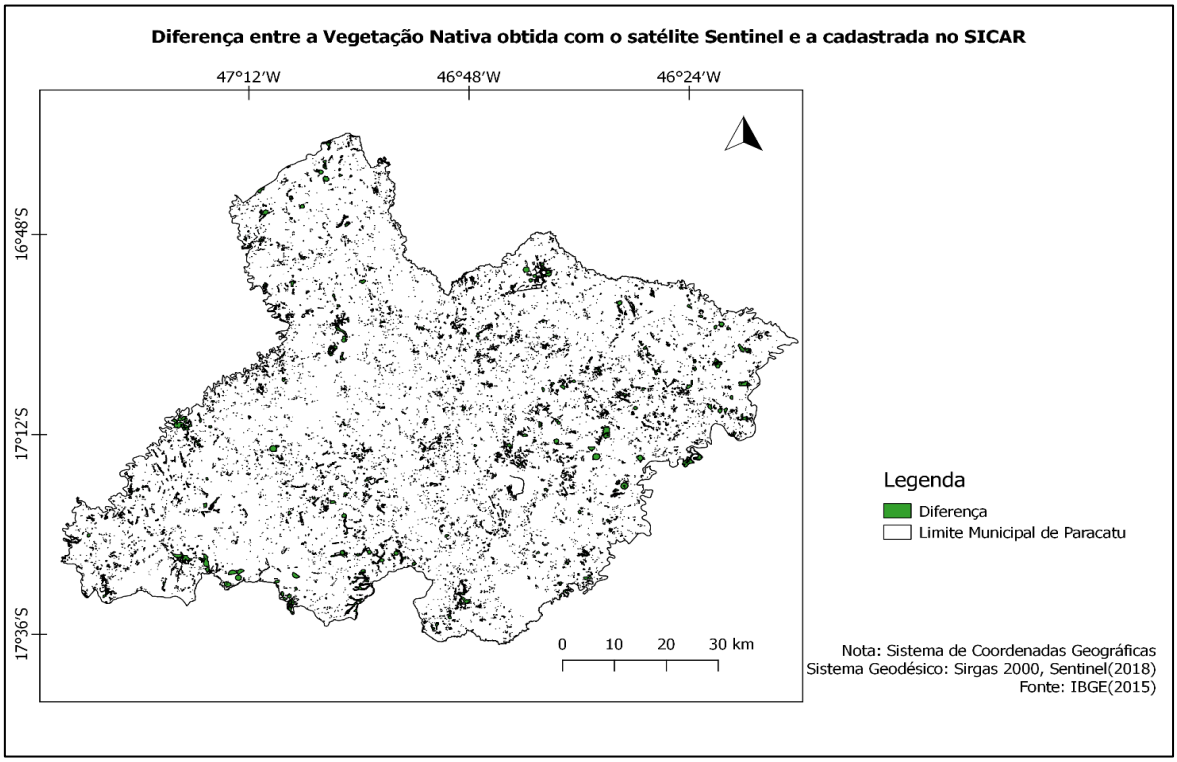
Figura 5 – Mapa da vegetação nativa do *Sentinel* e do SICAR.



Fonte: os autores (2018).

Para análise da quantidade de vegetação nativa obtida que não se encontrava cadastrada no SICAR, foi realizada a operação de Diferença entre os dados vetoriais de vegetação do CAR e da classificação supervisionada. Este procedimento foi realizado por intermédio da diferença entre a vegetação nativa extraída na classificação supervisionada com a imagem do satélite *Sentinel* e a área cadastrada no SICAR pode ser observada na Figura 6.

Figura 6 – Mapa da vegetação nativa extraída pelo *Sentinel*.



Fonte: os autores (2018).

Na Figura 6 são observados diversos polígonos presentes no município de Paracatu, tais polígonos são considerados como sendo pertencente as áreas de vegetação nativa, porém não foram atribuídos como sendo pertencente ao CAR.

Apesar da cidade de Paracatu ser conhecida pela extração do ouro, diversos minerais e agricultura, a vegetação nativa ainda encontra presente na maior parte do Munícipio.

Foram quantificados a área em hectares sobre os arquivos vetoriais de vegetação nativa do CAR e da classificação supervisionada, e também a diferença entre estes dois dados foram calculados. O resultado destes dados está presentes na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultado da área da Vegetação Nativa (VN) do SICAR.

	VN do SICAR	**VN da classificação**	**Diferença**
Área	**Valor (ha)**	**Valor (ha)**	**Valor (ha)**
Soma	238942	392911	35576,2

Fonte: os autores (2018).

Observando os dados presentes na Tabela 1, é possível averiguar que a quantidade de áreas cadastradas pelo SICAR é demasiado inferior à obtida pela classificação das imagens do satélite *Sentinel*. Encontram-se presentes na classe de vegetação nativa obtida por classificação supervisionada aproximadamente 35576,2 ha a mais que a vegetação nativa que estão cadastradas pelo SICAR.

4.0 CONCLUSÕES

O Cadastro Ambiental Rural inaugurou seu trabalho no ano de 2012 e em poucos anos já possuem um banco de dados com grande extensão, porém existem áreas que ainda não obtiveram o cadastro apesar da obrigatoriedade do registro. A partir da análise comparativa entre os dados cadastrados no CAR e as áreas obtidas pelo imageamento do sensor Sentinel, verificou-se a inconsistência e desatualização do banco de dados disponibilizado pelo SICAR para as regiões de vegetação nativa.

Sendo assim, é possível afirmar que as geotecnologias vêm se mostrando bastante eficiente para o reconhecimento e identificação do uso e ocupação do solo em diversas áreas diferentes, sendo aplicado na identificação da vegetação nativa na cidade de Paracatu neste trabalho.

REFERÊNCIAS

IMASUL. Restauração da Vegetação Nativa- Cartilha de Apoio à Adequação Ambiental de Propriedades Rurais na Mata Atlântica do Mato Grosso do Sul. - Campo Grande: Imasul, 2016.

ACKERMANN, F.; EBNER, H.; KLEIN, H. Block triangulation with independent models. **Photogrammetric Engineering,** V. 39, p. 967-981, 1973.

ARRAES, R, A; MARIANO, F. Z.; SIMONASSI, A. G. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 50, n. 1, p. 119-140, 2012.

BRASIL. Lei nº 12651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996; [...] e dá outras providências**. Brasília, DF, 07 jul. 2009.

IBGE. Bases e Referenciais. Disponível em <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>. Acesso: agosto 2018.

IBGE. **Paracatu**. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/paracatu>. Acesso: agosto 2018.

DEGASPARI, S. D.; VANALLI, T. R.; MOREIRA, M. R. G. **Apostila de Normalização Documentária** (**com base nas normas da ABNT**). Disponível em <http://www2.prudente.unesp.br/biblioteca/normalizacaobib.html>. Acesso: agosto 2018.

FLORENZANO, T. G. Iniciação em sensoriamento remoto. **Capitulo 1: Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. São Paulo, Oficina de Textos, 2011.

GOODCHILD, M.; BRADLEY, P.; STEYAERT, I. **Environmental modeling with GIS**. New York: Oxford University Press, 1993. 488p.

LAURINI, R.; THOMPSON, D. **Fundamental of spatial information systems**. Toronto: Academic Press, 1992. 680p.

NEUSCH, T**. Multi-frequency and multi-polarization synthetic aperture radar for modeling hydrological parameters**. 1999. 128p. PhD Thesis - University of Karlsruhe, Karlsruhe.

MENESES, R. P.; DE ALMEIDA, T. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. **Brasília: UNB/CNPq**, 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Cadastro Ambiental Rural (CAR)**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/mma-em-numeros/cadastro-ambiental-rural>. Acesso: Agosto 2018.

USGS. **Science for a Phanging Word**. Disponível em < https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso: Agosto 2018.

VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação *Recife - PE, 08-09 de Nov de 2018.*

REFLEXÕES SOBRE O SISTEMA DE CADASTRO TERRITORIAL BRASILEIRO - REALIDADE E NECESSIDADES

SUZANA DANIELA ROCHA SANTOS E SILVA
ARTUR CALDAS BRANDÃO

Universidade Federal da Bahia - UFBA
Departamento de Engenharia de Transporte e Geodesia
suzanadrs@hotmail.com , acaldas@ufba.br

RESUMO - Apesar de existirem iniciativas para a implantação e desenvolvimento do Cadastro no Brasil, não se conseguiu ainda estabelecer um modelo cadastral que pudesse atender as demandas locais dos 5.570 municípios brasileiros. Consequentemente o Brasil não dispõe de uma base confiável de informações sobre a ocupação do território, tão necessário para uma eficiente gestão territorial. Dessa forma, não se pode considerar que o Cadastro Territorial Brasileiro constitua num sistema. O sucesso da implantação e desenvolvimento do Cadastro Territorial vai além de iniciativas isoladas, sendo necessário, como premissas, estabelecer políticas bem definidas, criando um sistema gerencial adequado e devidamente estruturado, envolvendo aspectos de legislação, procedimentos e normas técnicas, recursos financeiros, e recursos humanos qualificados. Antes, porém, o conceito de Cadastro para a realidade brasileira deve ser bem definido e caracterizado. Vários esforços foram realizados na tentativa de se implantar um cadastro territorial bem estruturado. No entanto, em geral, a maioria dessas iniciativas não teve sucesso. Esse fato pode ser atribuído pelo não atendimento das necessidades particulares do Cadastro Territorial brasileiro, passando pela ausência de pesquisas nessa área considerando as especificidades do Brasil. Com base nos problemas apresentados, este trabalho tem como objetivo apresentar uma visão sobre os principais problemas do Cadastro Territorial Brasileiro, analisando suas principais causas, como uma tentativa de propor diretrizes para seu desenvolvimento.

ABSTRACT - Although there are initiatives for the implementation and development of Cadastre in Brazil, it has not yet been possible to establish a cadastral model that could meet the local demands of the 5,570 Brazilian municipalities. Consequently we do not have in Brazil a reliable base of information on the occupation of the territory, so necessary for an efficient territorial management. The success of the implementation and development of the Territorial Register goes beyond isolated initiatives. It is necessary, as premises, to establish well-defined policies, creating an adequate and properly structured management system, involving aspects of legislation, procedures and technical standards, financial resources and resources human beings. Before, however, the concept of Cadastre for the Brazilian reality must be well defined and characterized. Several efforts were made in the attempt to establish a well-structured territorial cadastre. However, in general, most of these efforts were unsuccessful. This fact can be attributed to the non-fulfillment of the particular needs of the Brazilian Territorial Cadastre, passing through the absence of research in this area considering the specificities of Brazil. Based on the problems presented, this paper aims to present an overview of the main problems of the Brazilian Territorial Cadastre, analyzing its main causes, as an attempt to propose guidelines for its development.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas cadastrais foram concebidos em diferentes países com propósitos econômicos ou fiscais, legais e de reconhecimento físico do território, sendo conhecidos como os sistemas cadastrais tradicionais, convencionais ou ortodoxos. O modelo cadastral adotado por cada país está diretamente relacionado ao propósito atribuído e a sua

principal função.

Os diferentes modelos de cadastro existentes, mesmo tendo sido concebidos com diferentes propósitos, apresentam a necessidade de se conter o mapeamento preciso de todo o território, representado em uma base de dados cadastral, interligada ao registro de imóveis, contendo as informações do proprietário/ocupante, e da área ocupada. Apesar desses mapeamentos serem realizados de forma precisa, garantindo o direito real/legal sobre a terra, os sistemas cadastrais tradicionais não são suficientes para tratar de forma integrada as questões ambientais, econômicas e sociais, que surgiram com a evolução da sociedade. Com isso, novos modelos cadastrais começaram a surgir no final do século XX, os chamados cadastros modernos.

Com base nas novas demandas sociais a FIG, a ONU e o Conselho Nacional de Pesquisa dos Estados Unidos da América passaram a difundir em fóruns internacionais um novo modelo de cadastro, o Cadastro Territorial Multifinalitário, concebidos com o objetivo de se ter um mapeamento territorial confiável e que possa ser usado nos processos de tomada de decisões pelos administradores e ainda garantir os direitos, restrições e responsabilidades (RRR) sobre a terra. Esse novo modelo cadastral passou a ser difundido e adotado em diferentes países pelo mundo.

Analisando os primeiros sistemas cadastrais concebidos no mundo e sua evolução até a atualidade, podemos perceber que o Brasil não conseguiu desenvolver o seu sistema cadastral em sua totalidade. E isso foi decorrência, principalmente pelo simples fato de não termos um mapeamento preciso de todo o território, mas também pela falta de profissionais qualificados, da dificuldade no entendimento do termo cadastro, da ausência de uma instituição/órgão regulamentador e ainda da ausência de normas/padrões para o desenvolvimento do mapeamento cadastral.

Esses fatores influenciam fortemente para o não desenvolvimento de um sistema de Cadastro Territorial no Brasil. Registra-se no entanto, exemplos isolados de sistemas cadastrais implantados e bem sucedidos no Brasil, mas desenvolvidos com uma visão meramente tributária, como se observa analisando as bases de dados, onde está presente apenas a cidade legal, ou seja, a tributada.

Com o intuito de apontar caminhos para o pleno desenvolvimento do Sistema Cadastral brasileiro, foram identificados e analisados problemas que exercem influências direta para a existência dessa realidade.

2 O ENTENDIMENTO CONCEITUAL DO CADASTRO NO BRASIL

O papel atribuído ao Cadastro e a possibilidade de seu uso como uma ferramenta de gestão e de transformação do espaço e da sociedade é dependente da forma como o desenvolvemos e conceituamos. Mesmo não sendo consensual e com interpretações que variam de acordo com o histórico do ordenamento territorial vigente, o Cadastro possui uma definição simples, bem estabelecida e devidamente compreendida na maioria dos países, como sendo. [...] um Sistema de Informação Territorial atualizado, baseado em parcelas, contendo o registro dos interesses sobre a terra (por exemplo, Direitos, Restrições e Responsabilidades). Geralmente inclui uma descrição geométrica das parcelas de terra ligada a outros registros que descrevem a natureza dos interesses, o domínio ou controle desses interesses, e frequentemente o valor da parcela e de suas benfeitorias. [...] Pode ser estabelecido para fins fiscais (e.g. avaliação e tributação), legais (e.g.transferências), de auxílio à gestão e controle do uso das terras (e.g.planejamento e outros propósitos administrativos), contribuindo para o desenvolvimento sustentável e a proteção ambiental. (Declaração do Cadastro - FIG, 1995)

É verdade que no Brasil, na linguagem informal e na conceituação por especialistas, assim como por políticos e gestores, o cadastro no Brasil não possui uma definição clara; os processos de concepção não são homogêneos; os Direitos, Restrições e Responsabilidades (RRR) não são amplamente inseridos na legislação brasileira e não é conhecido como os RRR podem ser um instrumento de gestão do território ao serem incorporados no cadastro. Com isso, claramente pode-se entender que as discussões em torno do conceito de cadastro no Brasil divergem do conceito estabelecido pela FIG e adotado por vários países.

Ao analisarmos a definição da FIG podemos perceber que o conceito de cadastro adotado no Brasil não abrange a relação terra-sujeito-informação, sendo amplamente visto e entendido como a relação terra-sujeito-tributo. Esse fato é comprovado ao observamos os cadastros brasileiros, pois estes representam apenas a cidade legal, geradora de tributos, permanecendo desconhecida a cidade informal.

Os problemas relacionados ao entendimento conceitual de cadastro no Brasil estão além do entendimento de sua função, sendo percebidos também na confusão/sobreposição de uso de termos para a sua definição, promovendo uma dificuldade em sua implementação, uma vez que os termos promovem dúvidas e inconsistências em seu entendimento. Essa realidade foi bem demonstrada por Dantas (2017) em sua tese de doutorado, quando realizou uma análise crítica detalhada dessa questão.

Dentre os termos utilizados no Brasil para se referir ao "Cadastro", destacam-se Sistema Cadastral, Sistema Registral, Sistemas de Informação Territorial ou Administração de Terras. O uso de diferentes termos traz uma dificuldade de entendimento na estruturação do cadastro nacional, onde de acordo ao termo adotado o cadastro pode ser entendido como uma base única multifinalitário de informações sobre a terra ou como parte integrante de uma infraestrutura integrada de informações (DANTAS, 2017).

Além das diferenças conceituais, existe ainda a adoção de diferentes nomenclaturas, para adjetivar o "cadastro", tais como, Cadastro Técnico; Cadastro Territorial; Cadastro de Terras; Cadastro de Imóveis; Cadastro Imobiliário; Cadastro de Florestas; Cadastro Ambiental; Cadastro Rural; Cadastro Urbano; Cadastro Multifinalitário; promovendo com isso o desenvolvimento de cadastros com diferentes propósitos, diferentes critérios, diferentes unidades cadastrais e diferentes entendimentos. Esses problemas ficam evidenciados nas legislações brasileiras, onde, por exemplo, de acordo com a unidade territorial adotada são gerados conflitos de localização, tipo de uso ou exploração da unidade territorial (DANTAS, 2017).

Com isso evidencia-se que um dos problemas do não desenvolvimento do cadastro no Brasil estão relacionados ao entendimento conceitual e não nos problemas relacionados às técnicas de levantamento, processamento, tratamento e análise de dados espaciais. O cadastro brasileiro, em termos de tecnologia e realização de processos, tem evoluído, seguindo as tendências internacionais, mas a evolução em torno do conceito ainda encontra-se em uma fase bastante prematura, necessitando um fortalecimento desta lacuna (DANTAS, 2017).

3 A IMPORTÂNCIA DE UM ÓRGÃO CADASTRAL NO BRASIL

No âmbito da administração cadastral, os problemas iniciam-se com a sua fragmentação, onde o cadastro rural acontece de forma centralizada e sistematizada por uma única instituição, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), e o cadastro urbano tem sua administração descentralizada, onde cada município é responsável por seu cadastro, o que favorece o desenvolvimento de diferentes estruturas cadastrais.

Com a ausência de uma instituição para a administração do cadastro a nível nacional, o Brasil enfrenta problemas como a ausência de normas e padrões para o desenvolvimento dos cadastros urbanos e temáticos. Com isso, o Brasil possui 5760 cadastros municipais, o cadastro rural, e vários cadastros temáticos de diferentes instituições como - Receita Federal do Brasil (RFB), Fundação Nacional do Índio (FUNAI), Secretaria do Patrimônio da União (SPU), Serviço Florestal Brasileiro (SFB), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA); sendo concebidos a partir de diferentes normas e padrões.

Além das diferentes metodologias, normas e padrões adotados para a concepção dos diferentes sistemas cadastrais brasileiros, esses cadastros são desenvolvidos a partir de diferentes conceitos e finalidades, definindo em seus sistemas diferentes unidades territoriais, promovendo um cenário bastante heterogêneo e sistemas interoperáveis entre si.

A necessidade da criação/adoção de uma instituição regulamentadora do cadastro a nível nacional evidenciou-se com a publicação da Portaria 511/2009 do Ministério das Cidades e a publicação do Decreto 8.764/2016, onde segundo a portaria e o decreto, a unidade territorial a ser adotada será a parcela, e todos os levantamentos cadastrais devem ser integrados em um único sistema. Com isso, a nova base cadastral será composta por todos os sistemas cadastrais existentes – rural, urbanos e temáticos; incluindo as áreas tributadas e não tributadas; públicas e privadas; de administração municipal, estadual e federal; áreas ambientais; áreas com restrições de uso ou não. Dentro desse contexto nos fica uma série de questões: Quem realizará a integração dos dados levantados em diferentes padrões e precisões? Como essa integração será realizada? Quem fará as novas definições territoriais? Essas são questões a serem resolvidas através de política e gestão territorial a nível nacional através da criação/adoção de uma instituição cadastral.

Além disso, com a ausência de uma instituição cadastral, o Brasil sofre com a falta de instrumentos e potencializadores para a implantação e gestão dos sistemas cadastrais brasileiros, além da ausência de uma articulação entre as políticas de caráter fiscal, ambiental, rural e urbana entre as três esferas da administração nacional, ausência de políticas de uso e ocupação da terra, políticas de valoração e tributação da terra e controles de especulação sobre a terra.

4 PROBLEMAS NO DESENVOLVIMENTO, ATUALIZAÇÃO E MANUTENÇÃO DE BASES CARTOGRÁFICAS CADASTRAIS BRASILEIRAS

Os problemas relacionados à ausência de uma cartografia cadastral no Brasil podem estar relacionados à ausência de uma cartografia sistemática em escala grande, uma vez que o Brasil é um país que não possui uma cultura cartográfica, tendo como evidencia a realização da gestão do território sem a presença de mapas. De acordo com estudo realizado por Ugeda (2017), o Brasil é um país onde seu território foi delimitado e geograficamente organizado sem o uso de mapas e segundo Phillips (2004) os problemas cadastrais iniciam-se com o desconhecimento da localização das terras devolutas, uma vez que o mapeamento destas terras nunca foi realizado.

Apesar de todos os esforços realizados para o desenvolvimento da cartografia brasileira, o Brasil, até os dias de hoje, não possui o mapeamento de todo o seu território em nenhuma das escalas do mapeamento sistemático, tendo a maior parte de seu território mapeado apenas na escala 1:250.000. Além da ausência de uma cartografia em escalas maiores, as cartas existentes encontram-se em sua grande maioria desatualizadas, fazendo com que a sua utilização não alcance os objetivos para os quais foram elaborados. Esse fato pode ter como fatores causadores o desenvolvimento do mapeamento brasileiro por instituições internacionais, com o objetivo de conhecimento do território para exploração de suas riquezas naturais, onde só a partir da década de 1920 que a cartografia brasileira passou a ser desenvolvida por instituições nacionais, Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com o objetivo de demarcação de fronteiras territoriais.

Um fator que pode ter forte influência sobre os problemas cartográficos do Brasil é a falta de uma única instituição regulamentadora e executora de todo o processo cartográfico nacional. Isso porque, no Brasil, o mapeamento é dividido pela escala de representação entre as organizações de esfera nacional e municipal. A execução do mapeamento territorial nas escalas que variam de 1:25.000 e menores temos a responsabilidade dividida entre DSG e IBGE, onde a DSG é responsável pelo mapeamento nas escalas 1:250.000 a 1:25.000, enquanto que o IBGE é responsável pelo mapeamento nas escalas de 1:500.000 e menores. O mapeamento nas escalas de 1:10.000 e maiores é de responsabilidade da esfera municipal. A regulamentação do mapeamento é dividida entre a DSG e a CONCAR, onde a DSG elabora as normas e padrões para os levantamentos, inicia sua execução, e só alguns anos depois a CONCAR cumpre com seu papel, o de homologar essas regulamentações.

A partir da análise da história do mapeamento de países com uma cartografia consolidada pode-se perceber que os mapeamentos são desenvolvidos por uma única instituição, onde os projetos de mapeamento são realizados de forma organizada e sistematizada, sendo realizados de forma gradativa em cada escala, com o desenvolvimento dos planos de atualização dos mapeamentos.

Ao olharmos para a história da cartografia nacional percebemos que o Brasil nunca conseguiu desenvolver seu mapeamento a nível municipal, nas escalas 1:10.000 e maiores, o que favorece a inexistência de um mapeamento cadastral. A maioria dos países que hoje possuem um mapeamento topográfico e mapeamento cadastral bem estruturado iniciaram a organização e gestão de seu território a partir da realização do mapeamento sistemático, iniciando os seus mapeamentos em escalas menores, 1:250.000 a 1:25.000, posteriormente desenvolvendo o mapeamento em escalas maiores. O cadastro territorial foi posteriormente implantado, com o objetivo inicial de arrecadação de impostos. Com o reconhecimento do potencial do mapeamento cadastral para o ordenamento territorial, hoje, em muitos países, os levantamentos cadastrais são utilizados como fonte de dados para a geração da cartografia sistemática, por meio do processo de generalização, uma vez que, todo o território é mapeado com métodos precisos e com base na menor unidade territorial, a parcela.

4 CONFUSÃO ENTRE MAPEAMENTO CADASTRAL E MAPEAMENTO TOPOGRÁFICO EM ESCALA GRANDE

No Brasil não existe um modelo estabelecido de mapeamento cadastral urbano. Os mapeamentos cadastrais realizados pelos municípios brasileiros não contemplam o conteúdo básico do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM), definido pela Portaria 511 de 2009 do Ministério das Cidades, como sendo o levantamento sistemático das parcelas territoriais, contendo sua caracterização, seu uso, identificador único, localização e proprietário, detentor do domínio útil e possuidor. Dessa forma, praticamente todos os municípios brasileiros realizam os mapeamentos cadastrais com a finalidade tributária, onde esses não levantam os limites legais das parcelas, levantando apenas as feições visíveis no terreno, obtidas por métodos fotogramétricos ou topográficos. Esse problema pode ter como causas o não entendimento do cadastro como ferramenta de gestão e a confusão existente entre a definição de mapeamento cadastral e mapeamento topográfico, onde sua diferenciação é feito apenas pela escala utilizada e não pela sua função e

elementos levantados.

Para a FIG, o cadastro é um sistema de informações territorial atualizado referente a todos os objetos terrestres em um determinado território. A descrição das parcelas geralmente é parte desse cadastro e relacionam-se com informações da sua origem, ao valor atribuído, às dimensões, benfeitorias e os direitos legais. Podendo ser usado com finalidades fiscais, legais ou como uma ferramenta de gestão. Dessa forma, o mapeamento cadastral, deve levantar os limites legais das parcelas, garantindo os limites territoriais legais junto ao Registro de Imóveis – RI, além de garantir os direitos, restrições e responsabilidades sobre a terra.

Ao olharmos para os mapeamentos "cadastrais" realizados no país podemos perceber que ao final tem-se a realização de um mapeamento topográfico municipal em escala grande, uma vez que os elementos ali levantados não garantem a delimitação legal das parcelas, unidade básica do cadastro, nem os direitos, restrições e responsabilidades sobre a terra.

A confusão existente entre mapeamento cadastral e mapeamento topográfico pode ser observado até mesmo nos conceitos e procedimentos adotados em Normas brasileiras, como a NBR 15777 (2009) - Convenções Topográficas para Cartas e Plantas cadastrais – Escalas 1:10.000, 1:5.000, 1:2.000 e 1:1.000 – Procedimento -, NBR 14166 (1998) - Rede de referência cadastral municipal – Procedimento - e NBR 13133 (1994) - Execução de levantamento topográfico, bem como entre pesquisadores na área.

O problema histórico do não entendimento conceitual do cadastro e a confusão entre mapeamento topográfico e mapeamento cadastral por profissionais da área fica evidenciada até mesmo nas novas iniciativas de estabelecimento de normas e padrões do mapeamento cadastral nacional, onde podemos citar como exemplo a criação do Comitê de Normatização do Mapeamento Cadastral da CONCAR, e elaboração da Norma de Engenharia para Georreferenciamento de Imóveis Urbanos pelo CONFEA e ABNT no âmbito do SINTER.

Em 2007 a Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) criou o Comitê de Normatização do Mapeamento Cadastral, com o objetivo de elaborar especificação técnica de normatização do mapeamento cadastral, visando integrá-lo ao mapeamento sistemático brasileiro. Com base em ATAS das reuniões do comitê evidenciou-se que as normas a serem desenvolvidas são correspondentes ao mapeamento topográfico em escala grande e não em mapeamento cadastral.

O sistema CREA/CONFEA juntamento com a ABNT, apoiado por um grupo de professores e profissionais da área, iniciaram desde o final do ano de 2017, a elaboaração de uma Norma de Engenharia para Georreferenciamento de Imóveis Urbanos. Essa nova proposta de Norma, apesar de adotar a parcela como unidade cadastral, está sendo elaborada com base em diferentes documentos já existentes no Brasil, como as Diretrizes do Cadastro Territorial Multifinalitáro (CTM) do Ministério das Cidades (2009), e as NBRs 15777, 14166 e 13133. Com isso, persistem inconsistências no novo documento, principalmente pelo fato das NBRs terem sido criadas para o desenvolvimento do mapeamento topográfico em escala grande, o que contribui para a propagação do erro de conceitos e de entendimento quanto às finalidades do Cadastro. Essa confusão contribui para o não desenvolvimento de um sistema cadatsral eficiente e eficaz. Além disso, compromete o principio da especialidade que rege o sistema registral brasileiro, uma vez que os mapeamentos realizados com base nas normas de mapeamentos topográficos em escala grande, não levantam os limites legais das parcelas territoriais, e sim os limites fisicos visiveis no terreno.

5 RECURSOS HUMANOS PARA O CADASTRO

O Brasil é um país que possui uma pluralidade muito grande de profissionais atuando na área de cadastro territorial, sendo alguns dos profissionais: Engenheiros Cartógrafos, Engenheiros Agrimensores, Engenheiros Cartógrafos e Agrimensores, Tecnólogos em Geoprocessamento, Geógrafos, Técnicos em Agrimensura, Arquitetos e Urbanistas, Engenheiros Civis, Engenheiros Sanitaristas e Ambientais, Engenheiros de Minas, Geólogos, Agrônomos, Administradores, Economistas, etc. Esse ambiente heterogêneo tem como consequência o desenvolvimento, administração e atualização dos sistemas cadastrais por profissionais que não detém o conhecimento adequado para tal função.

Essa afirmação foi constatada nas avaliações do Programa Nacional de Capacitação das Cidades (PNCC), realizado pelo Ministério das Cidades, desde 2003. Esse programa tinha como objetivo realizar a capacitação dos técnicos e gestores responsáveis pela elaboração, implantação e avaliação de políticas urbanas. Muitos dos técnicos e gestores que passaram pelos cursos de aperfeiçoamento não detinham o conhecimento mínimo necessário para atuarem como profissionais responsáveis pelo Cadastro. Esse fato pode ter como um agravador a não exigencia de Responsabilidade Técnica (RT) para os processos de geração e manuntenção dos sistemas cadastrais brasileiros. Em geral é exigido apenas as RT para os processos de levantamentos de dados, sejam topográficos, geodésicos ou fotogramétricos.

A falta de técnicos e gestores qualificados nas prefeituras municipais pode ainda ser evidenciada a partir dos processos de contratação de empresas terceirizadas para a realização do cadastro territorial municipal. As prefeituras não detém o conhecimento necessário para a elaboração dos editais e tão menos para a fiscalização dos produtos a serem gerados.

A ausência de profissionais qualificados para trabalhar nos sistemas cadastrais tem como agentes causadores dois principais fatores: a formação de poucos profissionais cadastrais e a formação inadequada dos poucos profissionais existentes. No Brasil, a formação básica desses profissionais é feita a nível técnico, tecnólogo e bacharel. Os cursos que fornecem os conhecimentos necessários para a formação desses profissionais são: Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Tecnólogo em Geoprocessamento, Técnico em Agrimensura e Técnico em Geoprocessamento.

Com base em um levantamento realizado sobre a oferta desses cursos no Brasil, teve-se como resultado que atualmente apenas 22 universidades e faculdades oferecem curso de Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica e 15 universidades / faculdades oferecem o curso de Tecnólogo em Geoprocessamento, um número ainda muito pequeno para um país que possui 5760 municípios. Quando analisamos o ensino de cadastro a nível de pós-graduação esse número fica ainda mais alarmante, onde apenas cinco universidades brasileiras possuem mestrado ou doutorado com linha de pesquisa na área de cadastro territorial.

Os cursos técnicos para a formação de técnicos em Cadastro tem o objetivo de capacitar profissionais para o desenvolvimento dos processos de medição do cadastro. Apesar do foco na formação ser voltada aos levantamentos de campo, esses cursos apresentam uma deficiência no ensino do Cadastro, o que favorece a formação de um técnico sem o real entendimento do Cadastro Territorial como uma ferramenta de gestão do território e sua importância para o desenvolvimento social e territorial.

A formação dos profissionais a nível superior, além do pequeno número de universidades oferecendo cursos de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, no Brasil, o ensino da cartografia e geodesia tiveram seu desenvolvimento com foco na formação de profissionais para o mapeamento de fronteiras, a partir da necessidade de se formar Engenheiros Geógrafos, a partir da década de 1890, com conhecimentos voltados a estratégias militares de mapeamento com vistas na defesa territorial, onde posteriormente, deu origem o curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica. Os cursos de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica das universidades brasileiras ainda hoje carregam a tradição de uma formação com foco em processos de medições, sendo deixada de lado a formação com foco na gestão do território.

A formação com foco na legislação e na gestão do território é negligenciada até mesmo por instituições desenvolvedoras dos sistemas cadastrais, onde como exemplos têm-se as exigências feitas pelo INCRA, para a realização das atividades de georreferenciamento dos imóveis rurais. De acordo com a PL-2087/2007 do CONFEA, para se responsabilizar-se tecnicamente para essas atividades, é exigido apenas que os profissionais tenham cursado um mínimo de 360h nas disciplinas de: topografia aplicada ao georreferenciamento; cartografia; sistemas de referência; projeções cartográficas; métodos e medidas de posicionamentos geodésicos. Os profissionais que comprovem as disciplinas cursadas, independente do nível, estão amplamente habilitados para tal função. Ou seja, nem mesmo nesses casos ha exigencias de conhecimentos específicos em sistemas de cadastro territirial e de gestão do território.

7. DIRETRIZES PARA O CADASTRO TERRITORIAL BRASILEIRO

Com o intuito de apontar caminhos para o pleno desenvolvimento do Sistema Cadastral brasileiro, e com base nos problemas analisados, identificou-se determinadas ações necessárias, tais como: a solução dos problemas no campo conceitual do cadastro, a desassociação do mapeamento cadastral do mapeamento topográfico, a formação de recursos humanos qualificados e regulamentação da formação desses profissionais, o desenvolvimento de padrões para o mapeamento cadastral e a criação de uma instituição cadastral para o Brasil.

7.1. Adoção de um conceito único para o cadastro brasileiro

Dantas (2017) realizou uma pesquisa com base em alguns dos problemas relacionados ao campo conceitual do cadastro brasileiro, a partir da análise dos diferentes conceitos e as características dos sistemas cadastrais desenvolvidos com base no conceito adotado. Para a minimização, ou até mesmo o fim, dos problemas relacionados ao entendimento conceitual do cadastro, Dantas recomenda a adoção do termo Cadastro acompanhado por um sobrenome, isso porque, a utilização do termo Cadastro de forma isolada não põe fim na confusão existente nos diferentes entendimentos do termo cadastro.

Umas das propostas de nomenclatura para o sistema cadastral brasileiro é Cadastro Territorial Multifinalitário,

que foi adotado pelo Ministério das Cidades, com a publicação da Portaria Nº 511/2009. No entanto, DANTAS (2017) não recomenda a sua utilização. Isso porque, o termo Multifinalidade é um conceito bastante amplo que não impõem barreiras para conexões de diferentes bases cartográficas, indo contra a ideia de parcela estabelecida na Portaria nº 511/2009 e o Projeto de Lei nº 3.876/2015.

Uma possibilidade mais apropriada de nomenclatura seria adotar o termo "Cadastro Territorial", que é amplamente reconhecido e facilmente relacionado à ocupação do território.

7.2 Um Órgão Cadastral Brasileiro

O Brasil é um país que não possui uma instituição responsável pelas políticas públicas do ordenamento territorial, nem de elaboração e manutenção do mapeamento em escala grande e dos sistemas cadastrais.

Diferente de outros países, como Suíça, Alemanha, Austrália, Espanha, França, entre outros - que possuem uma única instituição para o desenvolvimento e manutenção do mapeamento, bem como da elaboração das políticas de ordenamento territorial – a execução do mapeamento territorial brasileiro, o desenvolvimento e manutenção dos sistemas cadastrais é compartilhado por diferentes instituições. Onde a responsabilidade da execução do mapeamento territorial é dividida com base na escala de representação entre DSG e IBGE e o cadastro territorial é dividido entre INCRA e as prefeituras municipais, com base na localização do imóvel a ser cadastrado.

Dentro desse cenário descentralizado de atribuições e responsabilidades de execução de mapeamentos, tem-se ainda a descentralização na regulamentação dos mapeamentos sistemáticos e cadastrais. A responsabilidade da regulamentação dos mapeamentos sistemáticos das escalas 1:25.000 e menores é da CONCAR, enquanto que a regulamentação do mapeamento cadastral em áreas rurais é feito pelo INCRA, ficando a lacuna da regulamentação do mapeamento sistemático em escala grande e dos mapeamentos cadastrais em áreas urbanas.

Na tentativa de solucionar os problemas de ausência de uma instituição cadastral, o Brasil pode adotar como solução a integração de instituições em uma única estrutura, a partir de comissões e grupos de trabalhos permanentes. A nova instituição teria como responsabilidade o ordenamento e gestão do território, o desenvolvimento da cartografia, dos sistemas cadastrais, da produção e publicação das normas e padrões de mapeamento (sistemático e cadastral) e a homologação dos mapeamentos nacionais.

As comissões e grupos de trabalho seriam integradas por representantes das instituições nacionais já existentes, podendo cada instituição nacional assumir o grupo de trabalho correspondente a sua competência atual. Porém, com a ausência de uma instituição para a regulamentação do mapeamento cadastral, a partir da integração, a CONCAR, tendo em vista sua expertise na regulamentação, pode vir assumir tal função.

Portugal é um exemplo de país que organizou recentemente uma estrutura gerencial com base na integração de instituições. E pode servir de inspiração para a realidade brasileira. Em outubro de 2012 ocorreu à integração da Direção-Geral de Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano e o Instituto Geográfico Português, dando origem a Direção-Geral do Território – DGT.

> *A DGT é um organismo normativo e regulador ao nível do ordenamento e gestão territorial, da cartografia, do cadastro e da informação geográfica, nomeadamente através da produção e publicação de documentos de orientação técnica, da produção de cartografia e ortofotocartografia oficial e da homologação cartográfica, bem como da implementação e monitorização da aplicação da Diretiva INSPIRE. O DGT ainda passa a ser responsável pela infraestrutura de dados espaciais no país e um conjunto de plataformas para a integração e disponibilidade de dados sobre o território português e o estado atual de seu ordenamento.*

7.3 O Cadastro no contexto da INDE e de uma LADM

Em 2008 foi publicado o Decreto Nº 6.666/2008 que institui a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE e sobre a Comissão Nacional de Cartografia – CONCAR. O decreto promove o adequado ordenamento na geração, armazenamento, acesso, compartilhamento, disseminação e uso de dados geoespaciais. Com o intuito de evitar a duplicidade de ações e o desperdício de recursos na obtenção de dados geoespaciais pelos órgãos da administração pública, o decreto promove a utilização dos padrões e normas homologadas pela CONCAR, através da divulgação dos metadados relativos aos dados disponíveis nas entidades e órgãos de esfera federal, estadual, distrital e municipal, através do Portal Brasileiro de Dados Geoespaciais, denominado de Sistema de Informações Geográficas do Brasil -

SIG Brasil, administrado pelo Diretório Brasileiro de Dados Geoespaciais – DBDG.

O capítulo quatro do plano de ação estabelece as normas e padrões para a elaboração dos dados e metadados geoespaciais de referência ou temáticos considerados oficiais no país. Para a elaboração dos dados oficiais a INDE estabeleceu as normas e padrões já existentes no Brasil, amparando seus usos na legislação já vigente. Hoje a produção de dados geoespaciais no Brasil seguem as normas diversas da ABNT, tais como: NBR 15777 (2009) - Convenções Topográficas para Cartas e Plantas cadastrais; NBR 14166 (1998) - Rede de referência cadastral municipal; e NBR 13133 (1994) - Execução de levantamento topográfico. As normas e padrões para o mapeamento sistemático brasileiro, tais como: ET-EDGV, ET-ADGV, ET-PCDG, ET-CQDG, Manual T-34 700 Simbologia do Mapeamento Topográfico e as normas e padrões para a estruturação de dados geoespaciais vetoriais da defesa da força terrestre ET-ADGV-Defesa FT e ET-EDGV-Defesa FT, ainda em fase de homologação pela CONCAR. E os manuais técnicos do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agraria – INCRA.

Em 2009, o Ministério das Cidades publicou a Portaria Ministerial nº 511, no seu artigo 1º, definindo o Cadastro Territorial Multifinalitário – CTM como sendo um inventário territorial oficial e sistemático de um município que registra a localização e a dimensão, o valor e os proprietários dos imóveis e é embasado no levantamento dos limites de cada parcela, que receberá uma identificação inequívoca. O mapeamento cadastral deve obedecer aos padrões estabelecidos para a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE e às normas relativas à Cartografia Nacional, de acordo com o artigo 4º do Decreto 6.666/2008.

Apesar da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) ter elaborado as especificações técnicas ET-ADGV-Defesa FT e ET-EDGV-Defesa FT para o mapeamento em escala grande, 1:10.000 a 1:1.000, e a CONCAR ter iniciado seu uso para a elaboração da versão 3.0 da ET-EDGV, já em fase de homologação, o documento contempla apenas as feições referentes ao mapeamento sistemático brasileiro. Dessa forma, a especificação técnica não traz os elementos essenciais aos mapeamentos cadastrais, existindo com isso uma lacuna para o uso da INDE para o cadastro nacional.

Com o objetivo de auxiliar no desenvolvimento de uma estrutura cadastral normatizada, a FIG em 2002, lançou um modelo de domínio cadastral, mais tarde sendo conhecido como Land Administration Domain Model – LADM. Com isso cada país é capaz de integrar, em uma única estrutura, todos os agentes envolvidos no desenvolvimento do sistema cadastral. Com as dificuldades no desenvolvimento e implantação do sistema cadastral brasileiro, a LADM possibilita o desenvolvimento de uma estrutura a partir de normas e padrões já estabelecidos no país, isso porque, a LADM como modelo genérico é flexível o suficiente para possibilitar tal integração.

Dessa forma a LADM permite o desenvolvimento dos sistemas cadastrais brasileiros, a partir das normas e padrões já existentes no país, possibilitando o amplo aproveitamento dos mapeamentos cadastrais já existentes, realizando-se a complementação das classes e feições ainda não contempladas nas normas e padrões brasileiras.

7.4 Desassociação do Mapeamento Cadastral com o Mapeamento Sistemático

Os problemas relacionados à confusão existente entre mapeamento sistemático e mapeamento cadastral são históricos, envolvendo problemas conceituais e técnicos. Com isso a solução envolve alguns fatores importantes.

Em um primeiro momento faz-se necessário uma correção/retificação das normas da ABNT NBR 15777, NBR 14166, NBR 13133; nas leis brasileiras Lei Nº 11.481/2007, Lei nº 11.977/2009, Lei Nº 13.465/2017 que dispõe sobre Regularização Fundiária Urbana, Rural e Patrimônios da União que apresentam erros conceituais ou a confusão entre os dois mapeamentos. Em seguida faz-se necessário a realização de palestras, workshops, escrita de artigos; que possam trazer os devidos esclarecimentos para a desassociação desses mapeamentos.

Para a realização dessas ações é necessário o envolvimento da comunidade acadêmica, pois a mesma é responsável pela formação crítica de profissionais da área.

7.5 A formação adequada de recursos humanos

Para o correto uso dos conceitos envolvidos no cadastro e o desenvolvimento de um sistema cadastral que atenda aos 5760 municípios brasileiros faz-se necessário o desenvolvimento de estudos, análises, debates e testes com foco nas diferentes realidades do Brasil. Para tal faz-se necessário à formação de recursos humanos para o desenvolvimento de capacidades e conhecimentos para a elaboração, implantação, manutenção e atualização do cadastro territorial, a partir das necessidades específicas do ordenamento territorial brasileiro. Esse processo de formação deve ser pensado não apenas para o desenvolvimento de projetos em curto prazo, e sim, como um processo a ser realizado a médio e longo prazo, de forma contínua, dentro de um contexto mais amplo, de forma a se conseguir desenvolver políticas e sistemas

cadastrais de forma sustentável.

Esse processo de formação deve englobar a formação e desenvolvimento de recursos humanos para os diferentes grupos - produtores, gestores, desenvolvedores e usuários; e ainda promover iniciativas em diferentes níveis - nacional, institucional e individual. Dentro desse contexto, existem diferentes níveis de desenvolvimento de recursos humanos, que vão desde cursos de formação básica a cursos e treinamentos de curta duração. Cabe ressaltar que cada abordagem deve ser pensada de forma a possibilitar o alcance dos objetivos para o qual foi proposto e respeitando as características e necessidades do público alvo.

Para a regulamentação da formação dos profissionais e da atuação dos desenvolvedores de sistemas cadastrais, o Brasil, necessita de uma Portaria/Resolução ou instituição/organização cadastral que apresente um currículo integrado a nível nacional desses profissionais, como por exemplo, podemos citar o caso da Argentina que possui a Resolución 1054/2002 del Ministerio de Educación Superior de Argentina, que apresenta o currículo básico dos engenheiros agrimensores.

8 O SINTER – SISTEMA NACIONAL DE GESTÃO DE INFORMAÇÕES TERRITORIAIS

O Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais - SINTER consiste na mais recente iniciativa de se organizar o sistema cadastral no Brasil. Em 10 de maio de 2016 foi publicado o Decreto Nº 8.764:

> *Art. 1º Fica instituído o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais - SINTER, ferramenta de gestão pública que integrará, em um banco de dados espaciais, o fluxo dinâmico de dados jurídicos produzidos pelos serviços de registros públicos ao fluxo de dados fiscais, cadastrais e geoespaciais de imóveis urbanos e rurais produzidos pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal e pelos Municípios.*
>
> *Art. 8º O SINTER agregará informações registrais, cadastrais, fiscais e geoespaciais provenientes de órgãos e entidades da administração pública direta e indireta da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios, dos serviços de registros públicos e de pessoas jurídicas de direito privado.*

O SINTER pretende ser uma ferramenta de integração de cadastro que surgiu a partir da interação com especialistas europeus, das recomendações internacionais da Federação Internacional de Geômetras – FIG, das diretrizes do Cadastro Territorial Multifinalitário do Ministério das Cidades, da CONCAR, e dos esforços do IRIB, devido à necessidade de se ter no Brasil um sistema de gestão territorial regulado por Lei Federal e controlados pelo poder central, como a maioria dos países desenvolvidos.

O sistema não foi desenvolvido com o objetivo de ser uma ferramenta de administração do cadastro e sim de integrar todos os dados cadastrais em um único banco, utilizando um identificador único em âmbito nacional, disponibilizando os dados em infraestrutura em nuvem, proporcionando aos municípios de pequeno porte a possibilidade de criar seu próprio sistema cadastral, já integrado ao sistema.

Como no Brasil até os dias de hoje não existe a integração entre o cadastro e o registro de imóveis e os sistemas cadastrais não são homogeneizados, o SINTER pode representar uma ferramenta poderosa para o desenvolvimento do cadastro territorial brasileiro, pois a partir da implantação do sistema a integração entre cadastro e registro de imóveis terá que de fato acontecer, além de homogeneizar os sistemas cadastrais brasileiros, uma vez que todos serão integrados em um único banco de dados.

Apesar do sistema representar a possibilidade de impulsionar de forma efetiva o desenvolvimento do cadastro brasileiro, principalmente por tornar obrigatório a todos os municípios a integração de tais dados no sistema, para seu sucesso é necessário uma série de ações, principalmente voltadas a mudança de paradigma em suas premissas gerais e técnicas. Essa mudança de paradigma deve acontecer principalmente pelo caráter obrigatório de desenvolvimento dos sistemas cadastrais para alimentação do sistema, mesmo quando essa obrigatoriedade possa representar uma verdadeira aliada para o desenvolvimento do cadastro.

Dentro das premissas gerais a visão de paradigma deve acontecer na relação direta entre cadastro e tributo, sendo deixada de fora em primeiro momento à visão do cadastro como ferramenta de gestão, fato este explícito ao ser

declarado no documento correspondente a visão geral do sistema que em primeiro momento a receita federal pode criar a obrigatoriedade dos proprietários de imóveis urbanos auto declarem seus imóveis através de formulários online. Essa declaração recai também na mudança de paradigma das premissas técnicas, uma vez que coloca o cadastro autodeclaratório a partir de imagens de satélite ou ainda a produção de bases cartográficas a partir de dados colaborativos.

A obrigatoriedade pode até acontecer, desde que a receita federal apresente soluções cabíveis aos 5567 municípios brasileiros, onde para tais soluções é necessário ante de tudo o reconhecimento da real situação cartográfica e cadastral dos municípios brasileiros, realidade está desconhecida até hoje, até mesmo pelos órgãos e instituições produtoras de informação cartográfica e cadastral nacional. Com isso, o sistema deve ser apoiado em uma série de ações que envolvem a população, instituições produtoras de dados, os municípios brasileiros e instituições de pesquisa na área.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das questões analisadas neste trabalho, procurou-se respostas para uma pergunta incômoda: Por que, até os dias de hoje, o Brasil não conseguiu implantar e administrar um sistema cadastral eficiente?

O sucesso da implantação e desenvolvimento do Cadastro Territorial, vai além de iniciativas isoladas, sendo necessário, como premissas, estabelecer políticas bem definidas, criando um sistema gerencial adequado e devidamente estruturado, envolvendo aspectos de legislação, procedimentos e normas técnicas, recursos financeiros, e recursos humanos qualificados.

Antes porém, o conceito de Cadastro para a realidade brasileira deve ser bem definido e caracterizado. No Brasil, existe uma grande confusão quanto ao significado de "Cadastro", seu entendimento e consequentemente no seu desenvolvimento. Isso pode ser observado até mesmo entre profissionais e pesquisadores da área, onde "cadastro" é frequentemente relacionado somente ao atributo fiscal da ocupação territorial, ou então sendo confundido com um mapeamento topográfico de feições em grande escala.

Vários esforços foram realizados na tentativa de se implantar um cadastro territorial bem estruturado. No entanto, em geral, a maioria desses esforços não teve sucesso. Esse fato pode ser atribuído pelo não atendimento das necessidades particulares do Cadastro Territorial brasileiro, passando pela ausência de pesquisas nessa área considerando as especificidades do Brasil.

Com base nos problemas apresentados, este trabalho procurou discutir os principais problemas do Cadastro Territorial Brasileiro, analisando suas principais causas, como uma tentativa de propor caminhos para seu desenvolvimento, aproximando-o a um sistema cadastral.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13133:** execução do levantamento topográfico - procedimento. NBR 13133. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14166:** rede de referência cadastral municipal – procedimento. NBR 14166. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15777:** Convenções topográficas para cartas e plantas cadastrais – Escalas 1:10.000, 1:5.000, 1:2.000 e 1:1.000 - procedimento. Rio de Janeiro, 2009.

BRASIL. Portaria 511, de 07 de dezembro de 2009. **Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros.** Publicada no Diário Oficial da União em 08 de dezembro de 2009.

DANTAS, Y. V. **Sistema Multifinalitário de Cadastros - Contribuição Conceitual com ênfase nas Restrições Ambientais Do Brasil.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Bahia. Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, 2017.

ISO. (2012). ISO 19152:2012. **Geographic information** – Land Administration Domain Model (LADM), Geneva, International Organization for Standardization. 2012.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Diretrizes para a criação, instituição e atualização do cadastro territorial multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros. Brasília. 2010. Disponível em: https://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/PlanelamentoUrbano/Portaria_511_PROEXT.pdf / Acesso em: 10 de janeiro de 2017.

UGEDA, L. **Direito Administrativo Geográfico – Fundamentos na Geografia e na Cartografia oficial do Brasil.** Brasília: Geodireito, 2017.

REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA DO ASSENTAMENTO NÚCLEO URBANO NOVO TAPAJÓS – IGARASSU - PE

SILVIO JACKS DOS ANJOS GARNÉS[1]
MARIA DE LOURDES DE AQUINO MACEDO GONÇALVES[1]
RONALDO AUGUSTO CAMPOS PESSOA[2]
FABIANO ROCHA DINIZ[3]
IGOR JORDÃO COUTINHO[3]

[1]Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
silvio.jacks@ufpe.br, mlaquino@gmail.com

[2]Universidade Federal do Tocantins - UFT
Curso de Ciências Sociais - CSC
camposbr@hotmail.com

[3]Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro de Artes e Comunicação - CAC
Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Recife, PE
frdiniz.urb@gmail.com, igorjordan@hotmail.com

RESUMO - O presente trabalho relata a experiência da equipe técnica da UFPE no Projeto de extensão "Regularização Fundiária de Assentamentos Habitacionais na Região Metropolitana do Recife" realizado na área denominada de Núcleo Urbano Novo Tapajós, localizado no município de Igarassu-PE. Nessa experiência é apresentada a metodologia e os resultados alcançados desde a fase dos levantamentos até o protocolo no registro de imóveis.

ABSTRACT - The present work reports the experience of the technical team of UFPE in the project of extension "land settlement of housing settlements in the metropolitan region of Recife" focusing on the area called the "*Núcleo Urbano Novo Tapajós*", located in the Municipality of *Igarassu-PE*. In this experience is presented the methodology and the results achieved from the phase of the surveys to the protocol in the registry.

1 INTRODUÇÃO

A Regularização Fundiária num país com características regionais peculiares e de dimensões continentais como é o caso do Brasil, representa grandes desafios, mesmo porque metodologias ainda não foram consolidadas pelas recentes modificações jurídicas e normativas que ocorreram por ocasião da Lei Federal nº13.465/2017 (BRASIL,2017) e regulamentada pelo Decreto Federal nº 9.310/2018 (BRASIL, 2018).

Iniciado nos fins de 2016 numa fase de transição jurídica, o projeto de extensão da Universidade Federal de Pernambuco, intitulado "Regularização Fundiária de Assentamentos Habitacionais na Região Metropolitana do Recife" em Termo de Execução Descentralizada (TED) com o Ministério das Cidades (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016), é um dos primeiros projetos no Brasil a enfrentar e definir metodologia para efetuar a regularização fundiária nos termos da nova legislação.

Uma regularização fundiária adequada no cumprimento de todas as fases até chegar a chamada Certidão de Regularização Fundiária (CRF) que é levada ao registrador, não é baseada apenas em uma modalidade do conhecimento, pois é necessário que haja a interdisciplinaridade envolvendo os segmentos social, ambiental, soluções de engenharia, de arquitetura e de fundamentação legal para que não haja falhas que venham a prejudicar o futuro beneficiário.

A região do bairro Cruz de Rebouças na cidade de Igarassu-PE, foi escolhida pela Empresa de Urbanização de Igarassu (URBI) e Prefeitura Municipal de Igarassu(PMI) para que a equipe do Projeto procedesse a regularização

fundiária de um loteamento registrado no ano de 1982, chamado "Loteamento Tapajós" (LOTEAMENTO TAPAJÓS, 1982). A regularização de tal loteamento era o desejo não só da comunidade mas também do poder público, que por algumas vezes ja haviam tentado regularizar, porém, pelas modificações ocorridas na configuração original do loteamento após anos de ocupação e pela menor flexibilização da legislação anterior, acabou por não conseguir.

O loteamento Tapajós tinha como confrontante norte, área pública bem definida; como confrontante sul, área privada bem definida. As confrontações a leste e a oeste é que não estavam bem definidas do ponto de vista jurídico e geométrico (com sobreposições de áreas ou indefinições para locação). Do lado oeste uma quadra loteada de uma área remanescente em nome do município, cuja realidade documental discrepava em muito da realidade ocupacional; do lado leste, a área de lazer do municipio (Cruz de Rebouças) com ótima infraestrutura e equipamentos públicos funcionais, mas sem regularização de titularidade desde a desapropriação por parte do município pelo Decreto nº36/1979 (IGARASSU, 1979).

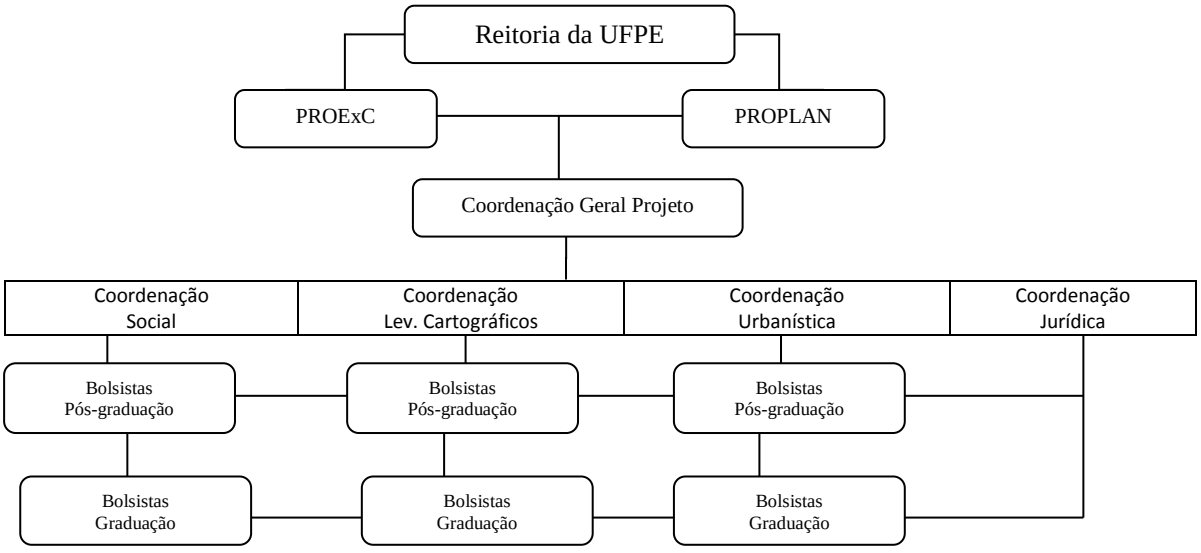
Durante os estudos da equipe da UFPE e em reuniões técnicas com a câmara especializada da URBI, foram incorporados ao loteamento Tapajós, as áreas adjacentes leste e oeste e essa nova realidade e passou a ser denominada de "Núcleo Urbano Novo Tapajós ".

A fim de alcançar a regularização fundiária desse núcleo urbano, várias fases aconteceram. Essas fases cronologicamente estão descritas de forma suscinta na metodologia desse trabalho.

2 METODOLOGIA

Primeiramente foi constituída uma equipe de trabalho com uma estrutura organizacional de coordenações integradas, mas independentes, subordinadas a uma coordenação geral para fins de responsabilidades principalmente financeiras e técnicas e alunos bolsistas de pós-graduação e de graduação. Os alunos de pós-graduação assumiriam as responsabilidades de controle técnico dos trabalhos de campo advindos dos bolsistas de graduação e passariam para seus coordenadores imediatos para análise e maiores refinamentos. Todos os integrantes, incluindo coordenador geral e coordenadores temáticos participavam das atividades de campo. Duas Pró-reitorias da UFPE participaram diretamente do projeto, a Pró-reitoria de Extensão e Cultura (PROExC), responsável pela gestão financeira e acompanhamento das atividades dos bolsistas e a Pró-Reitoria de Planejamento, Orçamento e Finanças (PROPLAN) responsável pelo acompanhamento do cumprimento das metas do TED. Por meio das Pró-reitorias, o projeto é diretamente vinculado a Reitoria, sendo o Magnífico Reitor da UFPE, o responsável último pelo TED e pelas assinaturas encaminhadas ao Ministério das Cidades.

Figura 1 – Estrutura organizacional do projeto de extensão de regularização fundiária da UFPE



Fonte: Os autores

O primeiro passo para se iniciar uma regularização fundiária é conhecer os limites legais registrados das propriedades objetos de estudo. No caso particular da área em Cruz de Rebouças, a URBI possuía as principais matrículas da área e as matrículas de 80 lotes de propriedade do município no loteamento Tapajós, as plantas do loteamento original, uma planta do loteamento como se encontrava no ano de 1993, quando da intenção de

regularização que aconteceu na segunda gestão do prefeito Jurandir Bezerra Lins (1993 a 1996). Todas essas informações foram repassadas a equipe e assim o projeto foi efetivamente iniciado em 24 de maio de 2017, com a primeira visita em campo (GARNÉS *et al*, 2017).

A equipe jurídica promoveu a criação de uma Comissão de Regularização Fundiária a qual foi instituída pelo presidente da URBI (IGARASSU, 2018a). Essa comissão cujos integrantes eram da URBI, da UFPE, do Cartório e de representantes da Comunidade, propiciaram uma maior integração entre esses segmentos. Integração fundamental para a construção dos procedimentos que conduziriam os sucessivos avanços no desenvolvimento do Projeto.

Os levantamentos no loteamento Tapajós foram iniciados pelo levantamento topográfico feitos por poligonação clássica usando estação total. Os pontos de detalhes levantados neste primeiro momento, foram: meio fio, postes de luz, limites das quadras e dos lotes, bocas de lobo e poços de visita. Nesse momento inicial parte da equipe estava concentrada em outro loteamento objeto de regularização do Projeto; o loteamento Posto de Monta também em Igarassu-PE, que será relatado em outro trabalho.

Num segundo momento a equipe completa concentrou-se em Tapajós e os trabalhos seguiram integrados até o final dos trabalhos de campo. Sucintamente os procedimentos foram:

a) a equipe de mobilização social visitava casa por casa, comércio por comércio explicando o objetivo do projeto e como a equipe iria proceder. As equipes apresentavam-se uniformizadas com colete de bolsista da PROExC/UFPE;

b) a equipe de levantamento socioeconômico fazia a selagem das unidades construtivas e o cadastro social num formulário pré-definido pela equipe, tendo como base as experiências de parte da equipe nos morros dos Guararapes (Leal *et al*, 2013a e 2013b).

O selo de cada unidade construtiva teve um identificador único que serviu como propósito de ser a chave principal no banco de dados criado. Esse banco de dados que inclui tanto as informações sociais, jurídicas, cartográficas e documentais foi um pouco além de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), gerando informações jurídicas inclusive. No caso específico desse projeto se deu por um sistema criado para esse fim, denominado de CDRF (Certidão Digital de Regularização Fundiária) (GARNÉS, 2018b). O selo, chave principal, também serviu de localizador da unidade construtiva no próprio loteamento. Teve sua concepção original nos trabalhos realizados no Parque Histórico Nacional dos Guararapes (Leal *et al*, 2013a e 2013b) e aprimorado nesse projeto de Igarassu. A figura 2 ilustra a selagem.

Figura 2 – Selo utilizado no projeto de Regularização Fundiária da UFPE

Fonte: Garnés *et al* (2018a)

A interpretação do selo para região, quadra, lote e unidade construtiva, segue:

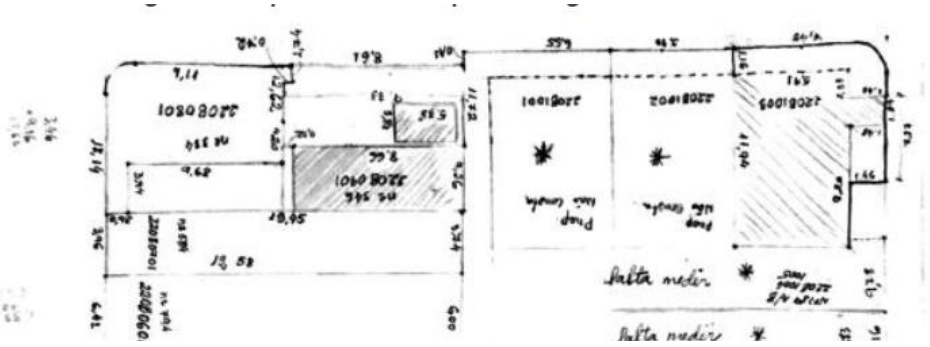
- Região - O código da região (município) de Igarassu foi escolhido para iniciar em 20, significando ser 21 a primeira área do município de Igarassu., 22 seria a segunda e assim sucessivamente.
- Quadra - Duas casas numéricas ou alfa numéricas foram deixadas para representar as quadras. Assim, se a quadra é representada como B, ficaria codificada como 0B, se for B1, ficaria sem alteração;
- Lote – Os lotes recebem numeração arábica sequencial 01, 02, 03, ...10,11, ...,20,21, ..., ou podem ser desmembrados com representação mista, exemplo, 1A, 1B, e assim por diante;

- Unidade Construtiva – As edificações algumas vezes podem ter lajes com famílias diferentes e que necessitam ser cadastradas, assim, o código da unidade construtiva seria também em número arábico, começando com 01, 02, ...,10 para unidades no térreo; começando por 11, 12, ..., 20 para unidade no primeiro pavimento; começando por 21,22, ..., 30 unidades no segundo pavimento, começando por 31, 32, ...40 unidades no terceiro pavimento; e assim, sucessivamente.

c) a equipe cartográfica fez as medições internas dos terrenos com trenas e elaborou croquis; o levantamento geodésico foi executado usando GNSS com o método RTK (*Real Time Kinematcs*); concluiu-se o levantamento clássico com estação total; fez-se análise das sobreposições com áreas confrontantes por meio das matrículas provenientes dessas áreas; foi realizado um voo aerofotogramétrico com Drone para obter ortomosaico atualizado e com imagens de alta resolução.

Nas medições internas no terreno usando trena e prancheta efetuou-se os desenhos para posteriormente serem colocados em escala na plataforma CAD. Não recomenda-se que essa etapa seja pulada num processo de regularização fundiária, pois torna-se um instrumento muito útil para eliminação de erros e, é nesse momento de contato com o beneficiário, que as características geométricas das edificações fora do padrão, que não podem ser identificadas por fotografias aéreas, aparecem. A figura 3 ilustra o resultado de um desses croquis para Tapajós.

Figura 3 – Exemplo de croqui das unidades construtivas em Tapajós



Fonte: Garnés *et al.* (2018a)

O RTK (*Real Time Kinematics*) usado no georreferenciamento dos pontos de detalhes obtidos, se caracteriza por ser um método em que as ambiguidades GNSS são resolvidas época a época. por meio de um ajustamento sequencial, a partir da recepção das correções da fase da portadora via link de rádio de um receptor base instalado nas proximidades. O método junta as correções recebidas com as observações do receptor móvel e resolve as ambiguidades em tempo real, a um certo nível de significância estatística (α). Com o sucesso da resolução das ambiguidades fica garantido o posicionamento geodésico (latitude, longitude e altitude) com uma precisão centimétrica. Se por um intervalo de tempo longo não forem perdidos os sinais dos satélites, o método pode alcançar precisão milimétrica (GARNÉS, 2001).

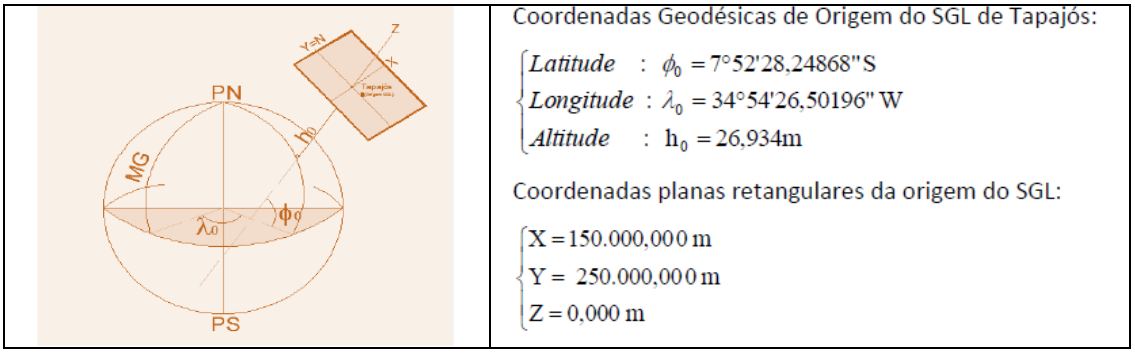
A estação base foi transportada a partir da estação RECF da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do IBGE localizada, na época, na biblioteca central da UFPE, para um ponto na praça Cosme Damião de Paiva, na área de lazer de Cruz de Rebouças, Igarassu. A figura 4 ilustra o receptor base e o receptor móvel no momento de um dos levantamentos realizados.

Figura 4 – Levantamento GNSS por RTK em Tapajós

Fonte : Garnés *et al.* (2017)

Para realizar a conexão dos levantamentos GNSS com o levantamento clássico por poligonação foi necessário a criação de uma projeção local. Optou-se pela projeção do SGL (Sistema Geodésico Local), o qual fica caracterizado por um plano perpendicular a normal geodésica de um ponto origem (GARNÉS, 1998). Na confrontação dos posicionamentos GNSS com estação total, pôde-se concluir sobre o erro dos pontos, chegando a um máximo de 5cm na terceira dimensão. A ilustração do SGL e de seu ponto origem utilizado no trabalho, estão representados na figura 5.

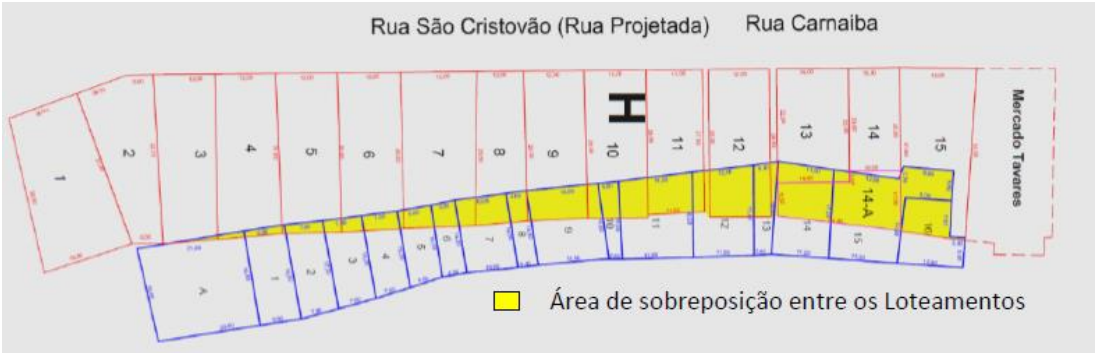
Figura 5 – Sistema geodésico local para os trabalhos em Cruz de Rebouças



Fonte: Garnés *et al.* (2017)

A análise das sobreposições de áreas foi feita a partir das matrículas levantadas no cartório de ofício único de Igarassu. A situação de maior gravidade se deu no lado oeste onde os dois loteamentos tinham uma grande sobreposição, quadra H do Loteamento Bonfim com a área remanescente do sítio Tapajós. A figura 6 ilustra essa região de sobreposição em amarelo.

Figura 6 – Sobreposição entre dois loteamentos no bairro Cruz de Rebouças, Igarassu-PE



Fonte: Garnés *et al.* (2018d)

As fotografias aéreas foram obtidas com o Drone da marca Trimble, do Departamento de Oceanografia da UFPE com resolução de dois centímetros voando a 70m de altura acima do terreno. O processamento foi realizado no próprio site do *software* Dronedeploy (WORK SMARTER WITH DRONE DATA, 2017) em modo automático. O georreferenciamento foi realizado a posteriori com os 20 pontos de controle GNSS levantados por meio do ajuste polinomial do *Autocad Raster* (AUTODESK, 2012) e o EMQ (Erro Médio Quadrático) ficou com 25cm. A figura 7 ilustra a imagem Drone obtida para a área.

Depois de processados e conferidos os levantamentos foi associado o selo a edificação. Essa associação embora seja algo trivial quando existe regularidade no loteamento, passa a não ser tão trivial quando existe uma equipe grande e as modificações ocorridas na ocupação do solo são bastantes diferentes em relação a situação planejada. A solução que se deu para não acometer erros desse tipo, foi realizar uma correlação geométrica entre o cadastro social e o cadastro cartográfico. Para isso, foi desenvolvido um módulo específico no *software* AstGeoTop (GARNÉS, 2018a) para proceder essa correlação, tendo como base os arquivos de cadastro social e de

coordenadas, em planilhas eletrônicas Excel (MICROSOFT OFFICE 365, 2018). Ao final desse processo a planta base estava pronta para receber análises e proposições pela equipe urbanística.

Figura 7 – Imagem drone do núcleo urbano

Fonte: Garnés *et al*. (2018a)

d) A equipe urbanística com formulário próprio, investigou a infraestrutura oferecida pelo loteamento e áreas vizinhas, a fim de detectar os pontos de fragilidade tanto do ponto de vista ambiental, áreas de risco, transporte, acessibilidade e classificação de tipologia das construções.

No "Diagnóstico e Plano Urbanístico da Comunidade de Tapajós – Igarassu – PE" ficaram enfatizados os seguintes pontos por meio de plantas temáticas (ZANCHETI *et al*., 2017):

i) legislação urbanística e normas de proteção histórica e natural (zoneamento municipal); ii) solo natural e vegetação; iii) sistema de drenagem; iv) estrutura viária; v) classificação das calçadas; vi) classificação das quadras por tamanho; vi) tipos de lotes e áreas livres públicas; vii) cheios e vazios na área; viii) tipologias construtivas; ix) número de pavimentos das unidades construtivas; x) uso do solo; xi) proposta de retificação das quadras e lotes; xii) proposta de arborização; xiii) proposta urbanística; xiv) detalhes das intervenções.

Após análise da câmara técnica da URBI, foi emitido parecer que no loteamento Tapajós haveria acordo em apenas remover umas das edificações que foi construída sobre o canal de drenagem. Essa postura fez com que houvesse ajuste de metodologia por parte da equipe que passou a trabalhar mais integrada com a URBI, resultando na ampliação da área de estudo e na aprovação do Núcleo Urbano Novo Tapajós.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O que foi descrito na seção anterior não deixa de ser resultados, mas consiste apenas de uma etapa prévia da metodologia necessária à regularização, o resultado vem de fato, após a aprovação da URBI e Prefeitura Municipal do núcleo urbano constituído (figura 8), do projeto de regularização fundiária, das certidões de regularização fundiária e dos títulos emitidos pelo cartório de registro de imóveis.

Em relação ao projeto de regularização fundiária cabe alguns esclarecimentos de como foi elaborado. Nele consta de uma síntese dos levantamentos social, físico, ambiental, urbanístico, dos memoriais descritivos de cada área e lote, das planilhas técnicas com as posições dos vértices georreferenciados, da lista dos beneficiários e da solução jurídica dada a cada caso. O documento no total ficou consolidado com 690 páginas. A figura 9 ilustra os tópicos abordados no sumário do projeto de regularização fundiária.

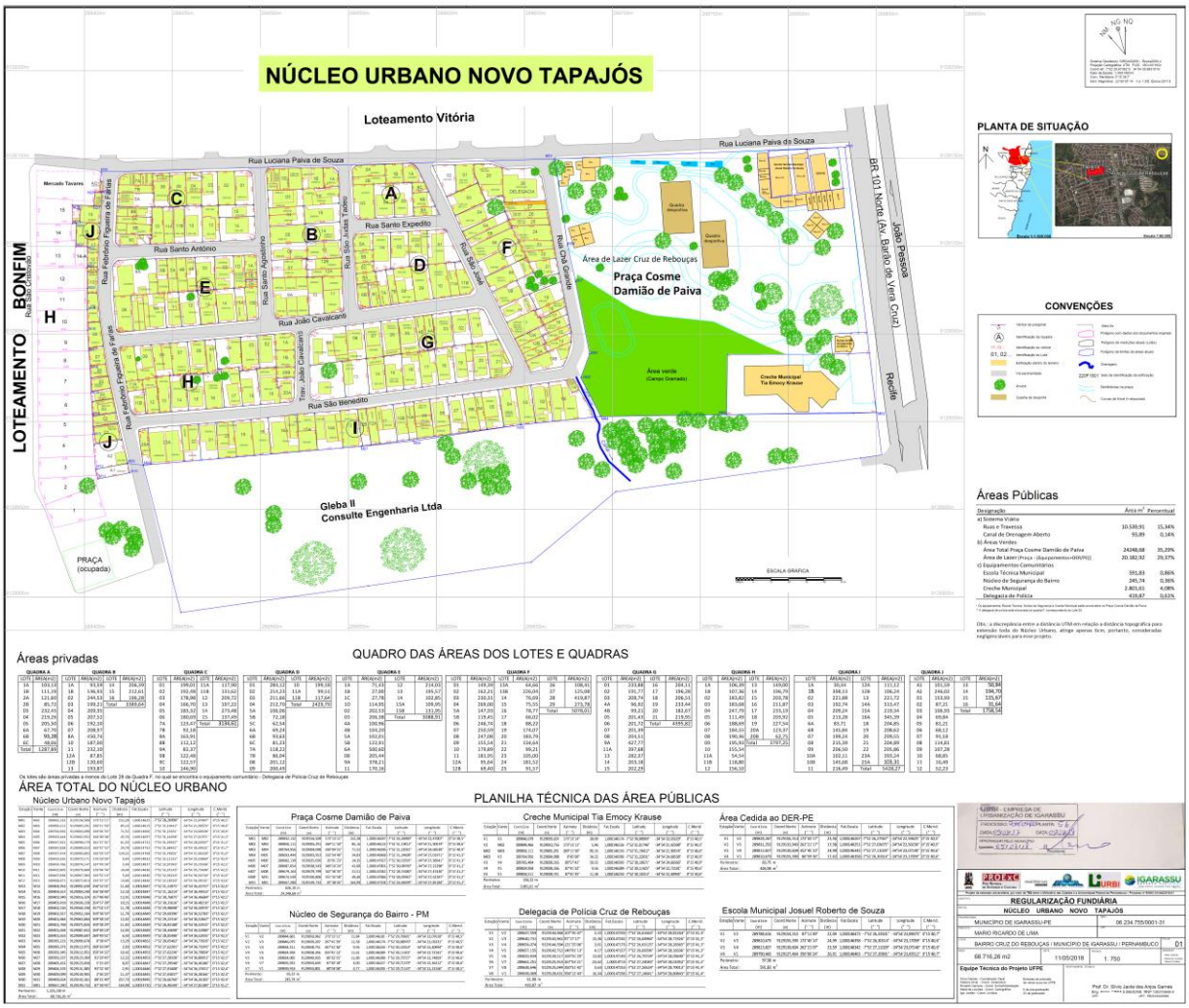
Pela dificuldade de padronização das qualificações dos beneficiários, de uma descrição de um memorial descritivo da construção mais detalhada, do memorial descritivo do terreno e de consolidar todos os documentos que o registrador precisaria para abrir a matrícula, tornando assim sua tarefa de análise e transcrição mais fácil. Isso foi feito no software CDRF (Certidão Digital de Regularização Fundiária).

O motivo de batizar por esse nome o software é porque uma vez preenchido todos os campos ele gera a ficha individual do beneficiário; uma CRF individual com as informações completas necessária ao registrador para efetuar a abertura da matrícula do imóvel e fazer a averbação da construção. A figura 10 ilustra as páginas do relatório da CRF individual.

Anterior as fichas individuais que completam a CRF, na parte inicial da CRF deve-se descrever o núcleo urbano e cada umas das áreas públicas nela contida com os correspondentes memoriais descritivos.

No projeto e na CRF deve conter o cronograma de execução das obras as quais foram aprovadas e assumidas pelo poder público. No caso da obra sobre o canal foi estabelecido 2 anos para remoção da família e dois meses para a demolição da edificação.

Figura 8 – Planta do Núcleo Urbano Novo Tapajós



Fonte: Garnés; Gonçalves; e Freitas (2018)

Figura 8 – Sumário do projeto de regularização fundiária para o Núcleo Urbano Novo Tapajós

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1. PROJETO DE REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA URBANA	3
1. 1. Levantamento físico do Núcleo Urbano	3
1.1.1. Levantamentos topográficos e geodésicos da área de regularização	3
1.1.2. Descrição e análise das áreas objeto de titulação	14
1.1.2.1 Análise do loteamento Tapajós - matrícula nº 3400	14
1.1.2.2 Análise dos confinantes oeste do Núcleo Urbano	16
1.1.2.3 Análise dos confinantes sul do Núcleo Urbano	21
1.1.2.4 Análise dos confinantes leste do Núcleo Urbano	26
1. 2. Levantamento cadastral de imóveis e ocupantes	28
1.2.1. Metodologia do processo cadastral	28
1.2.2. Resultados alcançados: bases para a Reurb-S	34
1.2.2.1 Resultados da pesquisa socioeconômica e categorização da Reurb-S	34
1. 3. Estudos: Social, ambiental e urbanístico	36
1.3.1 Caracterização socioambiental	36
1.3.2 Característica urbanística	39
1.3.3 Síntese do diagnóstico da ocupação urbana e Soluções para questões urbanísticas	53
1. 4. Núcleo Urbano Novo Tapajós: Solução Para Regularização	56
1. 5. Memorias descritivos das áreas do Núcleo Urbano Novo Tapajós	59
1. 6. Listagem dos beneficiários	66
1. 7. Cronograma físico das soluções e responsabilidade para sua implantação	76
1. 8. Termo de Compromisso para Implantação de soluções	77
1. 9. A Certidão de Regularização Fundiária	78
ANEXOS	
ANEXO A - Anotação de Responsabilidade Técnica	
ANEXO B - Planta Núcleo Urbano Novo Tapajós	
ANEXO C - Plantas das Quadras	
ANEXO D - Memoriais descritivos dos Lotes	
ANEXO E - Planilhas Técnicas das Áreas	
ANEXO F – CDRF Certidão Digital de Regularização Fundiária	

Fonte: Garnés *et al*. (2018d)

Figura 9 – Certidão de Regularização Fundiária: ficha individual

PREFEITURA MUNICIPAL DE IGARASSU
EMPRESA DE URBANIZAÇÃO DE IGARASSU

PROJETO ELABORADO PELA UFPE EM TED COM O MINISTÉRIO DAS CIDADES

FICHA INDIVIDUAL DA CERTIDÃO DE REGULARIZAÇÃO

Id. Cadastral: 220A0501
Id. Lote e Quadra: Lote 2B - Quadra A
Parcelamento: NÚCLEO URBANO NOVO TAPAJÓS

DADOS DO BENEFICIÁRIO

Beneficiário: SEVERINO GOMES DA SILVA
CPF:
RG: Expedido em: 04/12/2014
Data de Nascimento: 03/06/1954
Estado Civil: casado

Cônjuge: JOSEFA DE LIMA GOMES
CPF:
RG: Expedido em: 07/07/2014
Data de Nascimento: 09/09/1957

Caracterização Imóvel/Familia

Imóvel objeto de herança: SIM
Nº de habitantes: 5
Renda média familiar : De 0 a 3 salários mínimos
Possui de outro imóvel : NÃO

Endereço do Beneficiário:
Rua São Judas Tadeu, 543
Bairro: Cruz do Rebouças
CEP: 53635-205
Município: Igarassu
Estado: Pernambuco

Qualificação do Beneficiário

SEVERINO GOMES DA SILVA, brasileiro, agricultor, nascido em 03/06/1954, casado sob o regime da Comunhão de Bens, anterior a vigência da Lei nº 6.515/77, com JOSEFA DE LIMA GOMES, brasileira, dona de casa, nascida em 09/09/1957, portadores das Cédulas de Identidade R.G. nºs e , e inscritos no CPF/MF sob os nºs : e , respectivamente, residentes e domiciliados à Rua São Judas Tadeu, nº 543, CEP 53635-205, bairro Cruz do Rebouças, na cidade de Igarassu, estado de Pernambuco.

PREFEITURA MUNICIPAL DE IGARASSU
EMPRESA DE URBANIZAÇÃO DE IGARASSU

PROJETO ELABORADO PELA UFPE EM TED COM O MINISTÉRIO DAS CIDADES

Id. Cadastral: 220A0501
Id. Lote e Quadra: Lote 2B - Quadra A
Parcelamento: NÚCLEO URBANO NOVO TAPAJÓS

DADOS DA BENFEITORIA

Tipo de Benfeitoria: Residencial
Finalidade Principal: Residência
Uso: Próprio
Nº de Pavimentos: 2
Tipo da Construção: Alvenaria
Padrão de Acabamento: Médio
Ano da Construção: 2007
Tipo de Convivência: Individual
Área da Unidade Construtiva: 76,98 m2
Área Total da Edificação: 153,96 m2

Cômodos: 3 quartos, 1 sala, 1 cozinha, 2 banheiros e 1 terraço

Caracterização da Infraestrutura Local

Iluminação Pública: SIM
Coleta de Lixo: SIM
Saneamento Básico: Coleta Pública
Sistema de Abastecimento de Águas: Tratada Fornecida pela Concessionária Pública
Sistema de Águas Pluviais: SIM
Pavimentação: SIM

Endereço da Benfeitoria

Endereço: Rua São Judas Tadeu, 543
Bairro: Cruz do Rebouças
CEP: 53635-205
Município: Igarassu
Estado: Pernambuco

Memorial Descritivo da Benfeitoria

DESCRIÇÃO DO IMÓVEL: Imóvel do tipo residencial, cuja finalidade principal é residência, sendo de uso próprio do beneficiário, pertencente a FAMILIA DE BAIXA RENDA, sendo o ÚNICO IMÓVEL da família. Foi construído no ano de 2007, tem 2 pavimentos, feito de alvenaria, com padrão de acabamento médio. O tipo de convivência no Lote é INDIVIDUAL. A área construída dos 2 pavimentos, é de 153,96 m2 e a área da projeção da unidade construtiva no terreno, é de 76,98 m2 . Os cômodos são divididos em: 3 quartos, 1 sala, 1 cozinha, 2 banheiros e 1 terraço. LOCALIZAÇÃO: situado no Lote 2B - Quadra A, na Rua São Judas Tadeu, nº 543, CEP nº 53635-205, no bairro Cruz do Rebouças, município de Igarassu, estado de Pernambuco.

PREFEITURA MUNICIPAL DE IGARASSU
EMPRESA DE URBANIZAÇÃO DE IGARASSU

PROJETO ELABORADO PELA UFPE EM TED COM O MINISTÉRIO DAS CIDADES

Id. Cadastral: 220A0501
Id. Lote e Quadra: Lote 2B - Quadra A
Parcelamento: NÚCLEO URBANO NOVO TAPAJÓS

DADOS TÉCNICOS DO TERRENO

REPRESENTAÇÃO DO LOTE E DA UNIDADE CONSTRUTIVA DENTRO DO LOTE

Fonte: Planta aprovada da URBI/PMI em maio de 2018

Fonte: Planilhas técnicas dos lotes e das edificações da CORF

Características Gerais

Quadra: A Lote:2B

Área do Terreno:85,72 m2 Área Construída:76,98 m2 Área Livre:8,74 m2 Fração Ideal:100%

Nº Unidades no Lote: 1 Unidade(s): 220A0501

Memorial Descritivo do Terreno

Inicia-se a descrição do "Lote 2B - Quadra A" no vértice V1, de coordenadas E=289552,432m e N=9129134,986m; deste segue com azimute de 356°30'50" e distância de 4,36m até o vértice V2, de coordenadas E=289552,167m e N=9129139,336m; deste segue com azimute de 86°55'54" e distância de 19,04m até o vértice V3, de coordenadas E=289571,177m e N=9129140,355m; deste segue com azimute de 177°11'12" e distância de 4,67m até o vértice V4, de coordenadas E=289571,406m e N=9129135,695m; deste segue com azimute de 267°54'23" e distância de 7,12m até o vértice V5, de coordenadas E=289564,294m e N=9129135,435m; deste segue com azimute de 267°49'56" e distância de 11,87m até o vértice V1. Ponto inicial da descrição do perímetro, com ÁREA de 85,72m2 e PERÍMETRO de 47,06m. CONFRONTANTES: FRENTE com Rua São Judas Tadeu, entre os vértices V1 e V2, percorrendo-se uma distância de 4,36m; LADO DIREITO com Lote 2A, entre os vértices V2 e V3, percorrendo-se uma distância de 19,04m; FUNDO com Lote 1B, entre os vértices V3 e V4, percorrendo-se uma distância de 4,67m; LADO ESQUERDO com Lotes 03 e 04, entre os vértices V4 e V1, percorrendo-se uma distância de 18,99m. Os azimutes e distâncias, área e perímetro foram calculados no plano da projeção do sistema UTM, F= 25, MC= 33° W.Gr., hemisfério "S", utilizando como superfície de referência o elipsoide GRS80. Todos os vértices estão georeferenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro, SIRGAS2000, época 2000,4.

Referência Geográfica do Terreno

	Coodenadas Geodésicas	Sistema de Projeção: UTM
Sistema Geodésico Brasileiro:	Latitude= -7°52`26,85952"	E= 289562,295 m F= 25
SIRGAS2000 Época 2000,4	Longitude= -34°54`31,28041"	N= 9129137,161 m MC= 33° W.Gr.

PREFEITURA MUNICIPAL DE IGARASSU
EMPRESA DE URBANIZAÇÃO DE IGARASSU

PROJETO ELABORADO PELA UFPE EM TED COM O MINISTÉRIO DAS CIDADES

DADOS REGISTRAIS

Qualificação Técnico-Jurídica para Registro mobiliário

Cartório de Igarassu/PE - Oficio Único Tabelionato e Registros Públicos

DESCRIÇÃO DO IMÓVEL: Imóvel do tipo residencial, cuja finalidade principal é residência, sendo de uso próprio do beneficiário, pertencente a FAMILIA DE BAIXA RENDA, sendo o ÚNICO IMÓVEL da família. Foi construído no ano de 2007, tem 2 pavimentos, feito de alvenaria, com padrão de acabamento médio. O tipo de convivência no Lote é INDIVIDUAL. A área construída dos 2 pavimentos, é de 153,96 m2 e a área da projeção da unidade construtiva no terreno, é de 76,98 m2 . Os cômodos são divididos em: 3 quartos, 1 sala, 1 cozinha, 2 banheiros e 1 terraço. LOCALIZAÇÃO: situado no Lote 2B - Quadra A, na Rua São Judas Tadeu, nº 543, CEP nº 53635-205, no bairro Cruz do Rebouças, município de Igarassu, estado de Pernambuco. MEMORIAL DESCRITIVO: Inicia-se a descrição do "Lote 2B - Quadra A" no vértice V1, de coordenadas E=289552,432m e N=9129134,986m; deste segue com azimute de 356°30'50" e distância de 4,36m até o vértice V2, de coordenadas E=289552,167m e N=9129139,336m; deste segue com azimute de 86°55'54" e distância de 19,04m até o vértice V3, de coordenadas E=289571,177m e N=9129140,355m; deste segue com azimute de 177°11'12" e distância de 4,67m até o vértice V4, de coordenadas E=289571,406m e N=9129135,695m; deste segue com azimute de 267°54'23" e distância de 7,12m até o vértice V5, de coordenadas E=289564,294m e N=9129135,435m; deste segue com azimute de 267°49'56" e distância de 11,87m até o vértice V1. Ponto inicial da descrição do perímetro, com ÁREA de 85,72m2 e PERÍMETRO de 47,06m. CONFRONTANTES: FRENTE com Rua São Judas Tadeu, entre os vértices V1 e V2, percorrendo-se uma distância de 4,36m; LADO DIREITO com Lote 2A, entre os vértices V2 e V3, percorrendo-se uma distância de 19,04m; FUNDO com Lote 1B, entre os vértices V3 e V4, percorrendo-se uma distância de 4,67m; LADO ESQUERDO com Lotes 03 e 04, entre os vértices V4 e V1, percorrendo-se uma distância de 18,99m. Os azimutes e distâncias, área e perímetro foram calculados no plano da projeção do sistema UTM, F= 25, MC= 33° W.Gr., hemisfério "S", utilizando como superfície de referência o elipsoide GRS80. Todos os vértices estão georeferenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro, SIRGAS2000, época 2000,4 PROPRIETÁRIO(A): SEVERINO GOMES DA SILVA, brasileiro, agricultor, nascido em 03/06/1954, casado sob o regime da Comunhão de Bens, anterior a vigência da Lei nº 6.515/77, com JOSEFA DE LIMA GOMES, brasileira, dona de casa, nascida em 09/09/1957, portadores das Cédulas de Identidade R.G. nºs e inscritos no CPF/MF sob os nºs : e , respectivamente, residentes e domiciliados a Rua São Judas Tadeu, nº 543, CEP 53635-205, bairro Cruz do Rebouças, na cidade de Igarassu, estado de Pernambuco.DOMINIALIDADE ANTERIOR: Livro nº 2, ficha 01, matrícula 7903, em 23/12/1996. PROPRIETÁRIO(A): MUNICIPIO DE IGARASSU, pessoa jurídica de direito público, com sede à praça da Bandeira, nº 14, cidade de Igarassu-PE, inscrito no CGC/MF sob o nº 10.359.560/0001-90, representado por seu Prefeito. MARIO RICARDO DE LIMA, brasileiro, casado, administrador de empresa, Cédula de Identidade nº e CPF/MF nº , residente na cidade de Igarassu-PE. INSTRUMENTO: Aquisição originária da propriedade por LEGITIMAÇÃO FUNDIÁRIA EM LOTE INDIVIDUAL (art. 23, Lei Federal 13.465/2017 c/c, art. 16 do Decreto Federal nº 9.310/2018).

Fonte: Garnés (2018b)

Para o encaminhamento do projeto e da documentação gerada ao cartório, foi necessário o processo administrativo de abertura da REURB, no caso o Processo REURB-S n° 486/2017 e, também, o requerimento ao

registrador do enquadramento legal e solicitando a abertura de registro e matriculas do novo parcelamento (IGARASSU, 2018a e 2018b).

4 CONCLUSÕES

A realização de regularização fundiária em áreas urbanas mesmo com as flexibilizações da legislação atual não é uma tarefa trivial. Todas as fases mencionadas desde a análise documental, os levantamentos sociais, geodésicos, urbanísticos, ambientais constituem peças fundamentais na concepção do projeto de regularização fundiária.

Nesse trabalho foi apresentada de maneira sucinta a experiência realizada pela equipe da UFPE para a composição e regularização do Núcleo Urbano Novo Tapajós, com uma metodologia efetiva e completa, tanto do ponto de vista prático quanto do ponto de vista acadêmico. Tal metodologia conduz os trabalhos de forma segura e precisa, para que o registrador possa formalizar em cartório o título de propriedade ou a concessão de direto real.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Ministério das Cidades e as Pró-Reitorias PROEXC e PROPLAN da UFPE. A equipe de bolsistas e voluntários do projeto de extensão que participaram desde o início do Projeto. Ao DECArt e ao Laboratório de Geodésia por sediar os trabalhos do projeto. Aos colegas e pesquisadores que participaram durante a primeira fase do projeto: Profa. Suely Leal na vice-coordenação do projeto; Prof. Silvio Zancheti e Prof. Bertrand Alencar na composição do plano urbanístico do loteamento Tapajós. A toda equipe da Empresa de Urbanização de Igarassu – URBI pela parceria. Ao Cartório de Ofício Único de Igarassu pela disposição em fornecer subsídios para o desenvolvimento do projeto. A representante da comunidade Sra. Eliane pelo apoio local.

REFERÊNCIAS

AUTODESK. AutoCAD® Map 3D 2012. Raster tools. Software. © 2011 Autodesk, Inc., 2012.

BRASIL. LEI Nº 13.465, de 11 de junho de 2017**. Dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana, sobre a liquidação de créditos concedidos aos assentados da reforma agrária e sobre a regularização fundiária no âmbito da Amazônia Legal; institui mecanismos para aprimorar a eficiência dos procedimentos de alienação de imóveis da União; altera as Leis nos 8.629....** Diário Oficial, Brasília, DF, 8 set. 2017.

BRASIL. Decreto n. 9.310, de 15 de mar. De 2018. **Institui as normas gerais e os procedimentos aplicáveis à Regularização Fundiária Urbana e estabelece os procedimentos para a avaliação e a alienação dos imóveis da União**. Diário Oficial, Brasília, Brasília, DF, 19 mar. 2018.

GARNÉS, S. J. A. Sistema de projeção e orientação das plantas topográficas. In.: COBRAC 98. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário· 18 a 22 de outubro de 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1998. p.1-17.

GARNÉS, S. J. A. **Resolução das ambiguidades GPS para linhas de base curta: análise dos algoritmos de otimização**. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (Tese). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001.

GARNÉS, S.J.A.; LEAL, S. M. R.; DINIZ, F.R.; PESSOA, R. A.; ZANCHETI, S. M.; GONÇALVES, M. L. A. **Projeto de regularização fundiária de assentamentos habitacionais na região metropolitana do recife: meta 1 relatório de atividades município de Igarassu**. Recife: Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, jul. 2017. Relatório Técnico DECArt-UFPE.

GARNÉS, S.J.A.; LEAL, S. M. R.; DINIZ, F.R.; PESSOA, R. A.; GONÇALVES, M. L. A.; COUTINHO, I. J. **Projeto de regularização fundiária de assentamentos habitacionais na região metropolitana do recife: meta 2 projeto de regularização fundiária e instancias participativas**. Recife: Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, jan. 2018(a). Relatório Técnico DECArt-UFPE.

GARNÉS, S.J.A.; DINIZ, F.R.; PESSOA, R. A.; GONÇALVES, M. L. A.; COUTINHO, I. J. **Projeto de regularização fundiária de assentamentos habitacionais na região metropolitana do recife: meta 3 cadastro social e titulação**. Recife: Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, mai. 2018(b). Relatório Técnico DECArt-UFPE.

GARNÉS, S.J.A.; DINIZ, F.R.; PESSOA, R. A.; GONÇALVES, M. L. A.; COUTINHO, I. J. **Projeto de regularização fundiária de assentamentos habitacionais na região metropolitana do recife: meta 3 complemento atos normativos e ou administrativos**. Recife: Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, jul. 2018(c). Relatório Técnico DECArt-UFPE.

GARNÉS, S.J.A.; DINIZ, F.R.; PESSOA, R. A.; GONÇALVES, M. L. A.; COUTINHO, I. J. ARCOVERDE, R. B.; FARIAS, L. P. **Projeto de regularização fundiária do Núcleo Urbano Novo Tapajós**. Igarassu/Pernambuco. Igarassu, jun. de 2018(d).

GARNÉS, S, J A. **AstGeoTop 2018: Projeto Regularização Fundiária@versão 2017.11.23**. *Software*. Departamento de Engenharia Cartográfica/UFPE, Recife, 2018(a).

GARNÉS, S, J A. **Certidão Digital de Regularização Fundiária - CDRF@versão 2018.05.14.** *Software*. Departamento de Engenharia Cartográfica/UFPE, Recife, 2018(b).

GARNÉS, S.J.A (resp.téc.); GONÇALVES, M. L. A.; FREITAS, G.L. **Núcleo Urbano Novo Tapajós**. Recife, 2018. Planta na escala 1:750. *Desenho técnico*. Versão digital em pdf para impressão A_0. 11 mai 2018.

IGARASSU. Decreto nº 36, de 20 de agosto de 1979. **Declara de necessidade pública para fins de desapropriação os imóveis urbanos que especifica**. Igarassu-PE, 20 ago. 1979.

IGARASSU. Decreto n° 010, de 30 de junho de 2017. **Cria a comissão de regularização fundiária urbana e da outras providências**. Igarassu, PE, 30 jun. 2018(a).

_____. **Certidão de Regularização Fundiária** n° 1, de 02 de jul. 2018. Igarassu, PE, ago 2018(b).

_____. **Certidão de Regularização Fundiária** n° 2, de 13 de jul. 2018. Igarassu, PE, ago 2018(c).

LEAL, S.M. R.; MENDONÇA, F.J.B.; GARNÉS, S.J.A.G.; CARNEIRO, A.F.T.; LIMA, R.M.C.L.; CHAVES, H.L.A.; MAZZA, E.; COSTA, J.A.; PESSOA, R.A.C.; LACERDA, N.; ZANCHETI, S.M **Córrego do Balaio plano urbanístico e de gestão comunitária**. volume I. Recife: Departamento de Arquitetura e Urbanísmo. Universidade Federal de Pernambuco, dez. 2013a. Relatório Técnico -UFPE. 50. p.

LEAL, S.M. R.; MENDONÇA, F.J.B.; GARNÉS, S.J.A.G.; CARNEIRO, A.F.T.; LIMA, R.M.C.L.; CHAVES, H.L.A.; MAZZA, E.; COSTA, J.A.; PESSOA, R.A.C.; LACERDA, N.; ZANCHETI, S.M. **Córrego do Balaio caracterização dos imóveis e modelos para instrumento de regularização**. volume II. Recife: Departamento de Arquitetura e Urbanísmo. Universidade Federal de Pernambuco, dez. 2013b. Relatório Técnico -UFPE. 50. p.

LOTEAMENTO TAPAJÓS. Matrícula nº 3.400. Cartório de Igarassu/PE – Oficio Único. Tabelionato e Registros Públicos. R -1. Livro nº 2-J-0 fls. 06. 4 de março de 1982. Igarassu, 1982.

MICROSOFT OFFICE 365. Software. Microsoft Corporation, One Microsoft Way, Redmond, WA 98052 USA, 2018.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Termo de Execução Descentralizada (TED) que, entre si, celebram o Ministério das Cidades e a Universidade Federal de Pernambuco por meio do Projeto de Regularização Fundiária de Assentamentos Habitacionais na Região Metropolitana do Recife**. Ministério das Cidades Processo nº80000.121442/2016-01. Brasilia, DF, 11 nov. 2016.

WORK SMARTER WITH DRONE DATA. The Leading Drone Software Platform with Unlimited Flying, Mapping, and Sharing. **Dronedeploy**. Disponível em: <https://www.dronedeploy.com > Acesso em: agosto de 2017.

ZANCHETI, S. M.; SAMPAIO, B.; NEVES, R. R.; SILVA, A.C.A.; GALVÃO, B.; LINS, C. A. SAMICO, J. P. ; VASCO, M. H. Diagnóstico e Plano Urbanístico da Comunidade de Tapajós – Igarassu – PE. In: GARNÉS, S.J.A.; LEAL, S. M. R.; DINIZ, F.R.; PESSOA, R. A.; ZANCHETI, S. M.; GONÇALVES, M. L. A. **Projeto de regularização fundiária de assentamentos habitacionais na região metropolitana do recife: meta 1 relatório de atividades município de Igarassu**. Recife: Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco, jul. 2017. Relatório Técnico DECArt-UFPE.

USO DE RPAS PARA DEFINIÇÃO DE PARCELAS PROVISÓRIAS DO CADASTRO TERRITORIAL

ROVANE MARCOS DE FRANÇA

FLAVIO BOSCATTO

ADOLFO LINO DE ARAÚJO

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC
Departamento Acadêmico de Construção Civil - DACC
Curso Técnico de Agrimensura, Florianópolis, SC
rovane@ifsc.edu.br, flavio.boscatto@ifsc.edu.br, adolfo.lino@ifsc.edu.br

RESUMO – O presente estudo demonstra a possibilidade de uso do RPAS (Remotely Piloted Aircraft System ou Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas) para definição de parcelas provisórias do cadastro territorial. As parcelas provisórias compõem uma base cadastral que permite planejar a medição e definição das parcelas definitivas que então poderão ir a registro. A necessidade de implantação do cadastro territorial urbano, associada à evolução das técnicas de aerofotogrametria e ainda aliadas às evolução das normas e liberação do uso de RPAS no Brasil, abrem horizontes para criação de bases cartográficas aerofotogramétricas antes possível somente com grandes investimentos que são fora da realidade dos municípios brasileiros. São analisados os resultados de posicionamento e geometria das parcelas na composição da base cadastral para gestão do cadastro territorial.

ABSTRACT - The present study demonstrates the possibility use RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) to determination of provisory territorial parcels. The provisory territorial parcels comprise a cadastral base that allows planning the measurement and definition of the definitive parcels that can then go to registry. The need for implantation of the urban Territorial Cadaster, associated to the evolution of aerial photogrammetry techniques and still allied to the evolution of standards and liberation of the use of RPAS in Brazil, open up horizons for the creation of aerial photogrammetric cartographic bases before possible only with large investments that are out of reality of Brazilian municipalities. The results of positioning and geometry of the territorial parcels are analyzed in the composition of the cadastral base for territorial cadastre management.

1 INTRODUÇÃO

Com a publicação do Decreto Federal Nº 8.764/16 que instituiu o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais – SINTER (BRASIL, 2016), nasceu o que mais se aproximou até hoje no Brasil para a estruturação de um cadastro consistente de fato multifinalitário. Como definido no próprio decreto, o SINTER será administrado pela Secretaria da Receita Federal do Brasil e a adoção de um fluxo dinâmico, terá por objetivo atender às necessidades de especialização do registro e qualificação do cadastro (RECEITA FEDERAL, 2018) . A composição de uma base cadastral parcelar, portanto, será fundamental para garantir a operação e a análise dos efeitos da multifinalidade aplicada sobre o território.

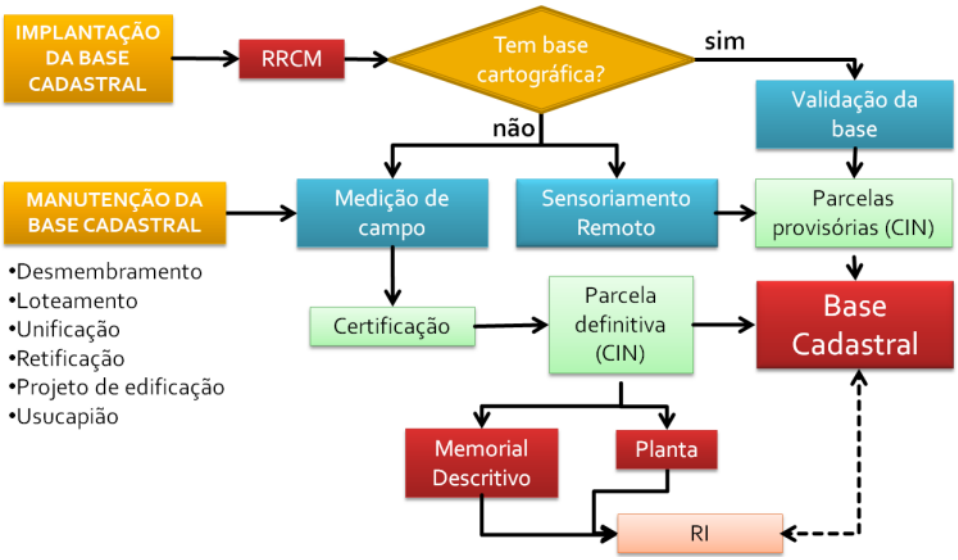
Os autores do presente artigo se constituem presentemente como meros compiladores das ideias de um grupo mais numeroso de profissionais pertencentes ao quadro do Instituto Federal de Santa Catarina-IFSC. Tal grupo possui ampla e profunda formação na área de Cadastro Territorial, com reconhecida expertise no assunto, conhecendo as realidades estruturais do Cadastro em nosso e em outros países, as quais foram objetos de estudo de suas diversas dissertações, teses e publicações acadêmicas. Este documento é, portanto, uma aplicação prática dos sólidos conceitos modernos e internacionais compilados ao longo de anos que permitirão a composição da desejada base cadastral provisória que facilitará a gestão do cadastro territorial.

A legislação brasileira vem sendo formatada para a adequação do cadastro territorial urbano após grande experiência do cadastro territorial rural. A evolução das políticas públicas neste sentido ficam notórias a partir da publicação de instrumentos legais atuais como a portaria 511/2009 do Ministério das Cidades que define as Diretrizes

para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros, o Projeto de Lei 3.876/2015 que estabelece normas para elaboração do cadastro territorial dos municípios, o Decreto Fereral 8.764/2016 que institui o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais – SINTER e o recente Decreto federal 9.310/18 que institui as normas gerais e os procedimentos aplicáveis à Regularização Fundiária Urbana.

França e Araujo (2018) apresentaram a estruturação necessária propondo a possibilidade de obtenção de uma base cadastral provisória a partir de uma base existente ou através de sensoriamento remoto (aerofotogrametria e imagem de satélites).

Figura 1 – Fluxograma da Implantação e Manutenção da Base Cadastral



Fonte: França e Araújo (2018)

Hasenack (2013) afirma que nas áreas municipais urbanas, a carta cadastral adotada no Brasil é aquela que representa as feições físicas visíveis (o contorno) das ocupações, quer estas sejam levantadas por métodos fotogramétricos ou topográficos. Ela não representa os limites legais das parcelas territoriais, e não tem vínculo com o RI.

Para Oliveira (2007), a maioria dos municípios brasileiros não conta com cartografia cadastral atualizada, ou sequer conta com algum produto cartográfico. Sugere ainda que para o estabelecimento dessa cartografia, bem como para o denominado recadastramento, a ideia inicial é levantar de uma só vez, de forma rápida e completa. Com isso a aerofotogrametria se encaixa perfeitamente, porém não atendendo o princípio do cadastro territorial da definição pontual dos limites que nem sempre são físicos.

A utilização de RPAS vem crescendo a passos largos em todo o mundo, sendo considerada uma tecnologia disruptiva quando aplicada em áreas já consagradas como a aerofotogrametria. No Brasil todos os RPA (Remotely Piloted Aircraft ou Aeronave Remotamente Pilotada) e usuários devem ser cadastrados na ANAC, onde se pode observar um crescimento constante de aproximadamente 1.000 aeronaves por mês desde que a plataforma on-line foi criada em junho de 2017 (ANAC, 2018).

Sendo o cadastro territorial de competência municipal devido ao ordenamento territorial, conforme define a Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 no seu artigo 30º inciso VIII (BRASIL, 1988), os municípios devem manter um cadastro territorial fiel garantindo o seu ordenamento e possibilitando cobrança de tributos justa. Para esta manutenção, são necessários investimentos que nem sempre são vistos como mantenedores de um retorno fiscal que compense sua existência, levando municípios a não implantarem uma gestão do cadastro territorial. Segundo o IBGE (2017) cerca de 56% da população vivem em 304 municípios, o que equivalem a 5% dos municípios. Os outros 95% dos municípios possuem todos menos de 100.000 habitantes e 75% dos municípios possuem menos de 20.000 habitantes. Isso nos aponta dificuldades em obter orçamento para investimentos em planejamento e ordenamento territorial. Desta forma, soluções mais simples e que possam abranger menores extensões territoriais para o mapeamento passam a ser muito interessantes, característica esta da aerofotogrametria com RPAS apontada por Lara e Neris (2017).

Lara e Neris (2017) mostraram que usando aerofotogrametria com RPAS e processamento com pontos de controle medidos em campo, foi alcançada na ortofoto Classe A do PEC para a escala 1:1000, o que indica a possibilidade de uso para a definição de parcelas provisórias, sendo um dos objetivos de análise deste estudo. As

parcelas provisórias são aquelas que não passaram por um processo de certificação e que podem compor a Base Cadastral até que venha a ser certificada de forma definitiva; podem ser oriundas das bases de dados geoespaciais das prefeituras ou de métodos de levantamento em massa (como a aerofotogrametria), e normalmente correspondem aos limites físicos da ocupação territorial ou expressos nos documentos de formalização do parcelamento do solo.

A distribuição e quantidade dos pontos de controle no processamento influenciam diretamente a qualidade do posicionamento, conforme concluiu Zanetti (2017).

Segundo estudo de Cunha et al. (2016) comparando ortofoto obtida por aerofotogrametria usando RPA sem pontos de controle em solo, sendo georreferenciada apenas pelas coordenadas autônomas das fotografias usando código C/A, as discrepâncias nas coordenadas E vaiaram de -0,74 a +0,85 e nas coordenadas N variaram de +0,85 a +1,45. Mesmo não apresentando uma translação sistemática, Cunha et al. (2016) conclui que atende para a escala 1:5000 PEC Classe A.

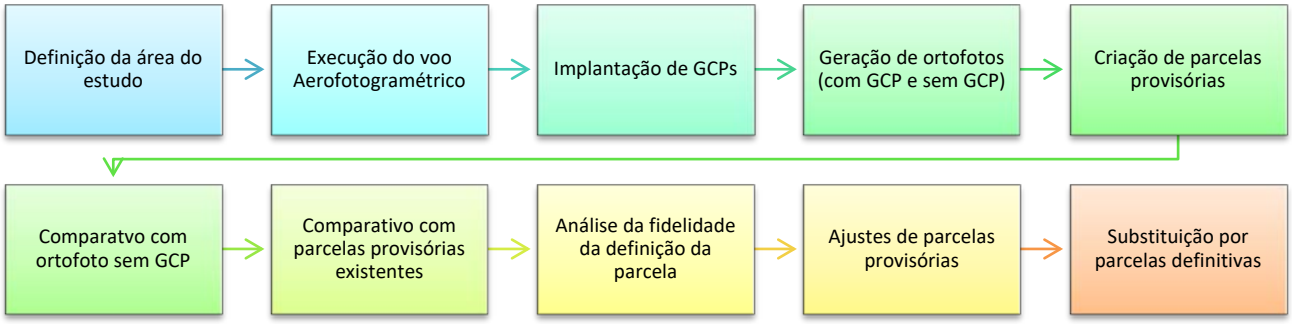
Para tornar viável a gestão do cadastro territorial, é necessário que o município tenha em seu quadro ao menos um profissional da área de Agrimensura, conforme constata Boscatto et al. (2018). Será este profissional ou equipe de profissionais que farão as manutenções necessárias na Base Cadastral. Boscatto et al. (2018) comenta ainda a possibilidade de associações de pequenos municípios para compartilhar a estrutura de gestão do cadastro.

Este estudo aborda a análise da criação de base cadastral provisória utilizando aerofotogrametria com RPAS e como se fará os ajustes até que a parcela se torne definitiva através do levantamentos topográficos.

2 METODOLOGIA DO TRABALHO

A metodologia adotada foi um estudo de caso para melhorar nossa percepção com a aplicação prática dos conceitos concebidos de gestão do cadastro territorial.

Figura 2 – Fluxo do desenvolvimento do trabalho



Fonte: elaborado pelos autores (2018)

2.1 Definição da Área de estudo

Como área do estudo de caso, foi adotada a quadra onde se encontra o IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis

Figura 3 – Localização da área de estudo no bairro Centro de Florianópolis

Fonte: Adaptado de Google (2018)

A quadra está localizada no município de Florianópolis, numa área bastante urbanizada e com ocupação irregular ocorrida a partir do início do século XX (figuras 3 e 4). A área da quadra irregular é de aproximadamente 10ha.

2.2 Execução do voo aerofotogramétrico

Para o voo foi utilizado o RPAS da marca Sensefly, modelo ebee, classe 3, com a câmera Sony DSC-WX220 que possui a resolução de 18,2 MP.

O planejamento do voo foi realizado no software Sensefly emotion 2. Foi definida a altura máxima de voo de 120m, pois a aeronave não possui CAER e nenhum professor ou aluno possui Habilitação na ANAC conforme RBAC-E n°94 (ANAC, 2017). Com a altura do voo definida em 120m, a GSD (*Ground Sample Distance* ou Distância de Amostra do Solo) resultante ficou em 3,4cm. Foram adotadas a sobreposição transversal de 75% e longitudinal de 85%.

Para a RPS (*Remote Pilot Station* ou Estação de Pilotagem Remota) foi utilizado um notebook com processador i7, memória RAM de 8GB, placa de vídeo dedicada de 2GB, sistema operacional Windows 7 Professional. O Software utilizado para telemetria e controle da aeronave foi o emotion 2 da Sensefly, o mesmo utilizado para o planejamento do voo.

Foram capturadas 242 fotografias.

2.3 Implantação de pontos de controle

Foram implantados 17 pontos de controle em solo pré-sinalizados e medidos com RTK modelo Topcon Hiper V. Buscou-se uma distribuição uniforme, porém em virtude dos obstáculos como edifícios altos e o morro à leste que possui ocupação desordenada com vias muito estreitas, a disposição dos pontos de controle não foram regulares.

A pré-sinalização foi feita com cal em solo e tinta nas áreas pavimentadas, no formato de cruzeta. As cruzetas foram feitas com tamanho aproximado de 1m e largura dos traços de aproximadamente 8cm.

As precisões posicionais dos pontos de controle ficaram todos melhores que ±18mm na horizontal e ±24mm na vertical.

Os pontos de controle servirão para serem usados no processamento como GCP (*Ground Control Point* ou Ponto de Controle no solo) ou como Ponto de Checagem (Check Point). Na implantação e medição eles são executados da mesma forma, sem distinção. Somente no processamento eles ganharão status de GCP ou Ponto de Checagem.

2.4 Geração de ortofotos

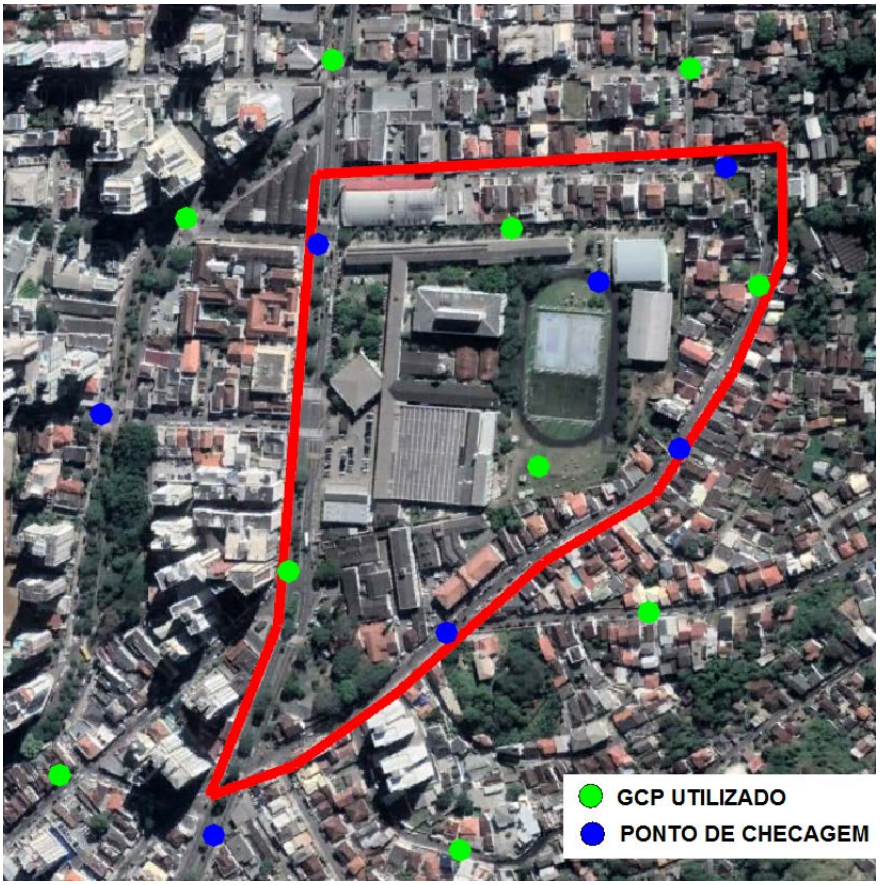
Para a geração das ortofotos, as fotografias foram processadas no software Pix4Dmapper Pro versão 3.1.22. O software Pix4Dmapper Pro desenvolve todas as etapas de processamento aerofotogramétrico utilizando algoritmos de visão computacional, tornando o processo extremamente simples e com pouca interação humana.

Foram feitos 2 processamentos: sem GCP e com GCP. Ambos resultaram em ortofotos verdadeiras (elementos verticais ortogonalizados) com tamanho do pixel de 4,4cm.

O Processamento sem GCP foi georreferenciado utilizando apenas as coordenadas da fotografia obtida pelo receptor GNSS embarcado na RPA que faz posicionamento absoluto com código C/A, resultando em alguns metros de erro posicional.

No Processamento com GCP foram utilizados os pontos de controle colocando alguns como GCP e os demais pontos de controle passaram a ser Pontos de Checagem. Os pontos de checagem são importantes para se conhecer a precisão posicional esperada do produto, podendo inclusive classificar a ortofoto conforme a PEC. Foram feitas algumas simulações iniciando com 5 GCPs e aumentando gradativamente onde foram apresentadas discrepâncias maiores até que os erros posicionais ficaram homogêneos comparando o pixel central da sinalização no ortofoto em relação aos pontos de checagem. Com 10 GCP e 7 Pontos de checagem, foi alcançado o erro máximo posicional de 9,3cm sendo os demais melhores que 4cm. A disposição final dos GCP e pontos de checagem, podem ser observados na figura 4.

Figura 4 – Definição da área de estudo e posição dos GCP e pontos de checagem



Fonte: Adaptado de Google (2018)

2.5 Criação de parcelas provisórias

As parcelas provisórias foram criadas a partir da vetorização de polígonos sobre as feições foto-interpretadas na ortofoto resultante do processamento com GCP. As feições que serviram de análise para a vetorização foram muros, cercas e edificações. Não foi utilizado mais nenhum outro material de apoio justamente para provocar os possíveis problemas decorrentes de foto-interpretar feições como limites dos imóveis para o comparativo das parcelas existentes no cadastro municipal.

Foram identificadas 51 parcelas baseando-se somente nas feições.

Figura 5 – Parcelas Provisórias vetorizadas sobre a ortofoto com GCP

Fonte: elaborado pelos autores (2018)

2.6 Comparativo com ortofoto sem GCP

Para analisar a importância do processamento aerofotogramétrico utilizando GCPs para a criação de parcelas provisórias, foi realizada a sobreposição das parcelas provisórias vetorizadas sobre a ortofoto processada com GCP sobre a a ortofoto processada sem GCP.

Observou-se que para a área em questão houve um erro sistemático médio na direção oeste de 1,96m±12cm e na direção sul de 0,89m±15cm, resultando um deslocamento horizontal médio de 2,16m para sudoeste.

Figura 6 – Parcelas Provisórias sobre a ortofoto sem GCP.

Fonte: elaborado pelos autores (2018)

2.7 Comparativo com parcelas provisórias existentes

O Município de Florianópolis possui um setor de cadastro e utiliza inclusive um sistema de informações geográficas para sua gestão, que está organizado em parcelas. As parcelas foram obtidas por processo aerofotogramétrico com voo tripulado fazendo atualização conforme informações dos proprietários através de matrículas, escrituras e projetos. O arquivo vetorial foi fornecido pelo Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis. Para o município de Florianópolis, estas parcelas são as existentes no cadastro e seriam as utilizadas para alimentar o SINTER por exemplo. Foram comparadas, então, as parcelas criadas a partir da ortofoto do RPA com as parcelas existentes do cadastro do município de Florianópolis. Na base do cadastro do município, existem 47 parcelas contra 51 identificadas por feições.

Figura 7 – Comparativo das parcelas existentes no cadastro com as criadas na ortofoto RPA

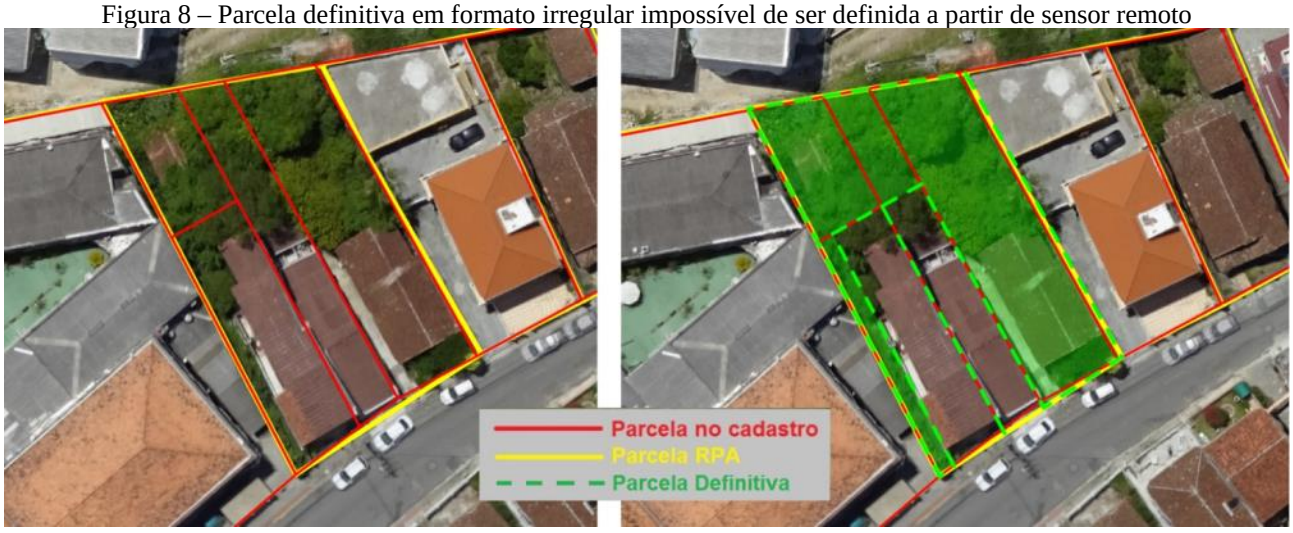
Fonte: elaborado pelos autores (2018)

Foram identificados erros posicionais menores que 1,16m entre as parcelas existentes no cadastro e as criadas pela ortofoto do RPA (figura 7 A). Mas os problemas mais críticos foram devido às divergências na interpretação das feições que aparentemente definem os limites do imóvel. Mesmo sendo uma área bastante urbanizada onde os muros são comumente usados para definir os limites, foram encontradas importantes divergências pois vários imóveis não possuíam feições físicas visíveis. A figura 7 B mostra que foi identificada uma parcela pela ortofoto e que no cadastro são na verdade 4 parcelas distintas. Esta situação não é possível ser identificada somente por sensoriamento remoto. Somente em campo após reunir os proprietários isso é possível, pois neste caso os imóveis não possuem matrícula. Nesta quadra ocorreram mais 6 casos onde tiveram divergências das parcelas vetorizadas por feições das que já estão ajustadas no cadastro.

2.8 Análise da fidelidade da definição da parcela

Como o cadastro existente foi originado de aerolevantamento e ajustado conforme outros documentos como registro e escrituras, também podem haver divergências para a ocupação real. Para verificar esta situação, foi-se a campo para identificar a fidelidade da criação da parcela temporária baseado na ortofoto e também com o que existe no cadastro. Neste estudo, 4 parcelas tinham ocupação totalmente divergente do que foi foto-interpretado e também divergente com o existente no cadastro.

Figura 8 – Parcela definitiva em formato irregular impossível de ser definida a partir de sensor remoto

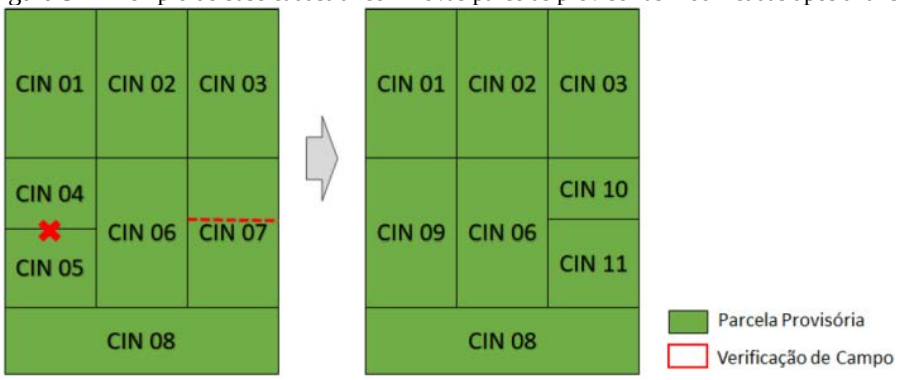


Fonte: elaborado pelos autores (2018)

2.9 Ajustes de parcelas provisórias

Adotando somente ortofoto de qualquer processo aerofotogramétrico para criar as parcelas provisórias, onde cada qual receberá um Código de Imóvel Nacional (CIN), poderá haver divergências que dependem de análise em campo. Quando esta análise for feita sob demanda conforme necessidade do proprietário ou de algum confrontante, surge então a necessidade de alterar as parcelas provisórias, sendo necessário criar novas ou unificar algumas criadas.

Figura 9 – Exemplo de base cadastral com novas parcelas provisórias modificadas após análise



Fonte: elaborado pelos autores (2018)

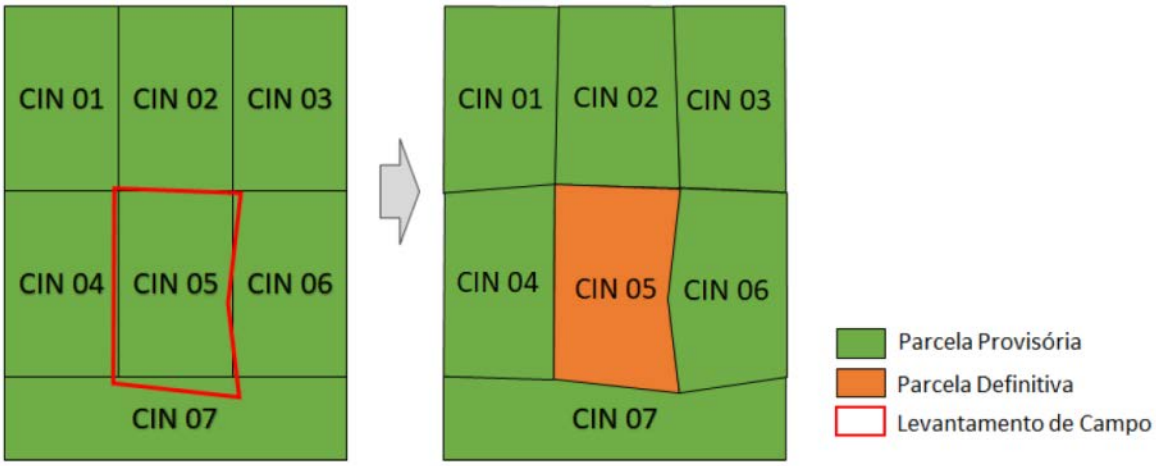
2.10 Substituição por parcelas definitivas

As parcelas provisórias, assim são chamadas por não serem ainda medidas em campo, nem seus vértices monumentados para definir vértice a vértice os limites dos imóveis, nem mesmo a anuência dos lindeiros quanto aos limite fisicamente definido.

Ao ser necessário qualquer tipo de alteração do registro do imóvel, inicia então o processo de criação da parcela definitiva, sendo então necessário o levantamento topográfico de campo para que todas as definições geométricas da parcela e suas questões de dominialidade sejam analisadas e aceitas pelos confrontantes. A parcela medida em campo passa então pelo processo de Certificação, onde similar ao que ocorre no Georreferenciamento de Imóveis Rurais hoje, são analisadas as questões geométricas para garantir consistência na base cadastral.

Sendo a parcela medida levada a certificação, são necessários ajustes geométricos das parcelas provisórias lindeiras após a certificação ser concretizada. A figura 10 apresenta uma situação de uma parcela medida em campo que exige ajustes das parcelas lindeiras.

Figura 10 – Exemplo de ajuste das parcelas provisórias lindeiras à uma recém certificada



Fonte: elaborado pelos autores (2018)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os limites legais não são todos materializados por feições em campo, o que impede de se criar as parcelas definitivas (que vão a registro) por processo aerofotogramétrico, independente da resolução e precisão posicional.

O processo aerofotogramétrico de RPA atual, gera ortofotos verdadeiras que produzem deformações em suas bordas quando há fei;cões verticais, como é o caso de muros e edificações. Isso prejudica a foto-interpretação não sendo possível ter a visualização geometricamente correta. A solução para amenizar o problema é a análise da fotografia bruta que possui perspectiva e assim facilite a foto-interpretação.

Figura 11 – Deformação de feições verticais na ortofoto verdadeira

Fonte: elaborado pelos autores (2018)

Erro posicional da ortofoto sem GCP para uma pequena área como esta (300x400m) apresentou deslocamento sistemático, sendo que as distorções (15cm) não foram significativas se comparado ao erro sistemático encontrado (2,16m).

4 CONCLUSÕES

O processo aerofotogramétrico por RPA atende perfeitamente a finalidade de criar as parcelas provisórias. A parcela provisória pode e deve ser dinâmica no cadastro, sendo necessário ajustá-la em função da realidade medida em campo da própria parcela ou das parcelas lindeiras.

Para a criação de parcelas provisórias, pode-se adotar o processamento com poucos GCPs, pois mesmo sem o uso de GCPs, a qualidade geométrica se apresentou bastante satisfatória, sendo necessário a eliminação de erros sistemáticos com poucos pontos de controle.

Já para a criação de parcelas definitivas, o processo aerofotogramétrico não é possível, pois existem as questões legais de domínio que devem der analisadas. Somente as feições em campo como muros, cercas e edificações não são suficientes para criar a parcela definitiva com segurança jurídica.

Há de se considerar ainda que é exigível a monumentalização dos vértices que definem as parcelas definitivas, exigindo o reconhecimento em campo, além da ciência dos lindeiros para regularização do registro do imóvel. Somente desta forma dois profissionais poderão medir o mesmo ponto fisicamente em campo sem haver qualquer dúvida sobre a posição do limite da parcela.

A sistemática de criar parcelas provisórias de todo o espaço num tempo curto, permite o planejamento e controle no cadastro e conforme as parcelas vão sendo medidas em campo para criar as parcelas definitivas, as parcelas provisórias vão sendo ajustadas. Desta forma se tem uma visão ampla do cadastro territorial sem aguardar a certificação das parcelas que devem ser feitas de acordo com a necessidade do proprietário em ações de desmembramento, loteamento, unificação, retificação, projeto de edificação, usucapião, regularização fundiária ou mesmo por necessidade específica do órgão responsável pelo cadastro, não onerando assim o município com levantamentos para regularizar imóveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAC. **Quantidade de Cadastros.** Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones/quantidade-de-cadastros>. Acesso: 15 agosto 2018.

ANAC. **Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil** - RBAC-E n°94. 2017.

BOSCATTO, F.; ARAÚJO, A. L.; FRANÇA, R. M. **Cadastro Territorial e Georreferenciamento de Imóveis**. Série:

Topografia e Agrimensura para Cursos Técnicos. Livro Digital. Florianópolis: IFSC, 2018. 22p. Disponível em: <https://goo.gl/6m79ve>. Acesso: 16 julho 2018.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, 1988.

_____. Câmara dos Deputados. **Projeto de lei nº 3.876-A/2015**. Estabelece normas para elaboração do cadastro territorial dos municípios e dá outras providencias. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/sileg/integras/1475564.pdf>. Acesso: 02 de junho de 2018.

_____. **Decreto Federal Nº 8.764/16**, de 10 de maio de 2016: Institui o Sistema Nacional de Gestão de Informações Territoriais – SINTER. Brasília, 2016.

_____. **Decreto Federal Nº 9.310/18**, de 15 de março de 2018: Institui as normas gerais e os procedimentos aplicáveis à Regularização Fundiária Urbana. Brasília, 2018.

_____. Ministério das Cidades. **Portaria Nº 511**, de 7 de dezembro de 2009: Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros. Brasília, 2009.

CUNHA, A. A. et al. Controle de qualidade posicional de ortofoto gerada pelo RPA (remotely piloted aircraft) Phantom 3 com receptor GNSS embarcado. 12º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial – COBRAC. Florianópolis. 2016.

FRANÇA, R. M.; ARAUJO, A. L. **Parcelas e objetos territoriais: uma proposta para o SINTER**. 13º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial – COBRAC. Florianópolis. 2018

GOOGLE. **Google Earth**. Version Pro 7.3.2.5491. 2018. Florianópolis. Disponível em: <https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>. Acesso: 19 agosto 2018.

HASENACK, M. **A cartografia cadastral no Brasil**. 2013. 201p. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina.

IBGE. **Pesquisa de informações básicas municipais – tabelas 2017** .Disponível em < https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/protecao-social/10586-pesquisa-de-informacoes-basicas-municipais.html?edicao=21632&t=resultados>. Acesso: 10 agosto 2018.

LARA J. V. H. . NERIS F. L. **Análise da Qualidade Geométrica da Planta Cadastral Urbana Gerada a Partir de Imagem Aérea Obtida com VANT**. 2017. UNESC.

OLIVEIRA, F. H. **Considerações sobre a necessidade municipais em relação à Cartografia cadastral urbana** In: Cunha, P,M,E ; De Cesare, C. M. Financiamento das cidades: instrumentos fiscais e de política urbana – seminários nacionais – Brasília: Ministério das Cidades, 2007

RECEITA FEDERAL. Subsecretaria de Arrecadação, Cadastros e Atendimento. **Objetivos do Sinter**. 2018. Disponível em: <http://idg.receita.fazenda.gov.br/sinter/institucional/objetivos-do-sinter>. Acesso: 02 de junho de 2018.

ZANETTI, J. **Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por VANT**. 2017. 84p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.