



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CRISTIANO RODRIGUES FERREIRA COSTA

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA ALOCAÇÃO DE RECURSOS A PROJETOS  
EM ANDAMENTO: Uma Abordagem de Portfólio Aplicada ao Setor Público**

Caruaru

2023

CRISTIANO RODRIGUES FERREIRA COSTA

**MODELO MULTICRITÉRIO PARA ALOCAÇÃO DE RECURSOS A PROJETOS  
EM ANDAMENTO: Uma Abordagem de Portfólio Aplicada ao Setor Público**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de Concentração: Otimização e Gestão da Produção.

**Orientador:** Prof. Dr. Jônatas Araújo de Almeida.

Caruaru

2023

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária – Nasaré Oliveira - CRB/4 - 2309

C837m Costa, Cristiano Rodrigues Ferreira.  
Modelo multicritério para alocação de recursos a projetos em andamento: uma abordagem de portfólio aplicada ao setor público. / Cristiano Rodrigues Ferreira Costa. – 2023.  
112 f.; il.: 30 cm.

Orientador: Jônatas Araújo de Almeida.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção, 2023.  
Inclui Referências.

1. Rodovias. 2. Manutenção - Projetos. 3. Processo decisório por critério múltiplo. 4. FITradeoff. I. Almeida, Jônatas Araújo de (Orientador). II. Título.

CDD 658.5 (23. ed.) UFPE (CAA 2023-067)

CRISTIANO RODRIGUES FERREIRA COSTA

**“MODELO MULTICRITÉRIO PARA ALOCAÇÃO DE RECURSOS A PROJETOS  
EM ANDAMENTO: Uma Abordagem de Portfólio Aplicada ao Setor Público”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de Concentração: Otimização e Gestão da Produção.

Aprovada em: 29/08/23

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Jônatas Araújo de Almeida (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

---

Prof. Dra. Ana Paula Henriques Gusmão de Araujo Lima (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

---

Prof. Dra. Níssia Carvalho Rosa Bergiante (Examinadora Externa)  
Universidade Federal Fluminense - UFF

Aos meus pais, Everaldo Ferreira Costa e Maria das Graças Rodrigues Costa e  
ao meu filho, Cristiam Saymon Santos Costa.

## AGRADECIMENTOS

À Deus toda honra, todo poder e glória para sempre. Faço questão de enfatizar, que sou grato a Deus por tudo que ocorre em minha vida, sem Ele nada sou e nada serei. Tudo que sou, tudo que penso, tudo o que faço é para glória do Senhor.

A meus pais, minha esposa e meu filho, que são a minha base, são as pessoas que me apoiam com amor todas as minhas decisões, e não foi diferente durante o mestrado, eles nunca deixaram de acreditar em mim.

Agradeço ao meu orientador e professor Dr. Jônatas Araújo Almeida, que, além de me ensinar a ser uma pessoa melhor, me treinou, me incentivou e acreditou em mim, mesmo nos momentos mais difíceis que passei, ele soube conduzir meus trabalhos e sempre se disponibilizou para trazer os melhores conselhos e preciosas orientações para que esse trabalho fosse concluído.

Aos meus amigos de trabalho, verdadeiros “denitianos”; Engenheiro Civil e Msc. Rodolfo S. Perdigão, meu atual chefe imediato, no qual sempre me apoiou na “luta” em desenvolver a pesquisa deste trabalho e além disso contribui com dados das obras em andamento sob sua responsabilidade; ao engenheiro Clécio M. da Cunha Soares, com sua vasta experiência, contribui no desenvolvimento das estimativas de custos das obras; ao nobre engenheiro Rogério A. da Silva, pelo disponibilização de informações do programa sob sua responsabilidade e grande disposição nas visitas de campo para medições e avaliações *in situ*; aos ilustres engenheiros Nabucodonozor Aquino B. Filho e Jonathan da Fonseca Trindade, me auxiliaram nos sistemas de planejamento do DNIT; ao engenheiro Adriano L. do Nascimento G. Xavier que também contribui no fornecimento dos projetos em andamento das rodovias do sertão alagoano; ao meu querido amigo engenheiro Thiago Milton B. M. Costa, que pela grande contribuição quanto ao levantamento dos critérios relacionados a manutenção rodoviária, assim como sempre me apoiou no desenvolvimento da dissertação e ao estimado engenheiro Msc. Nicolás A. de Oliveira Souto, pela contribuição e disposição nas reuniões para explanar sobre alocação dos empenhos e atuar como decisor do modelo. Sempre será uma honra para mim poder estar trabalhando ao lado dos senhores.

Amizades firmadas durante o período do mestrado, em especial Claudiane e Hévilla que caminharam junto comigo, deste o período preparatório, durante o período das aulas até o dia da defesa, realizando as atividades em grupo, sanando as dúvidas, colaborando na elaboração do artigo, sempre se demonstraram colaborativas e prestativas.

As professoras, especial prof.<sup>a</sup> Marina que além de nos ajudar nas aulas de seminário, contribuiu no entendimento dos problemas de tomada de decisão e a Prof.<sup>a</sup> Raiza P. Silva, que realizou a revisão gramatical dos artigos e da dissertação.

Às minhas amigas de Brasília, Ludmila Cabrine S. Costa da Coordenação de Planejamento (COPLAN/DNIT) se disponibilizando nas reuniões com sua equipe para abordar os estudos de decisão que o DNIT vem atuando, no qual me ajudou bastante na aderência da dissertação com os objetivos macros do órgão e a Ludimila Gomes M. Mustafé que atuou no Serviço Especializado de Programação e Execução (SESPEO) me ajudou bastante a entender sobre a metodologia de solicitações de empenhos e uso dos recursos no âmbito do DNIT.

Ao Sr. Diretor Geral Fabrício de Oliveira Galvão que atualmente representa o DNIT, pelo apoio e disposição em contribuir no que foi preciso para a realização deste trabalho, além disso o DNIT se tornou minha segunda casa, onde tenho orgulho de fazer parte desta primorosa autarquia, que aos 11 anos e 8 meses venho obtendo conhecimento técnico da melhor escola de engenharia rodoviária, conhecida nacionalmente e internacionalmente.

Finalizo meus agradecimentos à CAPES pelo apoio institucional no qual pude realizar importantes pesquisas dos artigos científicos e na realização de cursos de aperfeiçoamento, assim como ao Centro de Desenvolvimento de Sistema de Decisão e Informações (CDSID), pelo fornecimento do software na aplicação dos trabalhos desenvolvidos.

“O passado é nossa porta de entrada para termos no presente a capacidade de parar para pensar e procurar saber onde estamos e o que deveríamos mudar. E o presente é uma oportunidade para forjarmos um novo futuro”. (MACDONALD, 1999, pág 250)



## RESUMO

Dentro do contexto da infraestrutura pública brasileira, a manutenção de ativos vem ganhando destaque. Frequentemente a gestão pública se depara com demandas de atividade decorrentes do plano de manutenção, sejam solicitação de manutenção preventiva ou serviços eventuais que possam surgir. Devido a isso, os processos que envolvem o uso de orçamento público necessitam passar por um processo de avaliação com objetivo de definir as demandas mais relevantes e prioritárias, considerando as diretrizes legais e regimentais do próprio órgão. O Fundo Monetário Internacional (FMI), por meio de seu relatório de Avaliação de Investimentos Públicos em 2018, destacou a baixa eficiência no processo de priorização de investimento no Brasil nos últimos 20 anos, o que gera consequências potencialmente negativas para gestão pública nacional. No Brasil, sua extensa malha rodoviária, possibilita o deslocamento dos cidadãos e o escoamento produtivo, proporcionando vultuosas movimentações econômicas em todo território nacional. A priorização de programas ou projetos em andamento relacionados a manutenção de ativos rodoviários, ocorrem de forma empírica e pouco estruturada, muitas vezes, inferidas por fatores externos ao processo. Desta forma, surge a necessidade do aperfeiçoamento de técnicas de planejamento dos orçamentos públicos para atender à sociedade, incluindo os projetos de infraestrutura rodoviária. A alocação de recursos, portanto, é muitas vezes realizada de maneira precipitada. Pressupondo esses aspectos, foi proposto um modelo multicritério para a priorização de 20 projetos presentes em um conjunto de 5 programas de manutenção em andamento do DNIT em Alagoas. O método FITradeoff foi utilizado pela sua interatividade e flexibilidade, e por exigir menos esforço cognitivo do decisor no processo de elicitação de suas preferências. No estudo de caso foram analisadas características diversas inerentes ao conforto, qualidade e segurança das rodovias, entre eles, o IGG, o iRAP e cronograma obras rodoviárias. Como resultado, foi possível observar que projetos de manutenção podem ocupar uma ordenação de maior prioridade de acordo com critérios estabelecidos e otimizar os recursos disponíveis. A utilização do FITradeoff deu suporte à tomada de decisão e permitiu uma análise geral dos dados.

**Palavras-chave:** projetos de manutenção rodoviária, decisão multicritério, FITradeoff, priorização de projetos.

## ABSTRACT

Within the context of Brazilian public infrastructure, asset maintenance has been gaining prominence. Public management is often faced with activity demands arising from the maintenance plan, whether requests for preventive maintenance or occasional services that may arise. Due to this, processes involving the use of public budget need to go through an evaluation process with the objective of defining the most relevant and priority demands, considering the legal and regulatory guidelines of the public agency itself. The International Monetary Fund (IMF), through its Public Investment Assessment report in 2018, highlighted the low efficiency in the investment prioritization process in Brazil over the last 20 years, which generates potentially negative consequences for national public management. In Brazil, its extensive road network enables the movement of citizens and productive flow, providing massive economic movements throughout the national territory. The prioritization of ongoing programs or projects related to the maintenance of road assets occurs in an empirical and poorly structured manner, often inferred by factors external to the process. Therefore, there is a need to improve public budget planning techniques to serve society, including road infrastructure projects. Resource allocation, therefore, is often carried out hastily. Assuming these aspects, a multi-criteria model was proposed for the prioritization of 20 projects present in a set of 5 ongoing maintenance programs at DNIT in Alagoas. The FITradeoff method was used due to its interactivity and flexibility, and because it requires less cognitive effort from the decision maker in the process of eliciting their preferences. In the case study, various characteristics inherent to the comfort, quality and safety of highways were analyzed, including the IGG, the iRAP and the schedule of road works. As a result, it was possible to observe that maintenance projects can occupy a higher priority order according to established criteria and optimize available resources. The use of FITradeoff supported decision making and allowed a general analysis of the data. Key- Words: Road Maintenance Projects Multicriteria Decision, FITradeoff, Project Prioritization.

**Keywords:** road maintenance projects, multicriteria decision, FITradeoff, project prioritization.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Visão Geral de Gerenciamento de Projetos.....	23
Figura 2 -	Domínios de desempenho na Gestão de Portfólio.....	34
Figura 3 -	Tipos Básicos de Projetos em Portfólio.....	35
Figura 4 -	Processos de Gerenciamento de Portfólio.....	38
Figura 5 -	Hierarquia de Decisão.....	44
Figura 6 -	Valores das alternativas.....	45
Figura 7 -	Hierarquia dos critérios de satisfação em primeiro e segundo nível.....	46
Figura 8 -	Diagrama de Ação.....	47
Figura 9 -	Resultado do Diagrama de Ação de Critérios Principais e Subcritérios.....	48
Figura 10 -	Consequências que representam o critério 1 e critério 2, respectivamente.....	50
Figura 11 -	Representação das categorias do método MACBETH numa reta real.....	53
Figura 12 -	Representação gráfica de fluxo que sai ( $\Phi+$ ) e do fluxo que entra ( $\Phi-$ ).....	56
Figura 13 -	Comparações de consequências para elicitacão de pesos por meio de relação de Preferência.....	60
Figura 14 -	Comparações de consequências para elicitacão de pesos por meio de relação de Indiferença.....	61
Figura 15 -	Comparações de consequências para elicitacão de pesos por meio de relação de Preferência.....	61
Figura 16 -	Procedimento do sistema de apoio à decisão.....	63
Figura 17 -	Etapas para elicitacão de pesos no modelo de apoio a decisão.....	64
Figura 18 -	Distribuição dos Pesos ( $k_i$ ) no Padrão Modal e Uniforme para seis critério hipotéticos.....	65
Figura 19 -	Valores limites representadas em porcentagem numa faixa de 0 -1.....	69
Figura 20 -	Etapas do modelo de seleção de portfólio por FITradeoff.....	72
Figura 21 -	Procedimento para resolução de um problema de decisão.....	75
Figura 22 -	Curva de deterioração do pavimento.....	77
Figura 23 -	Fluxograma do Modelo de Alocação de Recursos a Programa em Andamento.....	79
Figura 24 -	Estimativa de volumes de erosões para composição de custo.....	84

Figura 25 - Ilustração dos municípios mais afetados em um raio menor de 10 Km na BR 423/AL.....	85
Figura 26 - Quadros ilustrativos dos sistemas SNV e PNCT.....	86
Figura 27 - Imagem ilustrativa do sistema de videoteca DNIT com valores de IRI e IGG.....	87
Figura 28 - Ilustração de umas das etapas de classificação dos critérios ( $C_j$ ).....	94
Figura 29 - Diagrama de Hasse de ordenação das alternativas ( $A_i$ ).....	96
Figura 30 - Gráfico de subespaço de pesos ( $w_i$ ) delimitados.....	99

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Relação entre Fonte de incertezas e suas origens.....	24
Tabela 2 -	Relação dos problemas a serem resolvidos.....	80
Tabela 3 -	Relação dos critérios utilizados no modelo.....	82
Tabela 4 -	Códigos de referências à Irregularidade da superfície.....	87
Tabela 5 -	Conceitos de Degradação do pavimento em função do IGG.....	88
Tabela 6 -	Relação de projetos selecionados dos programas de manutenção das rodovias existentes.....	90
Tabela 7 -	Relação dos critérios e seu comportamento.....	92
Tabela 8 -	Matriz consequência para os projetos em andamento em rodovias federais de Alagoas.....	93
Tabela 9 -	Matriz consequência.....	95
Tabela 10 -	Projetos Classificados no problema de Portfólio.....	97
Tabela 11 -	Faixa de valores das constantes de escala ( $w_i$ ) dos critérios analisados.....	99
Tabela 12 -	Percentuais de desvio de cada alternativa de suas posições originais.....	100
Tabela 13 -	Porcentagem de vezes que cada alternativa ocupou determinada posição na ordenação.....	101

## LISTA DE SIGLAS

AHP	Analytic Hierachy Process.
AMD	Apoio Multicritério à Decisão.
APOs	Ativos de Processos Organizacionais.
BGS	Brita Graduada Simples.
CBUQ	Cimento Betuminoso Usinado à Quente.
CNI	Confederação Nacional da Indústria.
CNT	Confederação Nacional dos Transportes.
CREMA	Contratos de Restauração e Manutenção Rodoviária.
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura dos Transportes.
ECV	Commercial Expected Value.
EGP	Escritório de Gerenciamento de Projetos.
ELECTRE	Elimination et Choix Traduisant la Réalité.
FAEs	Fatores Ambientais da Empresa.
FITradeoff	Flexible and Interactive Tradeoff.
FMI	Fundo Monetário Internacional.
HDM	Highway Development and Management.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
ICM	Índice de Conservação da Malha.
IRI	Índice de Irregularidade Internacional.
LOA	Lei Orçamentária Anual.
LPP	Linear Programming Problem.
MACBETH	Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique.
MCDA	Multiple Criteria Desition Analysis.
MUSA	Multicriteria Satisfation Analisys.
MAVT	Teoria do Valor Multiatributo.
P.A.T.O	Programa Anual de Trabalho e Orçamento.
PDA	Portfolio Decision Analysis
PI	Productivity Index.
PNCT	Plano Nacional de Contagem de Tráfego.
PLMO	Programação Linear com Múltiplos Objetivos.
PMBOK	Project Management Body of Knowledge.

PMI	Project Management Institute.
PMO	Project Management Office.
PPM	Project Portfolio Management.
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation.
RPM	Robust Portfolio Modeling.
SICRO	Sistema de Custos Rodoviários.
SMAA	Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis.
SMARTS	Simple Multi-Attribute Rating Technique.
SNV	Sistema Nacional de Viação.
VMDa	Volume Médio Diário anual.
U.L.	Unidade Local.
VPL	Valor Presente Líquido.
VSA	Valor da Serventia Atual.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1	RELEVÂNCIA E CONTRIBUIÇÃO DO ESTUDO.....	18
1.2	OBJETIVOS .....	20
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>20</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>20</b>
1.3	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA .....	20
1.4	ESTRUTURA DE TRABALHO.....	21
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO E REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>21</b>
2.1	GESTÃO DE PROJETOS .....	21
<b>2.1.1</b>	<b>Influências Organizacionais sobre projetos .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Gestão de Projetos no setor Público.....</b>	<b>28</b>
2.2	GESTÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS.....	31
<b>2.2.1</b>	<b>Alocação de recursos a Projetos em andamento .....</b>	<b>39</b>
2.3	DECISÃO MULTICRITÉRIO .....	41
<b>2.3.1</b>	<b>Classificação de métodos MCDA .....</b>	<b>48</b>
2.3.1.1	Métodos Multicritério para Portfólio .....	56
<b>2.3.2</b>	<b>Método De Elicitação Flexível e Interativa – FITradeoff .....</b>	<b>59</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>74</b>
3.1	ETAPAS DO MODELO .....	79
<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO .....</b>	<b>90</b>
4.1	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	98
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>104</b>
5.1	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	105
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>107</b>



# 1 INTRODUÇÃO

Projetos de infraestrutura de transportes podem afetar direta ou indiretamente a economia de um país (MAIA,2015) e, portanto, parcelas do orçamento anual de qualquer país são planejadas com base nesses projetos. A limitação de recursos encontrada em grande parte dos órgãos públicos eleva a necessidade contínua e crescente de melhoria dos resultados obtidos nos projetos desenvolvidos. (FERNANDES, 2019). No Brasil existe uma tensão recorrente entre as demandas sociais, as demandas econômicas e a restrição orçamentária que os governos têm enfrentado, fazendo com que os ministérios precisem planejar e controlar detalhadamente os projetos de infraestrutura para evitar prejuízos financeiros extremos aos cofres públicos, como agendamento inadequado de projetos. Segundo levantamentos do Banco Mundial, a não aplicação de recursos na época devida para a execução dos serviços de infraestrutura, acarreta grandes prejuízos, ocasionando um substancial acréscimo nos custos inicialmente previstos, o que poderia ter sido evitado mediante intervenções tempestivas. Os custos para estes serviços, chegam a passar de 12 bilhões de dólares para 90 bilhões de dólares (BRASIL,2011).

No Brasil, semelhante a outros projetos, os projetos de infraestrutura de transportes precisam de recursos para serem concluídos. Conforme a Confederação Nacional de Transportes (CNT), o investimento médio anual em rodovias federais no quinquênio 2016-2020 foi de aproximadamente R\$ 8,17 bilhões ao ano, valor 36,9% menor que o verificado no quinquênio imediatamente anterior (2011-2015), de R\$ 12,94 bilhões ao ano, a evidência da tendência de queda dos investimentos públicos em rodovias praticamente contínua na última década, sendo o montante de 2020 pouco mais de um terço do verificado há dez anos, em 2011. Os investimentos nessa área, tanto os privados quanto os públicos federais, estão caindo ano após ano. No caso dos investimentos públicos, o motivo é conhecido: escassez de recursos e falta de espaço orçamentário (CNT, 2023). Portanto, é vital programar os projetos de infraestrutura em termos de recursos de restrição e investigar seu impacto no dia de conclusão do projeto e no retorno econômico e social do projeto.

A política pública de infraestrutura de transportes desenvolve um papel central na capacidade econômica, logística, de integração do Estado e de bem-estar da sociedade. Nesse sentido, faz-se cada vez mais necessário que a Administração Pública seja mais eficiente, eficaz e efetiva, haja vista o crescimento e a complexidade das demandas, ao mesmo tempo em que há escassez de recursos (DNIT, 2021).

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), foi criado pela Lei 10.233 em 2001, como órgão gestor e executor da infraestrutura de transportes terrestres e aquaviário, integrantes do Sistema Nacional de Viação. Dentre às diversas competências, destacamos a principal que é a implementação administrativa no sistema federal de viação, compreendendo a operação, a manutenção, a restauração, a adequação de capacidade e a ampliação mediante a construção de novas vias e terminais no modais rodoviários, desta forma possui a missão implementar a política de infraestrutura de transportes terrestres e aquaviários, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do país.

O DNIT é administrado por um diretor geral e seis diretores setoriais: Executiva, de Administração e Finanças, de Planejamento e Pesquisa, de Infraestrutura Rodoviária, de Infraestrutura Ferroviária e de Infraestrutura aquaviária. Cada diretoria é subdividida em coordenações no qual possuem competências estabelecidas pelo seu regimento interno.

Na Coordenação Geral de Manutenção de Restauração Rodoviária, subordinada a Diretoria de Infraestrutura Rodoviária, compete coordenar a execução das atividades e programas de restauração, revitalização, manutenção, eliminação de pontos críticos, recuperação de estruturas e contenções e sinalização de tráfego de rodovias federais

A Coordenação de Modernização e Gestão Estratégica, subordinada a Diretoria executiva compete coordenar o planejamento estratégico e a estrutura organizacional do órgão, além de implantar e coordenar rotinas de governança, interna e externa, que melhorem a comunicação e o levantamento das informações das Diretorias e dos órgãos descentralizados. Neste contexto, um dos eixos de governança do DNIT é a Gestão Estratégica, que visa estabelecimento de diretrizes, objetivos, planos de ações, além de critérios de priorização e alinhamento entre as partes interessadas, de modo que o produto entregue alcance resultados satisfatórios.

A viabilidade em termos de disponibilidade de recursos e de análise de custo-benefício e o alinhamento com as estratégias nacionais, associado às decisões baseadas em indicadores e evidências para promover a melhoria da qualidade do gasto público são fatores considerados no planejamento estratégico. A gestão do orçamento público do DNIT é um fator essencial para alcance de resultados previstos e para o necessário direcionamento de ações, desta forma a elaboração anual da proposta orçamentária, prioriza a alocação de recursos em projetos em andamento, em detrimento dos novos.

Dye e Pennypacker (2000), abordam que gestão de múltiplos projetos é uma tarefa complexa, tendo em vista a inter-relação de grande variedade de tipos de projetos, com características muito diferentes: pequenos e grandes, técnicos e não técnicos, estratégicos e operacionais, o que aumenta consideravelmente o risco de insucesso. Neste caso, os executivos

não conseguem acompanhar de perto todos os projetos e precisam delegar a gestão dos projetos para os níveis inferiores, o que demanda atenção dos gerentes, quanto aos recursos disponíveis, quanto ao uso de ferramentas apropriadas de controle de projetos.

A crise fiscal enfrentada pelo Brasil nos últimos anos diminuiu de maneira significativa a disponibilidade de recursos orçamentários da União para investimentos em infraestrutura de transportes no país. Somada a essa crise, os gastos necessários para combater os efeitos danosos da pandemia de Covid-19 dificultaram ainda mais a situação fiscal do país, assim como as incertezas em várias dimensões e problemas que buscam conciliar múltiplos critérios para alcançar os melhores resultados possíveis são questões comumente relacionadas à problemas de seleção de um portfólio de projetos.

## 1.1 RELEVÂNCIA E CONTRIBUIÇÃO DO ESTUDO

O transporte fornece os meios para viagens de negócios, exploração ou realização pessoal e é uma condição necessária para as atividades humanas, como comércio, recreação e defesa. A qualidade do transporte afeta a capacidade de a sociedade utilizar seus recursos naturais de mão de obra e/ou materiais, também influencia a posição competitiva em relação a outras regiões ou nações (HOEL, 2011). Um bom sistema de transporte oferece muitos benefícios à sociedade, além de seu papel no desenvolvimento econômico, contribuem para a qualidade de vida, a expansão de oportunidades no exercício do direito de ir e vir para todos os brasileiros.

Em decorrência do bom sistema de transportes, os cuidados com a saúde melhoraram drasticamente, também contribuem com o declínio da fome e a miséria, outros benefícios para a sociedade abrangem a extensão da expectativa de vida, melhoria de oportunidade para a educação e o aumento da renda e dos padrões de vida etc. Os benefícios de oferecer à sociedade melhores condições de transporte, quer sejam justificados com base no desenvolvimento econômico ou na mobilidade, não são obtidos sem um preço (HOEL, 2011).

Segundo dados do relatório da Confederação Nacional da Indústria - CNI, elaborado em 2021, nas últimas duas décadas, os investimentos públicos e privados em transportes no país em todos os modais, inclusive mobilidade urbana, foram da ordem de 0,6% do PIB, em média, e estimou-se uma contração para 0,4% do PIB em 2021 (CNI, 2021).

MATOS (2020) destaca que o bom desempenho das atividades econômicas e sociais de um país está diretamente relacionado ao bom dimensionamento e ao estado de conservação das infraestruturas de transporte. O meio rodoviário, em particular, caracteriza-se pela sua capilaridade, flexibilidade e capacidade de integração com os demais sistemas de transporte.

As obras de manutenção rodoviárias, além de serem responsáveis por garantir o escoamento produtivo do país e mobilidade populacional, são relevantes para garantir a segurança, conforto e fluidez do transporte brasileiro. De acordo com o Ministério de Infraestrutura, a extensão total da malha rodoviária federal, é de 75.553 mil km, dos quais 65.528 mil km (87%) correspondem às rodovias pavimentadas e 10.025 mil km (13%) correspondem às rodovias não pavimentadas. Entre 2010 e 2020, o Ministério de Infraestrutura investiu recursos na ordem de 67 bilhões e 700 milhões de reais em obras de manutenção (CNI 2021).

Conforme SALOMÃO et. al (2019), os serviços de manutenção nas rodovias federais brasileiras têm um papel importante nas diversas atividades relacionadas aos diversos setores produtivos no País. Portanto, as rodovias federais têm uma função essencial no transporte de 95 % das pessoas e de 65% da produção nacional (CNT, 2021). Avaliar a condição dessas estruturas essenciais à economia se faz necessário, pois uma rodovia em má condição pode acarretar perdas na economia e de vidas humanas. O fato de o orçamento para o modal rodoviário estar diminuindo (CNI, 2021), amplia a importância dos levantamentos de critérios relacionados ao estado de conservação das rodovias federais, de modo a poder melhor alocar os recursos destinados em manutenção nos projetos de maior prioridade, portanto, garantir uma distribuição de recursos condizentes com critérios estruturados na realidade.

Desta forma, a otimização em alocação de recursos pode ser realizada ao identificar primeiro os projetos prioritários de manutenção e, então, estabelecer uma política para melhorar o nível de planejamento e investimentos nas estradas, priorizando os projetos com maiores índices relativos à funcionalidade, conforto e segurança. Para definir os projetos mais prioritários, percebeu-se que diversos fatores influenciam o estado de conservação da rodovia e níveis de segurança, o que faz com que o problema a ser caracterizado como um problema multicritério. A finalidade é maximizar os benefícios ou minimizar os custos sob restrições orçamentárias (DNIT, 2011).

Levando em consideração o que foi exposto, assim como diversos fatores relacionados ao aumento da demanda de projetos, limitações de recursos decorrente da atual crise financeira, a necessidade de conservação da qualidade rodoviária e a necessidade de avaliação estruturada, torna-se extremamente relevante o estudo proposto.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é propor um modelo multicritério de priorização por ordenação de projetos em andamento, a fim de otimizar a alocação de recursos de modo a possibilitar uma melhor tomada de decisão e contribuindo para uma melhoria no sistema de gerenciamento de pavimentos, através de um estudo de caso.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Compreender os processos de alocação de recursos nos programas de manutenção existente no Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes;
- Revisar as principais metodologias utilizadas na priorização de projetos;
- Identificar critérios relevantes que caracterizam consequências fundamentais no sistema de gerenciamento de pavimentos;
- Estruturar e aplicar o modelo FITradeoff para ordenação de projetos de manutenção em andamento;
- Identificar os projetos em andamento que devem ser priorizados com a alocação de recursos a partir da aplicação do modelo proposto.

## 1.3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Muitas organizações ainda não dispõem ou não utilizam processos de priorização na alocação de recursos em projetos de manutenção, e quando fazem ocorre por meio de conhecimentos subjetivo. Portanto, as priorizações são realizadas de forma não estruturada e apenas com base nas experiências dos envolvidos no contexto (Vieira, 2022).

O Sistema de Gerência de Pavimentos do DNIT já utilizou dos métodos de priorização baseados em indicadores físicos, como volume de tráfego, ou análise de investimento, sob ponto de vista econômico ou análise de restrições orçamentárias. Em 1985, após a realização dos primeiros levantamentos de campo em toda a rede federal pavimentada, foram estabelecidas as prioridades de investimentos em manutenção, utilizando-se o Índice de Suficiência, critério baseado em indicadores físicos, ponderados pelo volume de tráfego.

A partir de 2000, vem sendo desenvolvido o Modelo HDM-4, que avalia segmentos rodoviários, obtendo uma solução ótima sem análise do orçamento disponível.

No entanto, regionalmente nas superintendências regionais, as prioridades de alocação de recursos são realizados de forma intuitiva e/ou subjetiva. Para programas de manutenção em andamento, como o Programa Anual de Trabalho e Orçamento (P.A.T.O), que possui modalidade de contratação contínua, essa otimização precisa ser mais dinâmica e estruturada.

Portanto, foi realizado um estudo de caso em cinco programas de manutenção nas rodovias federais de Alagoas, nos quais foram escolhidos 20 projetos em andamento e definidos critérios que representam características na qualidade, conforto e segurança, além de considerar o orçamento previsto, aplicando o modelo multicritério de elicitação flexível e interativa como apoio a ordenação dos projetos.

#### 1.4 ESTRUTURA DE TRABALHO

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos, distribuídos da seguinte maneira:

O primeiro capítulo contém a introdução, a relevância e contribuição do estudo, os objetivos gerais e específicos.

No segundo capítulo apresenta a fundamentação e revisão da literatura. São abordados os conceitos e aspectos relacionados a gestão de projetos, a gestão de projetos no setor público, a gestão de portfólio de projetos, alocação de recursos a projetos em andamento, decisão multicritério, classificação dos métodos MCDA (*Multiple Criteria Desition Analysis*), métodos multicritério para portfólio e o modelo de elicitação flexível e interativo – FITradeoff.

O terceiro capítulo aborda a estruturação do modelo e suas etapas. No quarto capítulo é apresentada a aplicação do modelo proposto por este trabalho e bem como os resultados obtidos com a aplicação. O quinto capítulo por fim apresenta as conclusões obtidas a partir dos resultados e as considerações para futuros trabalhos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO E REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 GESTÃO DE PROJETOS

No segmento da engenharia civil, o termo *projeto* geralmente vem associado ao plano geral de uma edificação ou qualquer outro empreendimento construtivo, compreendendo o

conjunto de plantas, cortes, cotas que fazem parte integrantes dos projetos arquitetônicos, estruturais, elétrico e hidráulico. Contudo, o termo *projeto* em sua acepção gerencial: “um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo” (Mattos, 2020).

O Guia *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) traz o conceito de projeto como um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado único, cujo objetivo é caracterizado por ser único, envolvendo um único indivíduo ou um grupo, ou até mesmo uma organização ou múltiplas unidades organizacionais.

Torres (2014) aborda que a Gestão de Projetos requer um conjunto de competências técnicas e não técnicas que objetivam conduzir o projeto do conceito até sua entrega final com excelência. Conhecimento, habilidade e atitude são competências essenciais no gerenciamento de projetos capazes de influenciar seus resultados.

Conforme o guia PMBOK (2017), gerenciamento de projetos é a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de atender aos seus requisitos. O gerenciamento de projetos é realizado através da aplicação e integração apropriadas dos processos de gerenciamento de projetos identificados para o projeto.

Além disso, a gestão de projetos vem se tornando a alternativa para solução interna da maioria dos problemas corporativos no qual envolve melhor controle e utilização de recursos existentes. Com isso a gerência de projetos vem substituindo as estruturas tradicionais que são burocráticas que não acompanham as mudanças tecnológicas que o mercado atual vem sofrendo (Kerzner, 2021).

Um conceito de Gestão de Projetos que Kerzner (2021) apresenta com fulcro na linha hierárquica da organização, de modo que o gerenciamento de projetos é o planejamento, a organização, a direção e o controle dos recursos da empresa para um objetivo de relativo curto prazo, que foi estabelecido para concluir metas e objetivos específicos, com uma abordagem sistêmica por meio de alocação de pessoal funcional (hierarquia vertical) para um projeto específico (hierarquia horizontal).

A Figura 1 ilustra uma visão geral do gerenciamento de projetos, no qual tem a finalidade de controlar recursos para uma dada atividade, de acordo com um prazo determinado, a partir de um custo e com um desempenho esperado. Desta forma, prazo, custo e desempenho esperado são restrições, assim como o bom relacionamento com cliente quando um projeto for para um cliente externo.

Figura 1 - Visão Geral de Gerenciamento de Projetos



Fonte: Kerzner (2021).

A natureza de um projeto pode exigir o uso de ciclos de retroalimentações periódicas para análise adicional. À medida que mais informações ou características do projeto são coletadas e entendidas, pode ser necessário um planejamento adicional. Mudanças significativas ocorridas ao longo do ciclo de vida do projeto podem acionar uma necessidade de revisar um ou mais processos de planejamento. A elaboração progressiva traz o benefício deste refinamento constante no qual indica que o planejamento e a documentação são atividades interativas ou contínuas (Guia PMBOK, 2017).

O Guia PMBOK (2017) afirma que o ciclo de vida do projeto precisa ser flexível o suficiente para lidar com a variedade de fatores incluídos no projeto. Em ambientes de alto grau de incertezas e de mudanças ou até mesmo com ampla variação da interpretação, a capacidade de evolução e adaptação são mais significativas.

Ainda, PMBOK (2017) descreve o risco como evento incerto, no qual fornece motivos para alguns estudiosos, como Green (2001) e Jaafari (2001), argumentarem que a gestão de risco deve ser referida como gestão de incertezas em projetos, porém risco e incertezas são conceitos distintos. Os riscos são qualificados em termos de probabilidade e impacto de suas consequências, já as incertezas não.

Para Nascimento (2003), a incerteza contribui com o risco do projeto. Total incerteza indica falta total de informações. De modo geral, os projetos não contam com todas as informações para planejar e executar o trabalho. Quando não há suficientes informações para a tomada de decisão ou o planejamento do projeto, as premissas preenchem este vazio.



Ainda para Nascimento (2003), a incerteza quanto ao projeto é identificada em várias áreas dentro de uma organização, sendo algumas delas as que se seguem:

- Estado da arte da tecnologia usada;
- Capacidade organizacional para desenvolver processos de gerenciamento de projetos replicáveis;
- Disponibilidade de perfis de gerenciamento de projetos e técnicos;
- Disponibilidade de equipamentos para o projeto;
- Interfaces externas do projeto;
- Fornecedores externos do projeto;
- Impasses técnicos;
- Resultados dos testes dos produtos do projeto.

Para Marinho e Moura (2017), a incerteza em um projeto é o fenômeno decorrente das limitações em perceber sinais que possam interferir no sucesso de um projeto. Sendo assim, é um fenômeno para o qual não se pode obter uma probabilidade de ocorrência, ainda que subjetiva.

Identificar as fontes de incertezas, é dentre outras, estratégia necessária para gerenciamento de incertezas no contexto de projetos. Realizar de forma contínua uma sondagem das fontes de incertezas, que podem ser: tecnológica, ambiente, mercado, socio-humana (Marinho e Moura, 2017). A Tabela 1 apresenta um resumo das origens das principais fontes de incertezas.

Tabela 1 - Relação entre Fonte de incertezas e suas origens

<b>Fonte de incerteza</b>	<b>Origem</b>
<b>Ambiente</b>	Externo ou interno ao projeto – fatores políticos, burocráticos, interesse pessoal, jogo de poder.
<b>Tecnológica</b>	Em função da extensão – uma tecnologia nova ou madura.
<b>Mercado</b>	Relacionadas aos usuários, comportamento dos clientes, da economia.
<b>Socio-humana</b>	Considera as relações entre as pessoas de uma organização.

Fonte: Adaptado de Marinho e Moura (2017)

O uso de um processo de gerenciamento de incertezas no contexto do gerenciamento de projetos pode ser um fator determinante para o sucesso de diversos projetos. Estratégias podem

apoiar os profissionais e pesquisadores na identificação de desafios relevantes e definição de soluções para o gerenciamento de projetos.

### **2.1.1 Influências Organizacionais sobre projetos**

Os projetos existem e operam em ambientes que podem ter influência sobre eles. Essas influências podem ter um impacto favorável ou desfavorável sobre o projeto. O guia PMBOK (2017) apresenta duas importantes categorias de influência sobre os projetos:

- i. Os fatores ambientais da empresa (FAEs) e
- ii. Os ativos de processos organizacionais (APOs).

Quanto aos FAEs, referem-se a situações fora do controle da equipe de projeto, eles podem ter origens externa ao projeto e muitas vezes externo a organização.

Esses fatores ambientais da empresa (FAEs) podem aumentar ou restringir as opções de gerenciamento de projetos, uma vez que sua influência pode ser positiva ou negativa sobre o resultado. Entre os fatores internos à organização pode-se destacar os relacionados a cultura e estrutura da organização, a distribuição geográfica de instalações e recursos, a sua infraestrutura de comunicação, suas ferramentas de tecnologia de informação, seus recursos para aquisição e contratação, sua capacidade de habilidades e competências. Já os fatores externos são as condições de mercado (concorrência), as questões sociais e culturais, as leis e regulamentos regionais e nacional, pesquisas sobre o setor, as variações de taxas financeiras etc.

Conforme Kerzner (2021), algumas culturas são fortes, enquanto outras são fracas. Em alguns países emergentes, existem culturas nacionais que ditam as culturas corporativas. Existem inúmeros fatores que podem influenciar a cultura organizacional que podem ter impactos na implementação e aceitação de gerenciamento de projetos, entre eles destacam-se: Centralização burocrática do poder; Falta de patrocínio executivo real; Hierarquia organizacional; Leis impróprias e o potencial a corrupção.

No tocante a centralização burocrática do poder, Kerzner (2021) afirma que ainda está presente em muitos países emergentes, assim tanto as instituições privadas ou governamentais, ainda se encontram numa cultura em que poucas pessoas têm a autoridade para tomar decisões. A tomada de decisão está nas mãos de poucos, e serve como fonte de grande poder. Em muitos países, o nível mais alto de hierarquia de gerenciamento nunca vai ceder sua autoridade, poder ou direito de tomar decisões para os gerentes de projeto. Nesses países, uma nomeação para os níveis superiores de gestão não é necessariamente baseada em desempenho. Em vez disso, é com baseado na idade, ou em pertencer ao partido político correto, ou em ter contatos pessoais

dentro do governo. O resultado pode ser executivos que possuem pouco conhecimento de seu próprio negócio e, possivelmente, sem capacidade de liderança (KERZNER, 2021).

A corrupção existe, e causa estragos para gerentes de projeto que se concentram em restrições competitivas. Os gerentes de projeto tradicionalmente estabelecem um plano para cumprir os objetivos e as restrições competitivas. Também presumem que tudo será feito sistematicamente e de forma ordenada, sem considerar a corrupção. No entanto, há indivíduos ou organizações potencialmente corruptas, que vão fazer todo o possível para parar ou desacelerar o projeto, até que eles possam ser beneficiados pessoalmente (KERZNER, 2021).

Os ativos de processos organizacionais (APOs) são internos a organização, influenciando os projetos através de seus planos, processos, política, procedimentos e base de conhecimento específico utilizado, incluindo as lições aprendidas de projetos anteriores e informações históricas. Segundo o guia PMBOK (2017), esses ativos são subdivididos em primeira categoria e segunda categoria.

Os ativos de primeira categoria estão relacionados ao processo, política e procedimentos a quais são geralmente estabelecidos pelo escritório de gerenciamento de projetos (EGP), comumente conhecido por PMO. Desta forma a equipe é incentivada a realizar adaptações em modelos, ciclos de vida e listas de verificações de modo a atender às necessidades do projeto.

Os ativos de segunda categoria, em detrimento ao de primeira categoria, podem ser atualizados ao longo do projeto com informações sobre ele; Informações sobre desempenho financeiro, lições aprendidas, problemas e indicadores de desempenho e defeitos podem ser atualizados continuamente.

Além de FAEs e APOs, os sistemas organizacionais desempenham um papel significativo no ciclo de vida do projeto. A interação de vários fatores em uma organização individual cria um sistema único que afeta o projeto sendo operado nesse sistema. O sistema organizacional resultante determina o poder, influência, interesses, competências e capacidades políticas das pessoas capazes de agir no sistema (PMBOK, 2017).

Conforme Larson (2016), um bom sistema equilibra corretamente as necessidades da empresa e do projeto, ao definir a interface entre eles em termos de autoridade, alocação de recursos e eventual integração de resultados do projeto nas operações rotineiras.

As organizações podem ser definidas como grupos de pessoas que devem coordenar suas atividades para alcançar objetivos organizacionais. A função de coordenação exige forte comunicação e um claro entendimento dos relacionamentos e interdependências entre as pessoas. As estruturas organizacionais são ditadas por fatores como tecnologia e seu ritmo de mudança, complexidade, disponibilidade de recursos, produtos e/ou serviços, competitividade

e necessidades na tomada de decisões. Não existe uma estrutura organizacional boa ou ruim; existem apenas estruturas adequadas e inadequadas (KERZNER, 2021).

Em uma organização típica, o *Project Management Office* (PMO) ou Escritório de Gestão de Projetos (EGP) auxilia na coordenação do gerenciamento de vários projetos. Isso inclui a criação de processos padronizados, *coaching e mentoring*, fornecimento de conhecimento de gerenciamento de projetos. A responsabilidade de consultoria do PMO é fornecer suporte tanto para o gerenciamento de projetos quanto para as atividades de gerenciamento de portfólio da organização, podendo aumentar a eficácia do gerenciamento (PATANAKUL, 2022).

Conforme PMBOK (2017) O EGP integra dados e informações de projetos estratégicos organizacionais e avalia como os objetivos estratégicos de nível mais alto estão sendo alcançados. O EGP é a ligação natural entre os portfólios, programas e projetos e os sistemas de medição da organização.

A maioria dos projetos envolvem grande número de participantes que possuem diversos interesses, conhecidos como *stakeholders*. De acordo com as especificidades do projeto, os *stakeholders* possuem diversidades quanto a profissão, cultura, educação, gênero etc. Conflitos no processo de entrega do projeto e prejuízos na implementação dos projetos, podem ser oriundos de um gerenciamento malconduzido pelas partes interessadas. Conforme Al-adawiyah (2020), os *stakeholders* são capazes de obterem apoio da lei para desenvolvimento dos projetos bem como contribuir para equilibrar as necessidades e interesses de várias partes interessadas no processo de tomada de decisão de um projeto.

Segundo o Guia PMBOK um projeto pode ser gerenciado em três cenários distintos: como projeto autônomo, dentro de um programa ou dentro de um portfólio. Os programas não são projetos de grande porte, mas diversos projetos podem ser efetivamente gerenciados através de um portfólio. O gerenciamento de programas e portfólios difere do gerenciamento de projetos em termos de ciclos de vida, atividades, objetivos, foco e benefícios. No entanto, portfólios, programas, projetos e operações muitas vezes envolvem-se com as mesmas partes interessadas e podem necessitar dos mesmos recursos, o que pode resultar em conflito na organização (PMBOK, 2017).

Podemos compreender que programa é um conjunto de projetos inter-relacionados ou não, que gerenciados, controlados e monitorados, haverão de gerar benefícios que não estariam disponíveis ou alcançáveis se gerenciados individualmente. Portanto, os programas diferem dos projetos no que tange à forma de gerenciamento, estratégia, conceito e modelo organizacional (TORRES, 2014).

Ainda conforme o PMBOK (2017), os componentes do portfólio são agrupados para facilitar a eficácia da governança e do gerenciamento do trabalho que ajuda a concretizar as estratégias e prioridades organizacionais. Kerzner (2021), destaca que o gerenciamento de portfólio envolve a consideração dos custos agregados, riscos e retornos de todos os projetos dentro do portfólio, bem como as diversas compensações entre eles. Naturalmente, o gerente de portfólio também está preocupado com a “saúde” e o bem-estar de cada projeto que está incluído dentro do portfólio. Em síntese, as decisões de portfólio, como quando financiar um novo projeto ou continuar financiando um projeto em curso, são baseadas em informações fornecidas em nível de projeto.

### **2.1.2 Gestão de Projetos no setor Público**

No trabalho de Kreutz (2018), aborda que a gestão de projetos na administração pública se diferencia das empresas privadas por possuir características próprias, o que faz com que seja necessário a adoção de práticas diferenciadas para a gestão de projetos, sendo a principal especificidades do setor público é a necessidade de satisfazer múltiplos e imprevisíveis *stakeholders*. Embora os do setor privado possam ser mais difíceis, em muitos casos, é mais fácil alcançar resultados no setor privado do que no setor público. De acordo com Kerzner (2021), alguns motivos podem trazer mais dificuldades nos projetos do setor público em relação a muitos projetos do setor privado, dentre eles, se destaca:

- Operam em um ambiente de metas e resultados frequentemente conflitantes;
- Envolvem muitas camadas de partes interessadas do projeto com interesses variados;
- Devem apaziguar interesses políticos;
- Atuam em organizações que, muitas vezes, têm dificuldades em identificar resultados, medidas e missões;
- Exige-se que sejam realizados sob restrições impostas por regras administrativas e políticas muitas vezes pesadas, e processos que podem atrasar e consumir recursos do projeto;
- Requerem a cooperação e atuação de entidades ou setores que não fazem parte do time do projeto para compras, contratações e outras funções
- Devem se contentar com os recursos humanos existentes com mais frequência do que nos projetos do setor privado por causa de proteções ao trabalho civil e sistemas de contratação
- São realizados em organizações que podem não estar confortáveis ou acostumadas a ações dirigidas e ao sucesso do projeto
- São realizados em ambientes que podem incluir adversários políticos.

Como se esses desafios não fossem difíceis o suficiente, em razão de sua capacidade para empurrar o ônus de pagar por projetos para as gerações futuras, os projetos do setor público têm um impacto profundo no futuro. Isso introduz o desafio de atender às necessidades de partes interessadas que ainda não estão “à mesa” e cujos interesses podem ser de difícil identificação. Ainda Kreutz (2018) aborda a relativa falta de maturidade de gerenciamento de projetos em organizações públicas como um desafio para o setor público, pelo fato de ser necessário uma preparação maior dos gestores públicos na implementação da gestão de projetos como uma ferramenta mais eficiente para melhoria da gestão pública.

Vargas (2002) destaca que o interesse pelo gerenciamento de projetos no setor público merece atenção especial. Vários governos e órgãos governamentais brasileiros já estão fazendo suas experiências com escritórios de projetos, em variados graus de maturidade, e o próprio PMBOK já há alguns anos tem a sua “*Government Extension*<sup>1</sup>” voltada aos desafios específicos dessa área, ou seja, completar os projetos corretamente, no prazo e dentro do orçamento.

Kreutz (2018) aponta que na administração pública o cenário é bastante similar em relação as dificuldades apresentadas nas privadas, as organizações públicas têm apresentado resultados negativos em seus mais variados tipos de projetos. São os conhecidos atrasos das obras e estouro dos prazos planejados, orçamentos que necessitam de suplementação e redefinições constantes do escopo dos projetos, além problemas com a prestação de contas (CARVALHO E PISCOPO, 2014; SEGALA, 2015). Ao mesmo tempo, evidências indicam a falta de maturidade na gestão de projetos em instituições públicas.

No entanto, independentemente da dificuldade de adaptação para o contexto público, observa-se a existência de um processo de consolidação da importância da gestão de projetos dentro das instituições públicas, na mesma medida em que vêm à tona os constantes aumentos de custos, os atrasos em obras de infraestrutura, e o aumento dos casos de corrupção envolvendo o setor público, cresce a pressão para que o aprimoramento da gestão pública e, conseqüentemente, abre-se espaço para a implantação de novas metodologias como a gestão de projetos (KREUTZ, 2018).

Gonçalves e Dias (2012), complementam destacando como fator importante, a preocupação do setor público quanto a importação de mecanismos de gestão de projetos, que eram originalmente usados no setor privado, uma vez que estas têm suas atividades voltadas

---

<sup>1</sup> Government Extension: documento lançado no ano de 2002 pelo PMI, que acrescenta ao PMBOK, informações pertinentes sobre práticas e conhecimentos aceitos para o gerenciamento de projetos no setor público.

especificamente para o alcance de resultados financeiros, já o Estado tem suas atividades voltadas exclusivamente para atender aos interesses da sociedade.

Para Valle et al. (2010), o grande desafio do setor público é conseguir mecanismos adequados para viabilizar um diálogo eficaz entre os objetivos e as ferramentas de gestão de projetos utilizadas pelo setor para o atingimento dos seus propósitos. Diante da crescente pressão popular e insatisfação da sociedade com as instituições públicas, faz-se necessário que haja uma busca por um incremento na eficiência da gestão, tendo o cidadão como principal beneficiário. Outro fator que tem influência sobre o aumento do interesse e importância da gestão de projetos no setor público é a elevação das exigências de controle e avaliações dos gastos públicos que vem ocorrendo em diversos países (CRAWFORD; HELM, 2009).

Em complemento Wirick (2009), destaca que a gestão das partes interessadas de um projeto público é um dos fatores de diferenciação mais presentes na literatura. Os projetos nesse setor têm a necessidade de considerar outros projetos e programas do governo e por isso acabam tendo mais *stakeholders*, dentro o seu modelo de gestão, que as instituições privadas. O conhecimento das partes interessadas e quais os resultados esperados pelos mesmos podem ser considerados um fator decisivo para o atingimento desempenhos satisfatórios nas organizações.

Pisa e Oliveira (2013), ressalta as diferenças substanciais entre os projetos executados na área pública em relação aos que ocorrem nas organizações privadas no Brasil, devido ao envolvimento de inúmeros órgãos no setor público, desde os responsáveis pelo planejamento e autorização, passando pelos encarregados da execução dos projetos, finalizando com os órgãos de controle. Ainda na visão de Pisa e Oliveira (2013), é necessário ser considerado alguns aspectos fundamentais na gestão de projetos nas organizações públicas brasileiras:

- (1) o aspecto social dos projetos governamentais;
- (2) a obrigatoriedade da previsão dos recursos para execução do projeto em lei, mais especificamente na Lei Orçamentária Anual (LOA);
- (3) a obediência à Lei 8.666/93, que regula a contratação através de diversas modalidades, contemplando, de modo geral, o menor preço;
- (4) o excesso de normatizações, que provocam demoras na execução dos projetos;
- (5) a existências de diferentes órgãos de controle nas diversas esferas de governo;
- (6) a exigência de prestação de contas à sociedade em virtude dos princípios da transparência e “*accountability*”<sup>2</sup> na governança pública.

---

<sup>2</sup> Accountability: um conjunto de práticas utilizadas pelos gestores para prestar contas e se responsabilizar pelas suas ações.

No que se refere à questão dos aspectos financeiros de um projeto no setor público, Kreutz (2018), apresenta esta especificidade que torna o gerenciamento de projetos mais complexo. Na administração pública são muitos os projetos que necessitam de financiamentos feitos por organismos internacionais e multilaterais. Logo, projetos com financiamento desse tipo apresentam características diferentes daqueles encontrados no setor privado, pois no mesmo, a instituição se limita somente a conceder o crédito e cobrar o seu recebimento. Por outro lado, uma vez que essas organizações são as financiadoras de projetos públicos tem total interesse no processo de elaboração e execução podendo exercer influência direta sobre a maneira como os projetos são desenhados, monitorados e coordenados. Neste sentido, corroborando com estes argumentos, Ika (2015), traz indícios sobre a influência dessas organizações internacionais financiadoras de projetos públicos. Para tanto, realizou uma análise em mais de 178 projetos públicos financiados pelo Banco Mundial onde identificou que esse tipo de relação tem influência direta no sucesso da gestão do projeto, uma vez que os financiadores tem total interesse no processo de elaboração e execução dos projetos, podendo induzir de sobremaneira como os projetos são desenhados, monitorados e coordenados.

## 2.2 GESTÃO DE PORTFÓLIO DE PROJETOS

Dado o crescimento do mercado em gestão de projetos e mudanças estratégicas no mundo empresarial, o conceito de gestão de projetos de portfólio deve ser compreendido como um modelo de priorização, controles e administração de projetos de forma estratégica (TORRES, 2014).

Um portfólio é definido como projetos, programas, portfólios subsidiários e operações gerenciados em grupo para alcançar objetivos estratégicos. De acordo com Kerzner (2021), a gestão de portfólio de projetos proporciona diversos benefícios, permitindo que se possa fornecer uma estrutura de seleção de projetos de maior prioridade baseada sobre lógica, raciocínio e objetividade, de modo a otimizar a alocação de recursos, reduzindo gastos desnecessários, aliado com as metas estratégicas da organização.

Uma estratégia organizacional é composta de metas e políticas que fornecem a direção geral o foco da organização, planos e ações para atingir essas metas. Estes servem como uma entrada primária para o gerenciamento de portfólio (PMI, 2017b).

O gerenciamento de portfólio de projetos (*Project Portfolio Management* - PPM) concentra a atenção em um nível mais agregado. Seu objetivo principal é identificar, selecionar, financiar, monitorar e manter a combinação adequada de projetos e iniciativas necessárias para



atingir as metas e objetivos organizacionais, de tal modo a considerar os custos agregados, riscos e retornos de todos os projetos dentro do portfólio, bem como as diversas compensações entre eles. Naturalmente, a gestão de portfólio também está preocupada com a “saúde” e o bem-estar de cada projeto que está incluído dentro do portfólio. Afinal de contas, as decisões de portfólio, como quando financiar um novo projeto ou continuar financiando um projeto em curso, são baseadas em informações fornecidas em nível de projeto (STOUFFER e RACHLIN, 2002).

O resultado é um melhor equilíbrio entre novas iniciativas estratégicas e as iniciativas em andamento. O gerenciamento de portfólio não é realizar uma série de cálculos específicos de projeto, mas é um processo de tomada de decisão para o que for de melhor interesse de toda a organização. Essas decisões não são feitas ao acaso, no entanto, estão geralmente relacionadas a outros projetos e a diversos fatores, tais como a disponibilidade de financiamento e alocação de recursos, como também, assim como os demais projetos do portfólio, devem estar aderentes ao plano estratégico. O gerenciamento de portfólio geralmente estabelece a direção geral e o tom da execução de negócios que molda e define ou calibra seus componentes (PMI, 2017b)

O gerenciamento de portfólio permanecerá quase sempre como uma responsabilidade primordial da alta administração, mas as recomendações e o apoio do PMO podem tornar o trabalho do executivo um pouco mais fácil. Nesse papel, o PMO pode funcionar mais como um facilitador.

De acordo com Kerzner (2021), existem obstáculos para o gerenciamento de portfólio. Os tomadores de decisão geralmente têm muito menos informações para avaliar os projetos candidatos do que desejam. Incertezas muitas vezes cercam a probabilidade de sucesso de um projeto, seu valor final de mercado, e seu custo total para conclusão. Essa falta de uma base de informações adequada, muitas vezes leva a outra dificuldade: a falta de uma abordagem sistemática para a seleção e avaliação de projetos. Critérios de consenso e métodos para avaliar cada projeto candidato contra estes critérios são essenciais para a tomada de decisão racional. Um ponto de partida essencial é o detalhamento das metas e objetivos organizacional como critérios para tomada de decisão.

Conforme o estudo de Castro e Carvalho (2010) os principais aspectos que diferem as organizações que realizam a PPM daquelas que não realizam são: i) clareza da disponibilidade de recursos para gestão e execução dos projetos; ii) avaliação, seleção e priorização dos projetos por categoria; iii) comparação e concorrência dos projetos pelos recursos destinados à mesma categoria de projetos; iv) as informações dos projetos em execução são consideradas nas fases de avaliação, seleção, priorização de projetos e alocação de recursos; v) e os projetos em

execução são reavaliados periodicamente, podendo ser paralisados para que os recursos sejam direcionados a outros projetos.

O valor é o foco principal da gestão de portfólio, definido como o conjunto de benefícios quantificáveis e qualificáveis, valor e utilidade da organização – a soma total de todos os elementos tangíveis e intangíveis. Exemplos de elementos tangíveis incluem ativos monetários, satisfação dos acionistas e utilidade. Exemplos de elementos intangíveis incluem reputação, reconhecimento de marca, benefício público, legado, patentes e marcas registradas. O valor do negócio pode ser definido em termos de sua realização a curto, médio ou longo prazo, pelo fato de ser criado através da gestão eficaz das operações em curso.

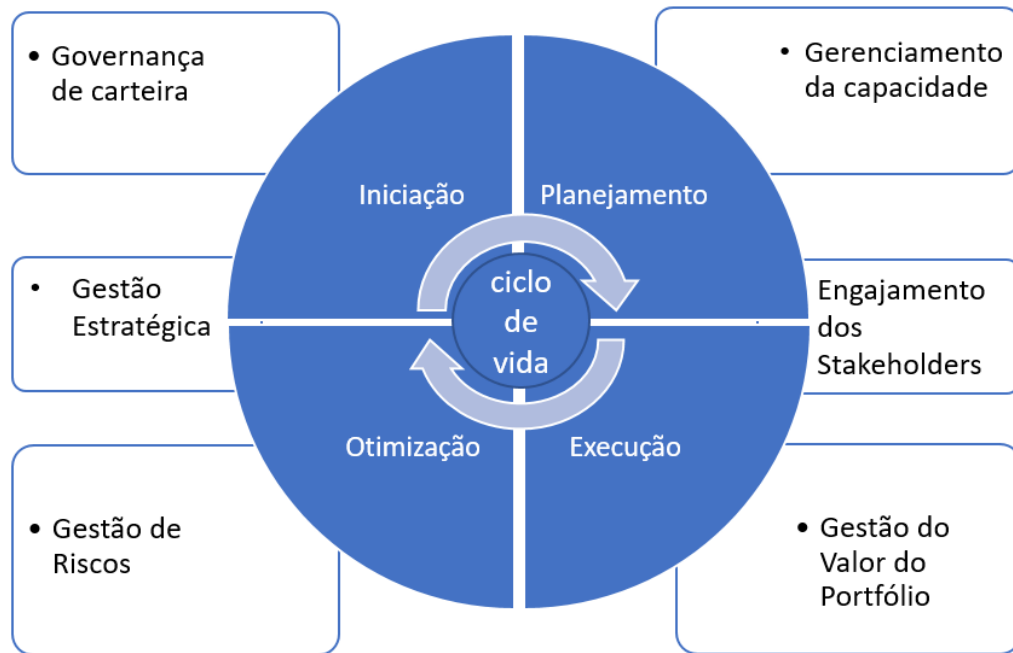
Vincular o gerenciamento de portfólio à estratégia equilibra o uso de recursos para maximizar o valor entregue na execução de programas, projetos e atividades operacionais. A estratégia e os objetivos organizacionais são traduzidos em um conjunto de iniciativas que são influenciadas por diversos fatores, como dinâmica de mercado, solicitações de clientes e parceiros, acionistas, regulamentações governamentais, *stakeholders* internos e suas aspirações e planos e ações dos concorrentes. Essas iniciativas estabelecem um portfólio de programas, projetos e componentes operacionais a serem executados no período específico.

O objetivo final de vincular o gerenciamento de portfólio com a estratégia organizacional e a execução estratégica de negócios é estabelecer um plano equilibrado e realista que ajudará a organização a atingir seus objetivos. O impacto da gestão de portfólio sobre o plano estratégico é alcançado através de seis domínios de desempenho no ciclo de vida da gestão de portfólio (PMI, 2017b), conforme ilustrado na Figura 2.

Qualquer proposta de inclusão de um componente no portfólio deve descrever como ele apoia a obtenção do valor comercial pretendido. Na Gestão Estratégica de Portfólio, cada componente do portfólio deve ser alinhado a um ou mais objetivos estratégicos, e o impacto positivo deve ser constantemente monitorado. É isso que se entende pelo termo gestão estratégica no contexto de gestão de portfólio e é alcançado por uma compreensão clara dos objetivos estratégicos e da importância de cada componente em relação a esses objetivos.

Por meio de uma governança aberta e transparente, incluindo processos para categorizar, priorizar, selecionar e aprovar os componentes do portfólio, as principais partes interessadas têm maior probabilidade de aceitar as decisões e concordar com o processo, mesmo quando não endossam totalmente as decisões tomadas.

Figura 2 - Domínios de desempenho na Gestão de Portfólio



Fonte: Adaptado PMI (2017b).

O estudo de Cooper et al. (1998) identificara que gestores sêniores em tecnologia que dão importância ao PPM, as empresas alcançam um portfólio positivo, no que tange ao balanceamento, alinhado estratégico e de alto valor agregado, com os números certos de projetos e bom tempo de resposta, sem atrasos. Além disso, atingem um processo de gerenciamento de portfólio claramente definido e que os gestores apoiam.

A seleção dos componentes do portfólio e o roteiro para sua implementação são equilibrados em relação à capacidade atuais da organização e com o potencial de trazer recursos adicionais. A visão do portfólio permite o planejamento futuro para desenvolver capacidades conforme necessário.

As principais partes interessadas do portfólio exigem um gerenciamento ativo de expectativas. Ao permanecerem alinhados e conectados, os portfólios aumentam a probabilidade de entregar valor. A comunicação ativa é o principal veículo por meio do qual a troca de informações, maior transparência e adesão das partes interessadas são alcançadas.

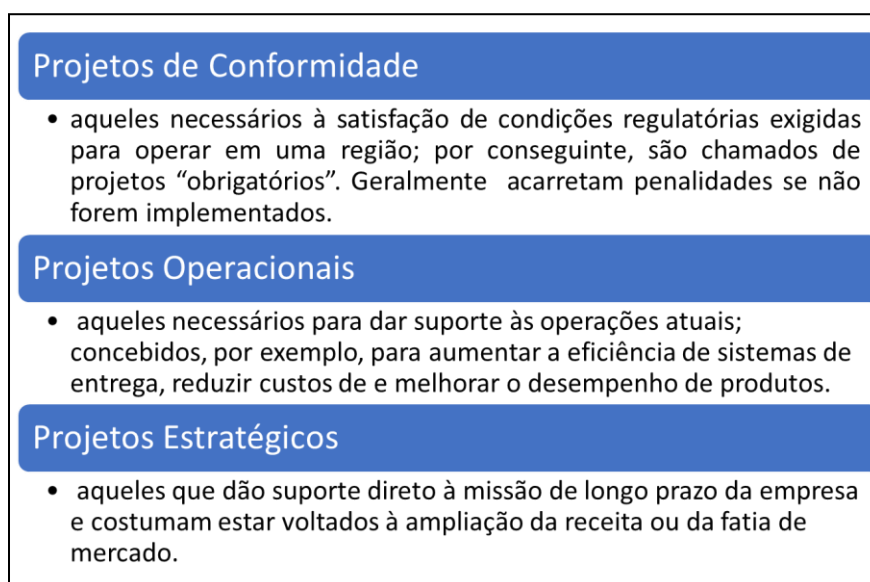
A gestão do valor do portfólio permite que o investimento produza o retorno esperado conforme definido pela estratégia organizacional. A contribuição de valor e a sua sustentação precisam ser monitorados durante toda a execução do componente.

Um monitoramento consistente da incerteza, tanto dentro do ambiente interno e externo do portfólio, avalia os riscos (positivos/oportunidades, negativos/ameaças) no nível do portfólio

e considera como esses riscos podem impactar a realização do plano estratégico e dos objetivos do portfólio.

De acordo com Larson (2014), existem três tipos básicos de projetos no portfólio das organizações: projetos de conformidade (emergência – obrigatório), operacionais e estratégicos (Figura 3). Com frequência, essas três classificações são divididas em tipo de produto, divisões organizacionais e funções que exijam critérios diferentes de seleção de projetos.

Figura 3 -Tipos Básicos de Projetos em Portfólio



Fonte: Adaptado de (Larson, 2014).

Apesar de haver muitos critérios para selecionar projetos, eles costumam ser identificados como financeiros e não financeiros. O primeiro é adequado quando há um alto nível de confiança associado às estimativas dos fluxos de caixa futuros, utilizam em geral o método “*payback*” o Valor Presente Líquido (VPL).

Infelizmente, modelos puramente financeiros deixam de fora projetos em que o retorno financeiro é impossível de medir e aqueles em que há outros fatores decisivos, Foti (2003), estudou que empresas usuárias de modelos predominantemente financeiros para priorizar projetos obtêm portfólios desequilibrados e projetos sem orientação estratégica.

Atualmente, vem crescendo a reflexão das organizações sobre a sua sobrevivência de longo prazo depende do desenvolvimento e manutenção de competências centrais, isto quer dizer que elas precisam ter a disciplina de dizer não a projetos potencialmente lucrativos e que estão fora da abrangência da sua missão central e para isso requer que seja considerado outros critérios além do retorno financeiro direto.

Como não existe um único critério que reflita significado estratégico, o gerenciamento de portfólios exige modelos de triagem com múltiplos critérios. Esses modelos frequentemente ponderam os critérios separadamente para que aqueles projetos que contribuem para os objetivos estratégicos mais importantes recebam mais consideração, como exemplo as empresas podem apoiar projetos para restaurar a imagem corporativa ou otimizar o reconhecimento da marca, incluindo o comprometimento com cidadania corporativa e desenvolvimento social.

O gerenciamento de recursos também é importante para o PPM. Sem um processo adequado de gerenciamento de recursos, uma organização pode enfrentar problemas relacionados a, por exemplo, disponibilidade de recursos e conflitos de recursos, que eventualmente afetarão a execução dos projetos do portfólio. De acordo com Abrantes e Figueiredo (2015), um processo de gestão de recursos deveria ser integrado ao processo de PPM. O processo deve levar em consideração a alocação e disponibilidade de recursos, revisão e reprogramação de recursos, comunicação de decisões de recursos, monitoramento de conflitos de recursos e revisão do desempenho do portfólio.

Dessa forma, projetos e programas em um portfólio podem competir pelos mesmos recursos escassos e, por meio de mecanismos de organização do portfólio, alguns projetos são priorizados em detrimento de outros. Nesse sentido, optar por um portfólio de projetos como forma de organização se presta a gerenciar prioridades concorrentes. Como tal, os portfólios moldam e são moldados pela direção estratégica da empresa (Martinsuo, 2020).

Conforme Larson (2014), equilibrar o portfólio de projetos é tão importante quanto selecioná-los. É responsabilidade do comitê de seleção de projetos de equilibrar os projetos por tipo, risco e demanda de recursos, para isso, exige-se uma perspectiva organizacional total. Assim, um projeto proposto que tenha obtido uma alta classificação na maioria dos critérios pode não ser escolhido porque o portfólio da empresa já contempla projetos demais com as mesmas características – por exemplo, nível de risco do projeto, uso de recursos-chave, alto custo, falta de geração de receita e longa duração. Necessidades de curto prazo devem ser balanceadas com potencial de longo prazo. A utilização de recursos deve ser otimizada em todos os projetos, e não apenas naquele mais importante.

David e Jim Matheson (1998) estudaram organizações de P&D e desenvolveram um esquema de classificação que pode ser utilizado para avaliar um portfólio de projetos. Eles os separaram segundo o grau de dificuldade e valor comercial, obtendo quatro tipos básicos:

- Pão com manteiga são projetos relativamente fáceis de concretizar, produzindo um valor comercial modesto. Geralmente envolvem melhorias evolutivas de produtos e serviços atuais. Exemplos: upgrades de software e esforços de redução de custo de fabricação.
- Pérolas são projetos de desenvolvimento de baixo risco, com altos retornos comerciais. Representam progressos comerciais revolucionários que utilizam tecnologia comprovada. Exemplos incluem chips de circuito integrado de nova geração e imageamento de solos para localização de petróleo e gás.
- Ostras são projetos de alto risco e alto valor. Envolvem ruptura tecnológica, com um potencial comercial tremendo. Exemplos são tratamentos embrionários com DNA e novos tipos de liga metálica.
- Elefantes brancos são projetos que já foram promissores, mas não são mais viáveis. Exemplos incluem produtos para um mercado saturado ou uma potente fonte de energia com efeitos colaterais tóxicos

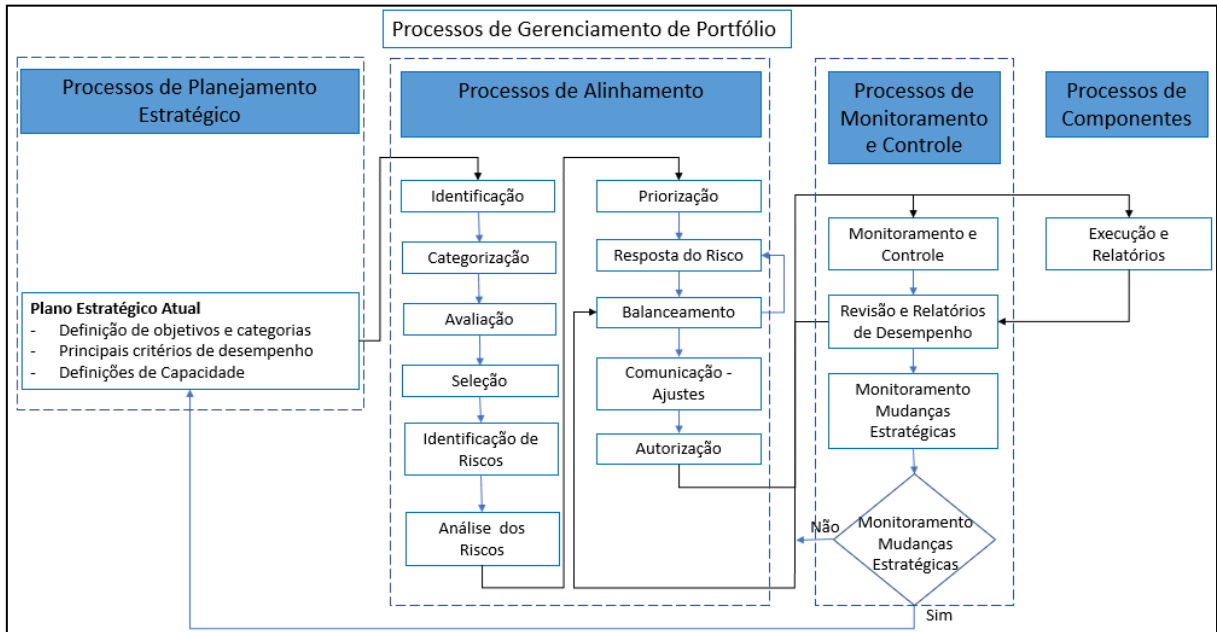
Conforme David e Matheson, relatam que muitas empresas têm vários elefantes brancos para muito poucas pérolas e ostras. Para manter a vantagem estratégica, esses autores recomendam que elas capitalizem as pérolas, eliminem ou reposicionem os elefantes brancos e equilibrem os recursos dedicados a projetos pão com manteiga e ostras para alinhá-los à estratégia geral. Embora a pesquisa deles se concentre em organizações de P&D, as respectivas observações parecem se aplicar a todos os tipos de empresas.

Os processos de gerenciamento de portfólio de projetos do PMI (2017b) são agrupados em dois grupos: grupo de processos de alinhamento (identificação, análise, categorização, avaliação, seleção, priorização, balanceamento, definição de resposta aos riscos e autorização) e grupo de processos de monitoramento e controle (revisão e relatórios de desempenho, monitoramento e controle de riscos e mudanças estratégicas). A figura 4 ilustra os processos de gerenciamento de portfólio do PMI (2017b).

As estratégias organizacionais e definição de seus objetivos estabelece e orienta as decisões, direção, propósito e alocações de recursos para atingir os valores desejados. Os processos utilizados para manter o portfólio alinhado com os controles e medidas de governança são específicos da organização. Através de um gerenciamento de dependência, concentra-se principalmente no impacto causados por diversos fatores como recursos e restrições, custo financeiro, resultados e riscos. Quanto aos processos de monitoramento, são atividades de apoio para avaliação do desempenho do portfólio e recomendar mudanças no mix de componentes do portfólio e no desempenho dos componentes do portfólio e conformidade com padrões. O

objetivo do monitoramento e controle é entender quando mudanças precisam ser feitas no portfólio ou aos processos de gestão de portfólio. Este processo inclui execução, documentação e comunicação do decisões e as ações resultantes tomadas (PMI, 2017b).

Figura 4 - Processos de Gerenciamento de Portfólio.



Fonte: PMI (2017)

Determinar a estratégia organizacional é difícil; alcançar resultados às vezes é ainda mais desafiador e complexo. O PMI (2017) considera que para implementação dos processos de portfólios descritos, devem existir na organização as seguintes condições: aderência à teoria de gerenciamento de portfólio; numerosos projetos e programas; staff disponível e capacitado para o gerenciamento de portfólio; processos de gerenciamento de projetos definidos; responsabilidades e funções organizacionais mapeadas; e plano de comunicação estabelecido para comunicar as decisões de negócios através da organização.

Cooper, Edgett e Kleinschmidt (1997) entendem que houve avanços em gerenciamento de portfólio, mas ainda há muito que ser feito. O gerenciamento de portfólio e a seleção de projetos de novos produtos é uma questão a ser aprimorada. Desta forma, a alocação de recursos, cada vez mais escassos, de forma efetiva, fará toda a diferença para alcançar os objetivos traçados pela organização.

### 2.2.1 Alocação de recursos a Projetos em andamento

Para que um sistema de múltiplos projetos opere de maneira eficaz numa organização, é preciso assegurar o pleno desempenho dos projetos. Além disso, quando há decisões a tomar entre tarefas de projetos que competem por um recurso, deve haver uma prioridade que esteja alinhada com a maximização do benefício do conjunto total de projetos, de modo que o recurso em questão escolha e trabalhe na tarefa correta, sem atuar em multitarefas. O primeiro desses requisitos está diretamente relacionado a entender e gerenciar a organização com base nas suas restrições (DINSMORE; CABANIS-BREWING, 2014).

O estudo realizado por Cooper (2001), uma empresa ao optar por portfólio como modo de organização, seus gestores desenvolvem o processo de decisão centralizado, dinâmico, complexo e político, principalmente centrado na avaliação, seleção, priorização e encerramento de projetos e programas, bem como a alocação de recursos, para alcançar benefícios estratégicos. Dessa forma, projetos e programas em um portfólio podem competir pelos mesmos recursos escassos e, por meio de mecanismos de organização do portfólio, alguns projetos são priorizados em detrimento de outros (GERALDI, 2022).

Segundo o PMI (2017), o balanceamento de portfólio suporta o planejamento e alocação de recursos (financeiros, ativos físicos e humanos) de acordo com o direcionamento estratégico e a habilidade para maximizar o retorno do portfólio de acordo com o nível de risco assumido pela organização.

Na pesquisa de Cooper, Edgett e Kleinschmidt (1997), alocar recursos para maximizar o valor do portfólio em termos de algum objetivo organizacional faz parte dos objetivos principais do gerenciamento de portfólio nas organizações. O estudo aborda que a maximização de valor pode ser alcançada através de vários métodos, como: Valor Comercial Esperado (Expected Commercial Value – ECV), Índice de Produtividade (Productivity Index – PI), Lista Ordenada de Classificação Dinâmica (Dynamic Rank Ordered List) e Modelos de Pontuação (Scoring Models). O resultado destes modelos é uma lista priorizada de projetos que buscam atingir os objetivos esperados da organização. No artigo eles abordam que a estratégia e a alocação de recursos em novos produtos devem estar intimamente conectadas, na prática, a estratégia se materializa quando ocorre a efetiva alocação de recursos, conseqüentemente, consumindo recursos financeiros da empresa para a execução das atividades, ou seja, a estratégia da empresa é refletida onde o dinheiro é gasto. (Cooper, Edgett & Kleinschmidt, 1997).

Os executivos e gerentes responsáveis pelo gerenciamento de portfólio de projetos devem conhecer as restrições da organização e indicar necessidades de ampliação da capacidade e



redução de algumas destas restrições. Aquilo que uma empresa deseja fazer nem sempre é o que ela pode fazer. Normalmente, o maior obstáculo está na disponibilidade e qualidade dos recursos necessários. A maioria dos gerentes não pensa em termos de pontos fortes e fracos, e, por isso, preocupa-se mais com o que deveria fazer do que com o que pode realmente fazer. (CASTRO; CARVALHO. 2010)

A alocação matricial de recursos passou a ser uma prática comum, na qual vários projetos compartilham os mesmos recursos, alocados pelas áreas funcionais e demais *stakeholders*. Esta prática favorece o jogo político e os conflitos na alocação dos recursos, mas torna-se ainda mais complexa em grandes organizações com dezenas ou centenas de projetos, em que, segundo os autores, nenhum executivo tem condições de tomar as decisões efetivamente em cada um dos projetos. Algumas organizações alocam um gerente com a jurisdição sobre todos os projetos, outras criam comitês específicos para alocação de recursos.

Em vez de aumentar a ênfase em planejamento, relatórios de progresso e reuniões de acompanhamento, Engwall e Jerbrant (2003) recomendam que todo o sistema organizacional de gestão deve ser revisto desde sua raiz. A estratégia e a alocação de recursos nos projetos devem estar intimamente conectadas. Enquanto os recursos não são efetivamente alocados, a estratégia é apenas um conjunto de palavras em um documento. Se a estratégia é focar em certos mercados, produtos ou tecnologias, então a maioria dos recursos deve estar focada nos mesmos mercados, produtos ou tecnologias.

O processo de busca por maior eficiência na alocação dos recursos públicos no Orçamento Federal, de modo a permitir que esses recursos gerem os melhores resultados e impactos possíveis para a sociedade brasileira é essencial o aprimoramento do processo decisório. Destaca-se que a baixa eficiência alocativa na distribuição dos recursos públicos traz, potencialmente, uma série de consequências negativas para a gestão pública, como o sobre financiamento de programas cujos custos se sobrepõem aos resultados e o subfinanciamento de programas cujos resultados se sobrepõem aos custos (PILETTI, 2020).

Ainda no trabalho de Piletti (2020), diz que além da efetividade da ação pública, um ponto essencial no processo de busca pela melhoria da qualidade do gasto público no Brasil é a garantia da sustentabilidade fiscal da intervenção pública, com a adequação entre os recursos alocados e os produtos e resultados almejados. Portanto, compreender os fatores que potencialmente prejudicam a eficiência na alocação de recursos públicos é fundamental. O entendimento desses fatores pode contribuir para que lidemos melhor com eles, desenvolvendo estratégias para mitigar os eventuais problemas que eles ocasionam no processo decisório orçamentário.

Samson (2022) destaca que a economia comportamental surge como um contraponto à teoria da escolha racional, esta última se baseia na ideia de que o comportamento social resulta das ações individuais de atores racionais que, definem suas preferências conscientes e em posse de informações sobre os custos e benefícios de cada opção disponível, escolheriam racionalmente o caminho a seguir. Em contrapartida, a economia comportamental, pressupõe que a tomada de decisão é influenciada por uma série de heurísticas e vieses cognitivos<sup>3</sup>, usualmente associados à capacidade limitada de atenção e de processamento de informações dos atores. Ela desluz, portanto, a ideia de que as decisões humanas se processam apenas de cálculos racionais de indivíduos conscientes e bem-informados.

Dentre as heurísticas e os vieses cognitivos que influenciam a tomada de decisão, destacamos alguns com potencial impacto no processo decisório orçamentário. São eles: a heurística da ancoragem nos julgamentos sobre valores; o viés do status quo na tomada de decisões entre continuidade ou mudança; o viés do otimismo no planejamento; e o viés do presente nas escolhas intertemporais (SAMSON,2020).

A alocação original de recursos pode ser tornar sub-ótima ao longo do tempo, devido que os projetos financiados podem ter um desempenho inferior e novos problemas podem ocorrer e exigir investimentos oportunos, acrescentando também que a relação de custo-benefício e a prioridade relativa de projetos em andamento nem sempre são estáticos. Boettiger et al. (2016) afirma que mudanças políticas e ajustes de prioridades podem incorrer.

Considerando que o problema de portfólio costuma ser grandes, por possuírem vários candidatos a projetos, dos quais apenas alguns podem ser selecionados com os recursos disponíveis e em segundo lugar a existência de diversos critérios que muitas vezes seus julgamentos acontecem de forma subjetiva, o uso de método de análise de decisão de portfólio ajuda a estabelecer um processo de decisão mais sistemático, transparente e repetíveis (MILD, 2015).

### 2.3 DECISÃO MULTICRITÉRIO

Frequentemente depara-se com problemas cuja resolução implica em tomada de decisão complexa. De modo geral, esses problemas possuem de algumas das seguintes características (GOMES,2012):

---

<sup>3</sup> Um viés cognitivo é um padrão sistemático de desvio da norma ou racionalidade no julgamento. Os indivíduos criam sua própria "realidade subjetiva" a partir de sua percepção do input. A construção da realidade de um indivíduo, não a entrada objetiva, pode ditar seu comportamento no mundo.

- Os critérios de resolução do problema são em número de, pelo menos, dois e conflitam entre si;
- Tanto os critérios como as alternativas podem estar interligados, de modo que um critério pode refletir parcialmente outro critério, sendo sua eficácia da escolha de uma alternativa depender de outra alternativa ter sido ou não também escolhida, conhecidas como alternativas mutuamente exclusivas;
- Tanto os critérios como as alternativas de solução não são claramente definidos e as consequências da escolha de dada alternativa com relação a pelo menos um critério não são claramente compreendidos;
- A solução do problema depende de um conjunto de pessoas, cada uma das quais tem seu próprio ponto de vista, muitas vezes conflitante com os demais;
- As restrições do problema não são bem definidas, podendo mesmo haver alguma dúvida a respeito do que é critério e do que é restrição;
- Alguns dos critérios são quantificáveis, ao passo que outros só o são por meio de julgamento de valor efetuados sobre uma escala.

Os primeiros métodos voltados para os problemas discretos de decisão, no ambiente multicritério ou multiobjetivo, surgiram em meados da década de 70, sendo utilizado uma abordagem diferenciada para essa classe de problemas e que passam a atuar como auxílio à decisão, não só visando à representação multidimensional dos problemas, mas, também, incorporando características bem definidas nos métodos de análise, na compreensão das dimensões, nas possibilidades de formulações válidas, utilização de estruturas que representem a comparabilidade entre alternativas e no uso de representações explícitas de uma estrutura de preferência (GOMES, 2012).

Os métodos multicritérios têm sido desenvolvidos para apoiar e conduzir os decisores na avaliação e escolha das alternativas-solução, em diferentes espaços. O espaço das variáveis, consiste no conjunto de decisões factíveis e não factíveis para dado problema. O problema do decisor é avaliar os múltiplos objetivos, de forma integrada. Muitas vezes esses objetivos possuem unidades de medidas distintas (ALMEIDA, 2013).

Segundo Gomes (2014), um ponto importante da decisão é a objetividade: os participantes podem divergir na avaliação de uma decisão, mas a decisão grupal é objetiva e final, como decisão. Pesos podem então ser utilizados para agregar os valores das funções-objetivos em um único valor, determinando a utilidade da decisão alternativa.

O Apoio Multicritério à Decisão (AMD) consiste em um conjunto de métodos e técnicas para auxiliar ou apoiar pessoas e organizações a tomarem decisões, sob a influência de uma multiplicidade de critérios. A aplicação de qualquer método de análise multicritério pressupõe a necessidade de especificação anterior sobre qual objetivo o decisor pretende alcançar, quando se propõe comparar entre si várias alternativas de decisão, recorrendo ao uso de múltiplos critérios (GOMES, 2014).

Ainda Gomes (2014), considera que tomar decisão não seja uma tarefa fácil, em que normalmente a decisão deverá atender a objetivos e a critérios conflitantes, além disso que as consequências das decisões nem sempre são facilmente identificáveis e que algumas alternativas e/ou objetivos estão interligados, a não aceitação da subjetividade pode tornar-se uma dificuldade para a solução do problema.

Segundo Vincke (1992), o AMD não consiste somente em construir uma família com técnicas de agregação de preferências, dadas em um conjunto de dados. O decisor deve ter conhecimento dos métodos que pode utilizar e verificar o que mais se ajusta à situação. Almeida (2013) apresenta que decisão multicritério ocorre quando, tendo um conjunto de alternativas  $A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$  ou ações avaliadas em uma família de critérios, para o qual o decisor deseja efetuar uma comparação e ter uma posição sobre elas, conforme quatro tipos de problema (ROY, 1996): Problemática de Escolha (P. $\alpha$ ), refere-se à mais tradicional, em que “a melhor opção” é escolhida; Problemática de Classificação (P. $\beta$ ), alinha cada ação a uma categoria específica, no qual se determina valores intrínsecos da ação, encontrando sua categoria; Problemática de Ordenação (P. $\gamma$ ), ajuda a classificar ações em ordem de preferências ou construir um procedimento de classificação; e Problemática de Descrição (P. $\delta$ ), descrever ações e suas consequências de forma formalizada e sistemática ou desenvolver um procedimento cognitivo.

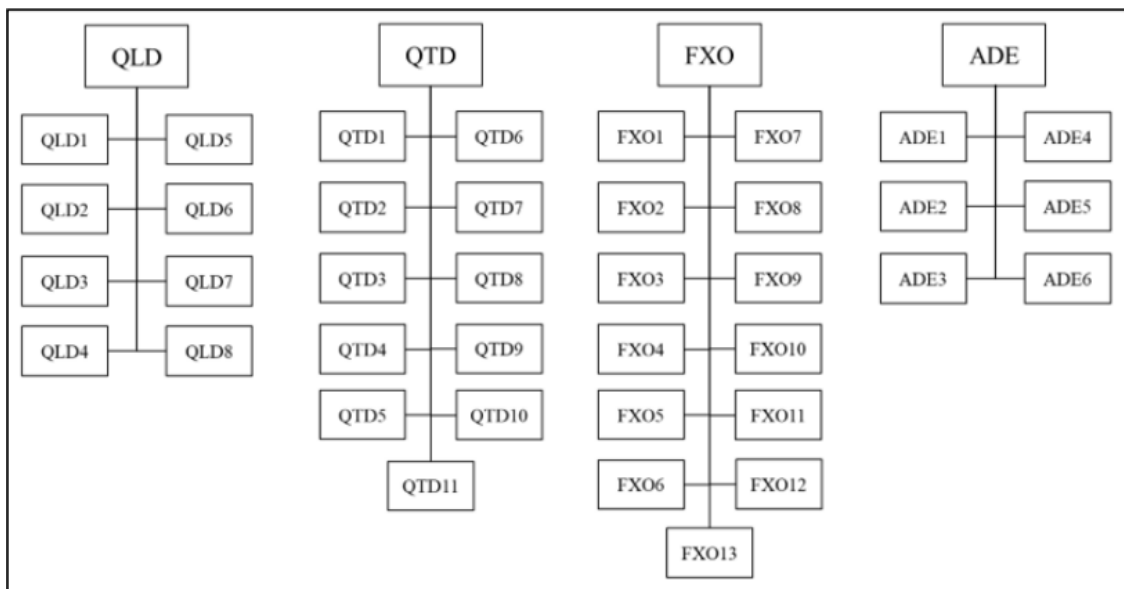
Outro elemento básico num problema de decisão está relacionado às consequências que podem ser obtidas com cada alternativa. A alternativa é avaliada em função das consequências. Desta forma, em um problema de decisão multicritério, para cada alternativa o decisor terá uma consequência que terá várias dimensões, em que cada dimensão representa a consequência em um dos critérios (ALMEIDA, 2013).

O reconhecimento de que, em muitas situações reais a avaliação das possíveis soluções obriga a considerar diversos pontos de vista, acarretou o surgimento de uma área que tem assumido o nome de decisão multicritério. Os Critérios podem ser quantificados ou avaliados e contribuem para a decisão. A busca da solução de um problema frequentemente ocorre em ambiente onde os critérios são conflitantes, ou seja, onde o ganho de um critério poderá causar uma perda em outro. Estes critérios podem ser do tipo fator, compostos por variáveis que

acentuam ou diminuem a aptidão de uma determinada alternativa para o objetivo em causa, ou podem ser do tipo exclusão, variáveis que limitam as alternativas em consideração na análise, excluindo-as do conjunto solução. Os modelos baseados em decisão multicritério são indicados para problemas onde existam vários critérios de avaliação (GOMES, 2013). Para exemplificar o uso de AMD em diferentes situações, aborda-se os trabalhos desenvolvidos por Souza (2022) e Tiganis (2022).

O trabalho de Souza (2022), um problema de decisão para definir quais objetivos e necessidades devem ser incorporados à arquitetura do Sistema Espacial e quais alternativas de tecnologias são mais adequadas em relação aos seus requisitos do Programa Estratégico de Sistemas Espaciais do Ministério da Defesa. Foram avaliados quatro objetivos fundamentais com seus respectivos subcritérios (Figura 5), 1 – Qualidade de Dados (QLD), com 8 objetivos; 2 – Quantidade de Dados (QTD) com 11 objetivos; 3 – Flexibilidade Operacional (FXO) com 13 objetivos que davam significado a ele; e 4 – Aderência Estratégicas (ADE), com 6 objetivos. Sendo cada alternativa avaliada, mensurando o atingimento dos valores dos *stakeholders*.

Figura 5 - Hierarquia de Decisão



Fonte: SOUZA (2022)

A característica compensatória da decisão, possibilita a utilização de uma função de valor aditiva representada pela equação (1). Nela  $k_j$  é a constante de escala de um determinado critério. Cada avaliação de alternativa nos subcritérios, é representada por  $v_j(x_j)$ . Assim, se atingiu o valor final de cada alternativa, possibilitando a escolha daquela que obtém o maior valor.

$$V(x) = \sum_{j=1}^n k_j v_j(x_j) \quad (1)$$

Após a avaliação intra-critério, a normalização e função valor, chegou-se ao valor de cada alternativa em cada critério (Figura 6), obtendo-se a alternativa 4 com maior valor, sendo escolhido para a missão, atingindo o maior valor possível frente as preferências elicitadas e requisitos do sistema modelado.

Figura 6 – Valores das alternativas

<i>QLD</i>	<i>QTD</i>	<i>FXO</i>	<i>ADE</i>	
0,3249	0,3441	0,0425	0,2678	Produto1
0,1046	0,3114	0,3058	0,3979	Produto2
0,2272	0,4293	0,2347	0,1292	Produto3
0,7340	0,5948	0,0067	0,0103	Produto4
0,1537	0,0328	0,3789	1,1452	Produto5
0,3780	0,3358	0,2586	0,3607	Produto6

Fonte: SOUZA (2022).

Portanto, no trabalho de SOUZA (2022) mostrou como o método AMD pode apoiar a tomada de decisão na escolha de um sistema espacial para um programa estratégico nacional.

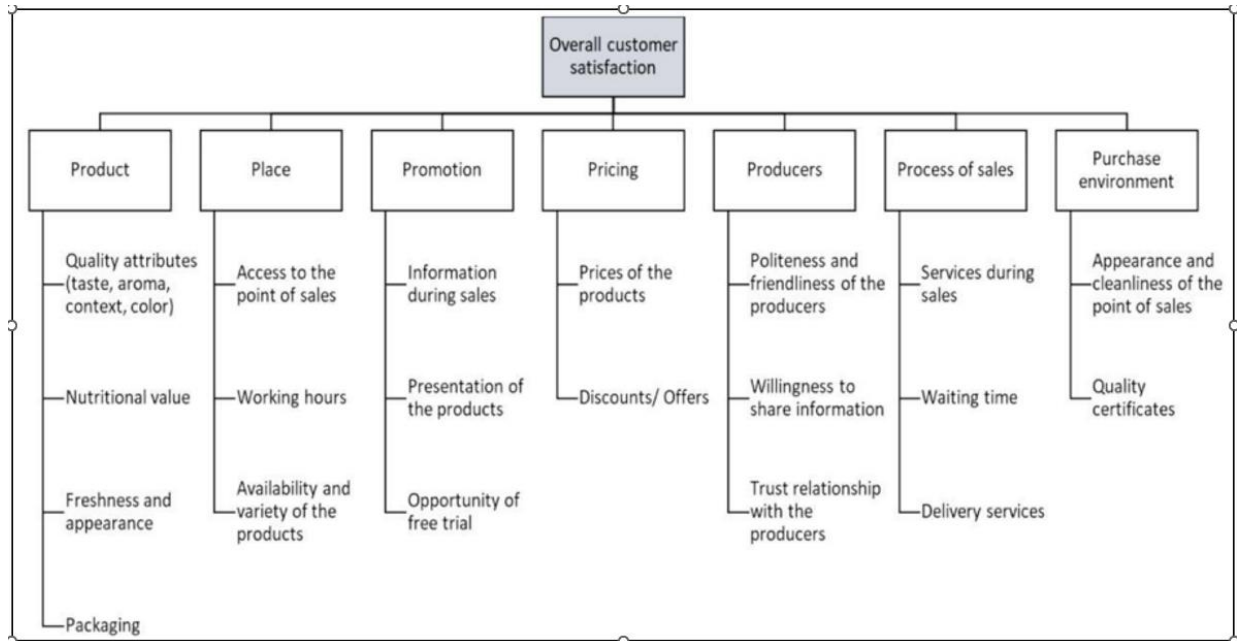
Outro exemplo de aplicação, foi abordado por TIGANIS (2022), onde ele apresenta em seu artigo o uso do método MCDA para analisar a satisfação dos clientes em cadeias curtas de abastecimento de alimentos. Foram observados alguns critérios como preço, localização, ambiente de compra e o processo promocional são considerados fortes ameaças a cadeia produtiva.

No trabalho de TIGANIS (2022), seguiu uma abordagem do método AMD em critérios em dois níveis. O primeiro nível constitui as principais dimensões da satisfação e os de segundo nível constituem os subcritérios, sendo o de primeiro afetam diretamente a satisfação geral do cliente, enquanto os subcritérios afetam cada critério no primeiro nível, ilustrado na Figura 07.

O método utilizado para análise da satisfação dos clientes, MUSA (*Multicriteria Satisfaction Analysis*), desenvolvido por Grigoroudis e Siskos entre 1998 e 1999, basea-se no modelo matemático que segue princípios de regressão ordinal, reporta pesos estimados e índices médios de satisfação para os critérios e subcritérios, representada pela equação 2, avalia o alcance da consistência máxima através da função de valor aditivo  $Y^*$  (valor geral), sendo

introduzido duas variáveis de erro e as funções de valor dos critérios e subcritérios;  $X_i^*$  e  $X_{ij}^*$ , respectivamente.

Figura 7 - Hierarquia dos critérios de satisfação em primeiro e segundo nível.



Fonte: TIGANIS (2022)

O método reporta pesos estimados para satisfação geral. Para os subcritérios, os pesos estimados revelam a importância relativa dos subcritérios selecionados em relação a cada critério. Os pesos estimados têm uma forma relativa, o que significa que a somados pesos (e subpesos) é igual a um.

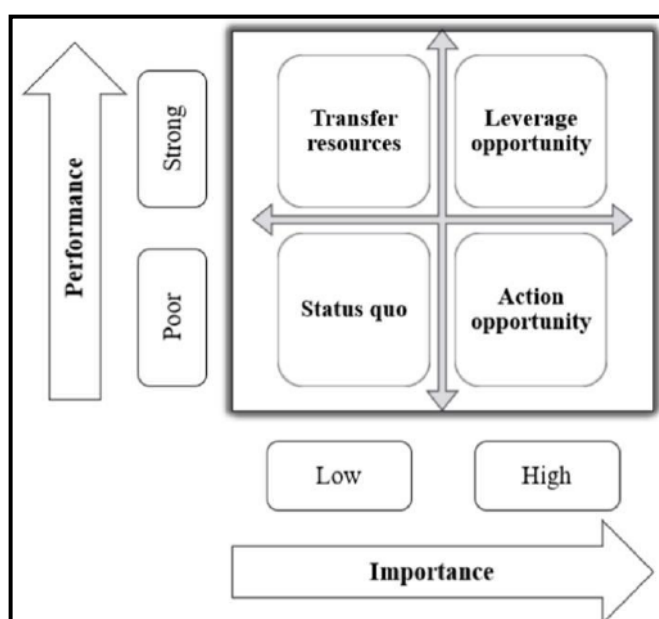
$$Y^* = \sum_{i=1}^n b_i X_i^* + \sigma^+ + \sigma^- \text{ com } \sum_{i=1}^n b_i = 1 \text{ para } i = 1, 2, \dots, n$$

$$X_i^* = \sum_{j=1}^{n_i} b_{ij} X_{ij}^* + \sigma^+ + \sigma^- \text{ com } \sum_{j=1}^{n_i} b_{ij} = 1 \text{ para } j = 1, 2, \dots, n_i$$
(2)

Para observar a correlação entre o índice de satisfação e os pesos dos critérios, o autor plotou um mapa de importância-desempenho, Figura 8, no qual destaca pontos forte e fracos da satisfação do cliente. Os critérios de alta importância e forte desempenho oferecem uma vantagem competitiva para a satisfação do cliente e, portanto, oferecem uma oportunidade de

alavancagem. Os critérios de alta importância e baixo desempenho requerem atenção e esforços para a melhoria direta e, portanto, são classificados como uma oportunidade de ação. Os critérios de forte desempenho e baixa importância exigem uma transferência de recursos para outros critérios com níveis de satisfação mais baixos e, portanto, são classificados como transferência de recursos. Por fim, os critérios de baixa importância e baixo desempenho, classificados no quadrante status quo, constituem potenciais ameaças à satisfação do cliente, pois a baixa importância pode estar ainda mais associada ao mau desempenho. (TIGANIS, 2022).

Figura 8 - Diagrama de Ação



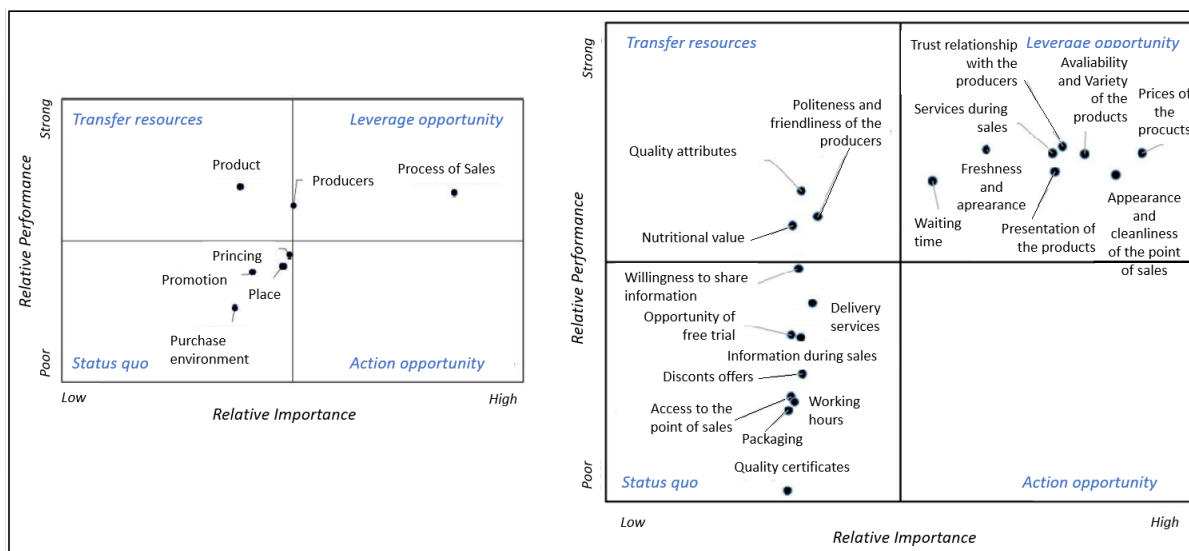
Fonte: Tiganis (2022)

Após os resultados da pesquisa com os clientes o autor conseguiu analisar os diagramas para os principais critérios de satisfação, considerando-os como oportunidades o processo de vendas e produtores, o produto como transferência de recursos e os critérios de lugar, promoção, preço e ambiente constituem ameaças potenciais, conforme o quadrante onde foram localizados (Figura 9).

Portanto, observa-se nos trabalhos expostos que a utilização dos modelos multicritérios permitem a identificação de ações necessárias ou prioridades que as partes interessadas precisam tomar. Os resultados apresentam implicações no âmbito gerencial em relação a estratégia e desenvolvimento de modo geral.



Figura 9 - Resultado do Diagrama de Ação de Critérios Principais e Subcritérios



Fonte: Tiganis (2022)

### 2.3.1 Classificação de métodos MCDA

ALMEIDA (2013), aborda que existem diversas formas de classificar os métodos para tratamento de problemas multicritérios, podendo ser conforme a natureza do conjunto da alternativa “A”: em conjunto discreto ou conjunto de alternativas contínuas. Tem-se ainda um segundo tipo de classificação que está baseada no método de programação matemática: linear com múltiplos objetivos (PLMO) ou não linear.

Uma classificação evidente na obra de ALMEIDA (2013), sendo esta utilizada para classificação dos problemas, quando se pretende atender à estrutura de preferências do decisor e o tipo de racionalidade utilizada no estudo, são os métodos compensatórios e não compensatórios.

Nos métodos compensatórios existe a ideia de compensar um menor desempenho de uma alternativa em um dado critério por meio de um melhor desempenho em outro critério, é considerado os *trade-offs* entre os critérios. Já nos métodos não-compensatórios não existe essa compensação (Almeida, 2013).

Alguns exemplos são citados práticos na obra de Almeida (2003) onde se observa o uso de métodos não compensatórios para tomada de decisão, é o caso do jogo de vôlei, no qual o time vencedor é função dos resultados de cada set e não considera a pontuação obtida em cada set. Outro exemplo que é citado, para o uso de método compensatório, pode estar relacionado ao desempenho em disciplinas para sua aprovação, um procedimento compensatório, uma nota

abaixo da média em uma disciplina poderia ser compensada com nota alta em outra disciplina, já em um raciocínio não compensatório, o aluno seria reprovado.

Considerando que os procedimentos compensatórios implicam que os valores das alternativas nos vários critérios podem interagir entre si, utilizando um modelo aditivo, por exemplo, pode-se dizer que existe uma avaliação entre critérios em uma dada alternativa.

O procedimento mais utilizado de agregação é o modelo aditivo de determinístico. O modelo apresenta uma situação de certeza na obtenção do vetor de consequência  $x$  para cada alternativa  $a$ . Para a obtenção da função valor total  $v(a)$ , é necessário utilizar uma avaliação intracritério  $v_j(a)$  para cada critério  $j$ , conforme segue:

$$v(a) = \sum_{j=1}^n k_j v_j(a) \quad (3)$$

Onde  $k_j$  representa a constante de escala para o critério  $j$  e é normalizado de modo que seu somatório seja igual a 1,0 (um), ou seja,  $\sum_{j=1}^n k_j = 1$ . A solução do problema, consiste na seleção da alternativa que atingir maior valor global  $v(a)$  (ALMEIDA, 2013). Sabendo que cada alternativa, tem-se um vetor consequência com  $n$  critérios,  $x_{j=1}^n = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ , o modelo avalia as alternativas por meio de suas consequências, desta forma, a função valor global pode ser representado por:

$$v(a) = \sum_{j=1}^n k_j v_j(x_j) \quad (4)$$

Uma questão muito importante no modelo aditivo é a obtenção da constante de escala  $k_j$ , que corresponde a avaliação intracritério, devendo-se levar em consideração, não apenas o grau de importância dos critérios, mas também a obtenção do desempenho dos objetivos. Este procedimento pode ser efetuado por *trade-off*, que consiste em definir valores através de duas consequências entre quais o decisor é indiferente, de modo que ele pode fazer uma troca entre elas, isto é, o decisor é igualmente satisfeito por qualquer uma dessas duas consequências.

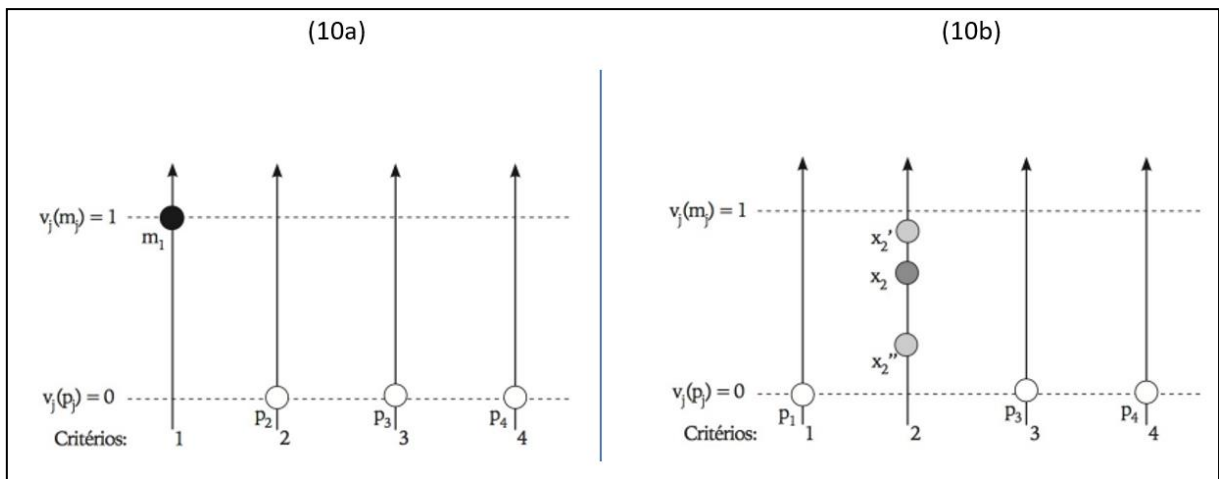
O procedimento de elicitacão baseado em *trade-off* é detalhado em seis etapas por Almeida (2013), começando com avaliação intracritério, de onde obtêm as funções valor  $v_j(x_j)$  para cada critério  $j$ , seguindo com a ordenação das consequências da melhor para pior, isto é, ter-se-á uma ordenação nas constantes de escala. A partir disso, é realizado uma melhoria de

sensibilidade de avaliação do decisor, então é determinado a relação entre as constantes de escala, utilizando a relação de indiferença.

Quando nem sempre se tem todas as informações necessárias para eliciação do problema, o método de eliciação flexível torna-se uma opção vantajosa quanto aos demais métodos. Desenvolvido por Almeida (2013), no qual avalia vários estágios dos processos de eliciação o quanto a informação é necessária para se concluir a informação das alternativas dentro do contexto do decisor. Conforme Almeida (2013), a visão da eliciação flexível (FITradeoff – *Flexible and Interactive Tradeoff*) considera a possibilidade de se trabalhar com comparações de consequência baseadas em relações de preferências ao invés de relações de indiferença, uma vez que considera que as relações de indiferença exigem um maior esforço cognitivo por parte do decisor.

A seguir, pode-se observar de como o processo de eliciação flexível é desenvolvido. Considerando uma comparação de uma consequência que representa o critério 1, mostrado na Figura 10a, e a outra consequência no critério 2, conforme Figura 10b, no procedimento de *trade off*, teríamos uma relação de indiferença entre as consequências com relação ao ponto  $x_2$ .

Figura 10 - Consequências que representam o critério 1 e critério 2, respectivamente



Fonte: Almeida (2013)

No entanto, é justamente a indiferença que o método de eliciação flexível tenta evitar, ao invés disso, são solicitadas informações mais suaves com relação as consequências que envolvem pontos no entorno de  $x_2$  ( $x_2'$  e  $x_2''$ ), de forma que o decisor teria uma preferência que atenderia a seguinte ordem de preferência:

$$(p1, x_2', p3, p4) P (m1, p2, p3, p4) P (p1, x_2'', p3, p4)$$

Portanto, obtendo-se os valores  $x_2'$  e  $x_2''$  têm-se duas inequações a seguir:

$$k_2 v_2(x'_2) > k_1 \text{ e } k_2 v_2(x''_2) < k_1 \quad (5)$$

De modo que o valor de  $v_2(x_2)$  pode ser obtido na etapa 1 do processo de *trade off* no qual se obtêm a função valor  $v_j(x_j)$  para cada critério  $j$ , as quais devem estar numa escala de 0 (zero) a 1 (um), de modo que  $v_j(p_j) = 0$  e  $v_j(m_j) = 1$ . Este procedimento utiliza esses limites para as constantes de escala e procura resolver o problema do decisor com base em problemas de programação linear.

Um dos métodos que utilizam agregação aditiva proposto por Edwards e Barron (1977) é o SMART (*Simple Multi-Attribute Rating Technique*), nesse procedimento utiliza o *swing* para estabelecer pesos. Basicamente é conduzido em regras que incluem avaliação de adequação das hipóteses para a aproximação da avaliação intracritério linear e para agregação como o modelo aditivo. Nesse método, o decisor começa classificando os atributos envolvidos em ordem de importância, após o qual o atributo menos importante recebe o valor 10 e atribui valores maiores aos demais atributos em ordem de sua importância relativa. Finalmente, os pesos são calculados pela normalização dos valores. Para um problema de tomada de decisão com  $n$  atributos ( $j = 1, 2, \dots, n$ ),  $s_j$  é o valor que o decisor atribui ao atributo  $j$ , e  $w_j$  é o peso de importância do atributo  $j$ .

$$w_j = \frac{s_j}{\sum_{j=1}^n s_j}, \forall j. \quad (6)$$

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) também realiza a agregação aditiva dando ênfase em procedimento próprio para modelagem de preferência do decisor. O método, criado por Thomas L. Saaty em meados da década de 70, apresenta uma forma estruturada para estabelecer os objetivos e estabelecimento de critérios numa forma hierárquica (*value tree*). Utilizando um processo comparativo par a par para cada critério. As avaliações seguem numa escala de razão em nove níveis, onde os níveis intermediários são estabelecidos quando existe a hesitação do decisor. O método introduz a possibilidade de avaliação de inconsistências no julgamento de valor do decisor. Embora largamente utilizado, pelo fato de que não existe muito esforço do decisor, a literatura aponta alguns problemas nesse método, como por exemplo: reversão da ordem; a interpretação dos pesos dos critérios, representando a importância relativa e o uso da escala de razão para todos os julgamentos, que implica a existência do zero absoluto (ALMEIDA, 2013).

Outro método compensatório que podemos destacar é o MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) que se baseia na avaliação de

natureza qualitativa sobre diferenças de atratividades, com uma escala de 6 (seis) níveis entre opções, permitindo a construção de uma escala numérica (BANA; COSTA et al, 2005).

Conforme Bana e Costa et al (2005), o método propõe construir uma escala de valor através da comparação e julgamento pelo decisor entre dois elementos apenas, de modo que não o obriga a produzir diretamente uma representação numérica de preferências.

A construção da escala numérica ocorre através de formulação em programação linear, no qual estabelecem condições necessárias para construção de uma escala intervalar de forma consistente (ALMEIDA, 2013). De forma que seja dentre um conjunto finito de ações potenciais para o qual o decisor deseja julgar a atratividade, sua decisão deverá seguir a seguinte notação:

- $\forall a, b \in A, v(a) > v(b)$  se e somente se o decisor julgar  $a$  mais atrativo que  $b$  ( $aPb$ );
- $\forall a, b, c, d \in A$  com  $aPb$  e  $cPd$ ,  $[v(a) - v(b)]/[v(c) - v(d)]$  reflete a razão que o decisor sente com maior ou menor precisão das diferenças de atratividade, entre  $a$  e  $b$  de um lado e  $c$  e  $d$  do outro lado.

A escala dos valores  $v$  satisfaz as condições que definem a noção de mensuração valorada, pois irão seguir imediatamente que  $\forall a, b, c, d \in A$  com  $aPb$  e  $cPd$ ,  $v(a) - v(b) > v(c) - v(d)$ , se somente se a diferença de atratividade entre  $a$  e  $b$  é maior do que a diferença de atratividade entre  $c$  e  $d$ .

Neste contexto, no processo de questionamento para o decisor, seu julgamento absoluto de diferença da atratividade atribuindo entre pares  $(a, b)$  segue uma das três categorias semânticas:

- $C_2$  – fraca
- $C_4$  – forte
- $C_6$  – extrema

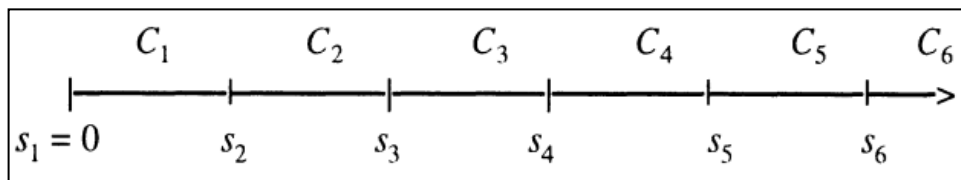
Caso o decisor tenha hesitação no julgamento:

- $C_1$  – muito fraca
- $C_3$  – Moderada
- $C_5$  – muito forte

Apesar dessa ideia básica comum, existem diferenças fundamentais significativas entre MACBETH e AHP. Primeiro, em MACBETH os julgamentos absolutos dizem respeito a diferenças de atratividade, enquanto no método da AHP, dizem respeito a proporções (de prioridade ou de importância). Além disso, e esta é uma distinção fundamental entre os

procedimentos técnicos por trás das duas abordagens, para determinar uma escala numérica, a AHP associa a priori um único número fixado arbitrariamente a cada uma de suas categorias de razões, enquanto em MACBETH associa a cada uma das seis categorias  $C_1$  a  $C_6$  um intervalo da reta real, conforme mostra a Figura 11 e os limiares  $s_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ) que definem os intervalos associados às categorias não são fixados a priori, pelo contrário, são determinados simultaneamente com a escala numérica  $v$  que se procura. (BANA; COSTA et al, 2005):

Figura 11 - Representação das categorias do método MACBETH numa reta real.



Bana: Costa et al (2005)

Uma das principais características do MACBETH é o fornecimento de um indicador de inconsistência do conjunto de juízo formulados e sugestões para facilitar revisões do julgamento. Para ordenação dos critérios, o método utiliza o processo de *swing*, que consiste incluir na matriz de avaliação uma alternativa hipotética que tem o pior desempenho em todos os critérios, tendo, portanto, o valor 0 (zero), conforme o decisor escolha conforme o melhoramento da alternativa para o valor máximo de 1 (um), este critério terá o maior valor na constante de escala, de modo que ao final, poder-se-á ter uma ordem nas constantes de escalas,  $k_1 > k_2 > k_3 > \dots > k_n$ , porém seus valores serão elicitados no decorrer do procedimento.

Para os métodos não compensatórios, também conhecidos de métodos de sobreclassificação ou superação, consistem em uma das principais escolas de métodos de decisão multicritério. Conforme Almeida (2013) os métodos mais usados são da família ELECTRE e PROMETHEE, dos quais serão abordados seus aspectos relativos na aplicação prática.

Diferente dos métodos compensatórios, que possuem uma característica forte de agregação analítica para estabelecer um *score* para cada alternativa, de modo a facilitar a comparação entre as alternativas, os não compensatórios assumem em sua modelagem a incomparabilidade na estrutura do decisor, usando uma relação de sobreclassificação entre as alternativas, que não é transitiva.

Ainda conforme Almeida (2013), nesses métodos de sobreclassificação, não existe o problema de uso da noção de pesos como grau de importância, ao invés disso pode-se traduzir

essa importância por meio do critério de votos. Considerando  $A$  e  $B$  dois subconjuntos da família de critérios  $C$ ,  $A$  será mais importante do que  $B$ , se duas ações ' $m$ ' e ' $n$ ' são encontradas tal que:

- ' $m$ ' é melhor do que ' $n$ ' para todos os critérios de  $A$ ;
- ' $n$ ' é melhor do que ' $m$ ' para todos os critérios de  $B$ ;
- ' $m$ ' e ' $n$ ' são indiferentes para todos os outros critérios;
- ' $m$ ' é globalmente melhor do que ' $n$ '.

A família de métodos ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*), baseado no princípio da maioria, inicialmente proposto por B. Roy (1968), fundamentam-se na construção da relação de sobreclassificação ( $S$ ) que incorpora as preferências estabelecidos pelo decisor diante dos problemas e das alternativas disponíveis, eliminando as alternativas consideradas como dominadas.

Os métodos são aplicados em duas fases, a primeira na construção da relação de sobreclassificação, estabelecendo uma comparação binária par a par entre as alternativas para todas as alternativas e a segunda fase, busca a exploração das relações, aplicando-se um procedimento ou algoritmo para resolver o problema em função da problemática abordada, gerando assim uma recomendação.

A partir das evidências dos critérios que favorecem uma indagação, os métodos utilizam dois conceitos para construção da relação de sobreclassificação, o de concordância e a discordância. Na avaliação da concordância, é considerado a possibilidade de ocorrência de interações entre critérios; mútua forte, mútua fraca e antagônica. Desta forma mede-se a “força” que um critério  $a$  é tão boa quanto o outro  $b$  ( $aSb$ ), medida através de um índice de proporcionalidade, conforme os diferentes sistemas de modelagem de preferência.

Já na discordância, exerce o papel de veto em relação a concordância, sendo considerado outro parâmetro importante, definido em relação a cada critério, a partir do qual uma alternativa não será aceita a proposição de que uma alternativa prevaleça a outra. Também é determinada através de um índice de discordância ( $D$ ), que é calculada pela maior diferença relativa entre dois critérios  $b$  e  $a$ , dentre os critérios que em que  $b$  é melhor que  $a$ .

De forma geral os métodos ELECTRE aplicados em problemas reais, podem fornecer diferentes tipos de recomendações, incluindo a seleção, classificação ou ordenação de um conjunto de ações, representando bem os diferentes problemas de decisão que são encontrados e normalmente requer menos informações dos decisores para fornecer as recomendações.

O segundo método de sobreclassificação que destacamos é a família PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation*), desenvolvido por Brans et al. (1984), também baseado em duas fases: construção da relação de sobreclassificação, agregando informações entre duas alternativas e seus critérios, e exploração dessas relações para apoio de decisão na priorização de múltiplas alternativas (ALMEIDA, 2013).

As principais características dos métodos PROMETHEE são simplicidade, clareza e estabilidade. Com base na noção de critério generalizado para construir uma relação de superação valorizada, apresenta os parâmetros com significado físico ou econômico, de forma que o tomador de decisão possa facilmente corrigi-los. Duas formas de tratamento são propostas: É possível obter uma pré-ordem parcial (PROMETHEE I) ou completa (PROMETHEE II), ambos em um conjunto finito de ações viáveis (BRANS et al, 1986).

A estruturação da validação do método estabelece um peso ( $p_i$ ) para cada critério, no qual reflete o grau de importância do critério. PROMETHEE apresenta seis formas diferentes de o decisor representar suas preferências, não necessariamente usando a mesma forma para todos os critérios, são critérios gerais, usados para identificar a intensidade da preferência. Conforme o modo como a preferência do decisor aumenta com a diferença entre o desempenho das alternativas para cada critério [ $g_i(a) - g_i(b)$ ], ele pode definir uma função  $F(a, b)$  que assume valores entre 0 e 1. Esses valores aumentam se a diferença de desempenho ou a vantagem de uma alternativa em relação a outra aumenta e é igual a zero se o desempenho de uma alternativa for igual ou inferior ao da outra, conforme seis critérios apresentados por Brans e Mareschal (2002) (ALMEIDA e COSTA, 2002).

Estabelecidas as intensidades de preferências, obtém-se o grau de sobreclassificação  $\pi(a, b)$  para cada par de alternativas ( $a, b$ ), sendo obtido conforme apresentado por Almeida (2013).

$$\pi(a,b) = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^n p_j F_j(a, b) \quad (7)$$

Em que

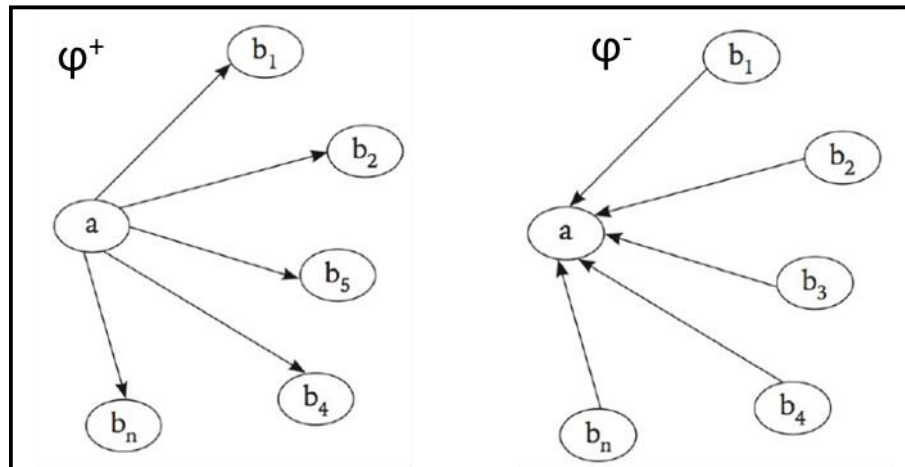
$$P = \sum_{j=1}^n p_j \quad (8)$$

Na segunda fase do método PROMETHEE, dois indicadores são utilizados,  $\varphi^+$  sobreclassificação de saída e  $\varphi^-$  sobreclassificação de entrada. Sendo  $\varphi^+$  a “intensidade de preferência” de uma ação ‘a’, sobre todas as alternativas ‘b’ no conjunto de ações, quanto maior for  $\varphi^+(a)$ , melhor ser a alternativa ‘a’.



As representações dos fluxos de sobreclassificação de entrada e saída podem ser representadas graficamente, conforme apresenta na Figura 12, na qual mostra os arcos de saída da alternativa 'a' quando  $g_i(a) > g_i(b)$ , assim como o fluxo de sobreclassificação de entrada da alternativa 'a', quando se tem a intensidade de preferência de todas as alternativas 'b' sobre a alternativa 'a' ( $\varphi^-(a)$ ) (ALMEIDA, 2013).

Figura 12 - Representação gráfica de fluxo que sai ( $\Phi^+$ ) e do fluxo que entra ( $\Phi^-$ )



Fonte:ALMEIDA (2013)

Outra forma de se obter os índices  $\varphi^+$  e  $\varphi^-$  proposta por Brans e Mareschal (2002) é através da razão entre o somatório dos valores associados aos arcos de entrada ou saída e o número ( $n - 1$ ) de alternativas comparadas com  $a$ .

### 2.3.1.1 Métodos Multicritério para Portfólio

As problemáticas de Portfólio, que tem o objetivo de escolher, do conjunto de alternativas, certo subconjunto que atenda aos objetivos, sob determinada restrição, como por exemplo a seleção de Portfólio de Projetos, que se tem a seleção de um subconjunto de projetos que eleva o valor total de benefícios obtidos, sujeito a uma restrição orçamentária.

Ao longo dos anos, muitos métodos PDA (Portfolio Decision Analysis) foram propostos para abordar problemas de portfólio de projetos, como (Mavrotas et al., 2008; Mavrotas & Makryvelios, 2021) na seleção de projetos de pesquisa e desenvolvimento, (Mild et al., 2015) em gerenciamento de ativos de infraestrutura, (Mavrotas, 2013 e Shakhshi-Niaei et al., 2011) na área de telecomunicações, (Baker et al., 2020) na energia. Em geral, os projetos individuais são avaliados em um conjunto de critérios e o valor global de um portfólio é calculado como a soma

das pontuações (ou valores) multicritério dos projetos incluídos no portfólio. Em seguida, um modelo de otimização com função objetivo de maximizar o valor de um portfólio é resolvido para gerar um portfólio ótimo final. Em particular, cada projeto tem uma pontuação multicritério e um custo associado, e a formulação do modelo tem uma forma de mochila para maximizar um valor agregado dos projetos individuais sob o recurso fornecido e outras restrições relevantes. Embora os objetivos mais comuns dos decisores seja assumir preferência de projetos com valores mais altos em aplicação de PDA, pesquisas destacam que a existência de estudos propondo diferentes objetivos que permitem controlar a distribuição de boas avaliações em diferentes critérios sobre os critérios que compõem um portfólio e melhorar a eficiência do portfólio selecionado (Kandakoglu,2022).

Quando uma decisão de portfólio é modelada como um problema da mochila, assume-se que os portfólios com valores mais altos são os preferidos pelos decisores, porém existe uma desvantagem de utilizar esse modelo pelo fato que projetos com valores multicritério baixos e custos baixos podem ser preferidos a projetos melhores com custos mais altos devido a questões de escala.

No trabalho desenvolvido por KANDAKOGLU (2022), é apresentada uma revisão sobre métodos para auxiliar os decisores em problemas de PDA, enfatizando os aspectos da robustez e os objetivos dos modelos de otimização. A definição de robustez está em função do contexto e da disciplina, assim como definições otimistas e pessimistas dos decisores, essas diferentes definições levam às medidas de robustez que serão utilizadas para fornecer recomendações em nível de portfólio.

Conforme trabalho de Marques et al (2022), a seleção do portfólio de projetos geralmente envolve múltiplos critérios e, tradicionalmente, esse problema é tratado pela Teoria do Valor Multiatributo (MAVT). Vetschera (2012), destaca entre os métodos de superação, o uso frequente do PROMETHEE para resolver o problema de portfólio. Além disso, os problemas de seleção de portfólio são muitas vezes tratados por meio de métodos compensatórios, como os que realizam agregação aditiva.

No trabalho de Frej et al. (2021) utilizou relações de dominância entre projetos para gerar uma classificação robusta de projetos com base na relação custo-benefício usando informações incompletas sobre os pesos dos critérios e, em seguida, selecionou os projetos com maior relação custo-benefício para o portfólio desde que caibam no orçamento disponível. Já Shakhshi Niaei et al. (2011) incorporou uma combinação de PROMETHEE e Programação Inteira em uma estrutura de simulação de Monte Carlo para avaliar os projetos sob incerteza e usou a saída da simulação para analisar o impacto de diferentes incertezas na seleção final do projeto.

No artigo de Kandakoglu (2022), no qual utilizou um problema de decisão de portfólio de projetos de manutenção de pontes, avaliando suas incertezas de múltiplos critérios, informações de preferência dos tomadores de decisão e restrição de recursos financeiros, baseou-se em agrupamento ordenado multicritério. A formulação desenvolvida gerou um conjunto de melhores projetos com altas avaliações multicritérios que atendem aos recursos e restrições, usando o método de proposto por Shakhisi Niaei et al (2011) com uma extensão da técnica de agrupamento de K-medoides (extensão algoritmo para programação inteira), obtendo portfólio de projetos ideais. Essa combinação incorporada à estrutura SMAA (*Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis*) gerou portfólios potencialmente ótimos, alterando diferentes valores de avaliações de critérios, limites de preferência, parâmetros de peso e restrições de recursos, de modo que, a partir de uma série de soluções de portfólio obtidas por meio do algoritmo, ajudou aos tomadores de decisão a identificarem o portfólio mais robusto e estável.

Marques et al (2022) aborda que os problemas de seleção de portfólio envolvem nível de complexidade além do processo voltado para a maximização de benefícios que é limitado por certas restrições. Neste outro nível, são considerados: o processo de seleção dos projetos a serem incluídos nas carteiras, a natureza do problema combinatório, bem como a formação de carteiras com a agregação das consequências dos projetos selecionados. Neste contexto, o autor propôs o uso de simulação sobre as prioridades computacionais do FITradeoff no qual auxiliou a elicitar as preferências do decisor por meio de uma abordagem estruturada, reduzindo o esforço cognitivo para isso, de forma que sendo utilizado para resolver um problema combinatório no processo de geração de portfólio, considerando informações parciais sobre preferência.

Outra aplicabilidade na teoria e prática do PDA foi o trabalho desenvolvido por Mild (2015), no qual utilizou a metodologia *Robust Portfolio Modeling* (RPM) para auxiliar a tomada de decisões na seleção de projetos de manutenção de pontes da Agência Filandesa de Transporte, diferenciando da maioria dos aplicativos de PDA, pelo fato que forneceu o suporte para decisão auxiliado por computador recorrente, em vez de uma intervenção de oficina de trabalho de decisão única. Outro aspecto utilizado no trabalho de Mild (2015), foi o uso de informações de preferência incompletas e a comunicação da recomendação de decisão por meio de Índices Básicos que ajudaram a fornecer suporte à decisão que é prontamente aceito pelos tomadores de decisão. Somando que essa aplicação, a evidências de que o RPM e outros modelos de otimização de portfólio podem ser úteis mesmo quando não fornecem uma recomendação final de portfólio. De fato, a entrega de resultados “parciais” pode levar a um

melhor ajuste às necessidades de tomada de decisão organizacional do que fornecer um único portfólio “ideal”.

### 2.3.2 Método De Elicitação Flexível e Interativa – FITradeoff

O método escolhido para aplicação neste trabalho foi o de elicitação flexível e interativo (FITradeoff), pelo fato de além de compreender o contexto de construção de um modelo de valor multicritério, o procedimento de flexibilidade pode ser facilmente alterado e adaptado a diferentes condições e circunstâncias conforme elas ocorrem, de forma que se espera que o decisor forneça menos informações do que nos procedimentos padrões, uma vez que não é necessário estabelecer previamente um “peso” dos critérios explorados, permitindo menos inconsistências e mais transparência, além da facilidade de entendimento do problema no processo decisório.

Como abordado no item anterior o processo de FITradeoff, usa uma extensão do método de tradeoff para elicitar os pesos através das duas etapas iniciais, consistindo a avaliação intracritério na fase 1, e a ordenação dos critérios na fase 2, somente na fase 3 é que inicia o procedimento interativo em que as questões serão baseadas no grau de informação necessária com a perspectiva de proporcionar menos inconsistência para a resposta ao problema do decisor de forma a reduzir seu esforço cognitivo, eliminando o típico erro de considerar que os pesos dos critérios de um modelo multicritério aditivo representam apenas uma medida de importância relativa para um determinado conjunto de critérios (ALMEIDA et al, 2017).

De acordo com Almeida et al (2017), o esforço cognitivo do decisor no processo de elicitação dos pesos é simplificado no FITradeoff, dado que se baseia em informações parciais, ou seja, a tendência é que menos informação seja requerida do decisor.

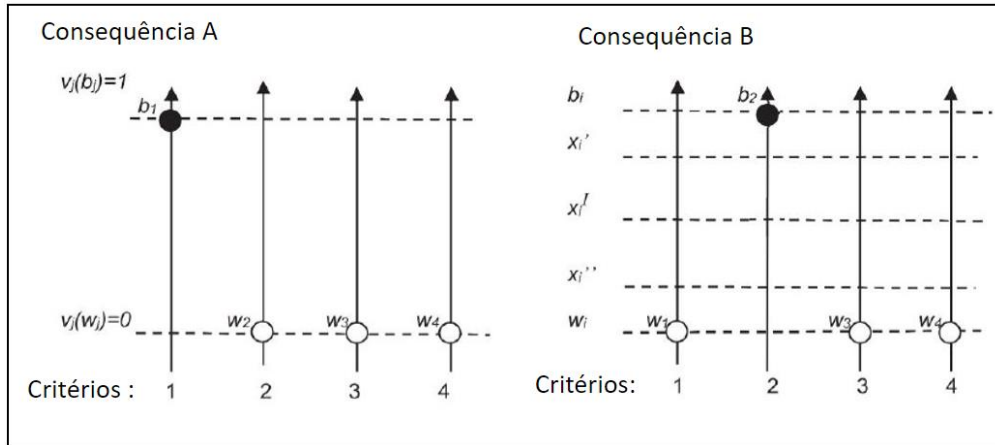
Uma das principais propriedades do método FITradeoff é que ele é capaz de obter uma menor taxa de inconsistências das informações fornecidas pelo decisor e uma grande vantagem é que ele se baseia em questões que envolvem relações de preferência estrita ao invés de relações de indiferença que são mais difíceis para o decisor.

No procedimento para elicitar os pesos utilizando *tradeoff* o decisor compara as consequências, nesta etapa o decisor é solicitado a escolher entre duas consequências principais, ambas apresentando o melhor resultado ( $b_i$ ) para um determinado critério e o pior resultado ( $w_i$ ) para os demais.

Sejam  $A$ ,  $B$  e  $C$  três consequências diferentes, em que a consequência  $A$  tem o melhor resultado ( $b_i$ ) para o critério 1 e o pior resultado ( $w_i$ ), para os demais, conforme representado

na Figura 13. A função de valor é definida de forma que  $v_i(b_i) = 1$  e  $v_i(w_i) = 0$ . Assim, aplicando a função de valor aditivo dada no tópico 2.3.1, o valor da consequência  $A$  é dado por  $v(A) = k_1 v_1(b_1) = k_1$  (ALMEIDA et al, 2016).

Figura 13 - Comparações de consequências para eliciação de pesos por meio de relação de Preferência



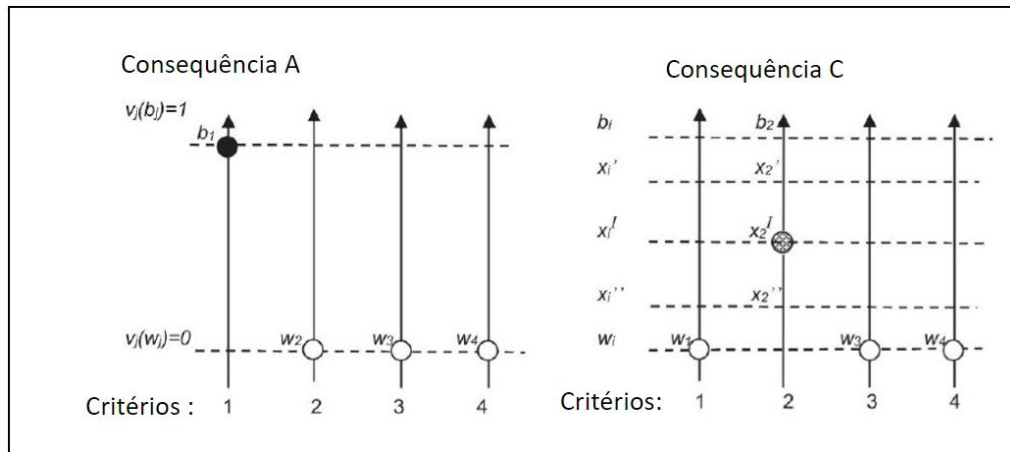
Fonte: Almeida (2016)

Seja ainda na Figura 13, que a consequência B tem o melhor resultado para o critério 2, portanto o valor da consequência B é dado por  $v(B) = k_2 v_2(b_2) = k_2$ , considerando uma relação de preferência estrita ( $P$ ), de tal modo que para o decisor possa afirmar que A é preferível a B ( $APB$ ) ou B é preferível a A ( $BPA$ ), então, assumindo que o decisor prefere a consequência B à A ( $BPA$ ), então,  $k_2 > k_1$  e caso contrário,  $k_1 > k_2$ . Esta parte do procedimento obtém a ordem dos pesos  $k_i$ , usando a relação de preferência estrita ( $P$ ) (ALMEIDA et al, 2016).

Os passos seguintes consistem em obter as relações de indiferença ( $I$ ) para encontrar o valor de  $k_i$ . Essas relações de indiferença são aplicadas, denotando as consequências do tipo mostrado na Fig. 14. Seja  $x_i^I$  denote o resultado do critério pares de  $i$  para o qual a indiferença é obtida. Nesse caso, a consequência C tem o resultado  $x_2^I$  para o critério 2 e o pior resultado  $w_i$  para os demais, o que significa que  $v(C) = k_2 v_2(x_2^I)$ . Nesta condição, o decisor deve informar qual o resultado no critério 2 que torna a consequência A e C indiferentes ( $AIC$ ), caso ela tenha habilidade para discernir essa indiferença, tem-se a relação estabelecida  $v(A) = v(C)$ , consequentemente  $k_1 = k_2 v_2(x_2^I)$ . Portanto,  $v_2(x_2^I)$  pode ser aplicado para calcular a razão entre os pesos  $k_1/k_2$ , considerando que  $\sum_{i=1}^n k_i = 1$  e  $k_i \geq 0$ , são necessários  $n - 1$  equações semelhantes para encontrar os valores dos pesos (ALMEIDA et al, 2016).

Observa-se ainda, na Figura 14, os valores de  $x_2''$  e  $x_2'$  na consequência  $C$ , são os limites inferior e superior a  $x_2^I$  respectivamente, que podem ser avaliados pelo decisor uma vez que o mesmo tenha dificuldade de definir a relação de indiferença, sendo esta a principal proposição do método de elicitación flexível.

Figura 14 - Comparações de consequências para elicitación de pesos por meio de relação de Indiferença

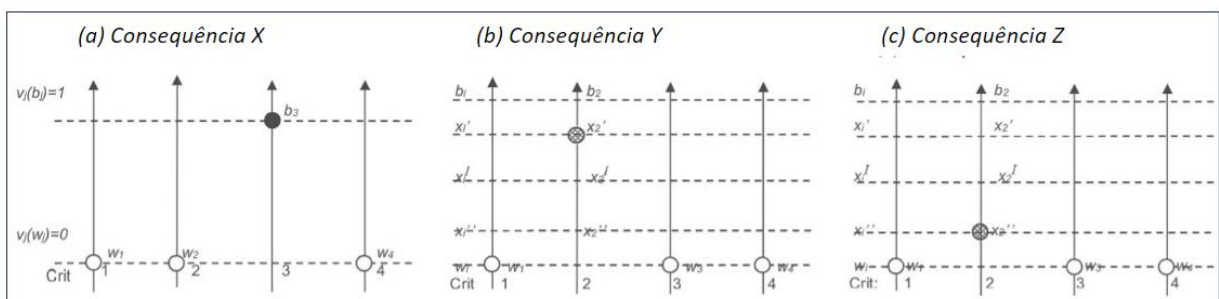


Fonte: Almeida (2016)

A especificação  $x_i''$  e  $x_i'$  é obtida a partir da relação de preferência ( $P$ ), conforme mostra na Figura 15, uma vez que o valor da função  $v_i$  é assumido dentro de um intervalo de  $(0,1)$ , podemos ter a seguinte relação:

$$1 = v_i(b_i) > v_i(x_i') > v_i(x_i^I) > v_i(x_i'') > v_i(w_i) = 0 \tag{9}$$

Figura 15 - Comparações de consequências para elicitación de pesos por meio de relação de Preferência



Fonte: Almeida (2016)

Portanto, o decisor pode especificar  $x_i'$  tal que a consequência  $Y$  seja preferível a  $X$  ( $YPX$ ), do mesmo modo que o decisor por especificar  $x_i''$  de modo que a consequência  $X$  seja preferível a  $Z$  ( $XPZ$ ), assim tem-se  $v(Y) > v(X) > v(Z)$ , dede de que  $v(X) = k_3$ ;  $v(Y) =$

$k_2 v_2(x'_2)$  e  $v(x'_i) > v(x''_i)$ , então tem-se  $k_2 v_2(x'_2) > k_3$  e similarmente  $k_2 v_2(x''_2) < k_3$ , uma forma genérica apresentada por ALMEIDA et al (2016):

$$\begin{aligned} k_i v_i(x'_i) &> k_{i+1} : v_i(x'_i) > k_{i+1}/k_i ; \\ k_i v_i(x''_i) &< k_{i+1} : v_i(x''_i) < k_{i+1}/k_i \end{aligned} \quad (10)$$

De acordo com Almeida et al (2016), os pesos dos critérios por FITradeoff se desenvolvem a partir de um exame mais sistemática dessas informações obtidas por elicitacão flexível e buscam um espaço de pesos. Portanto, de acordo com o desempenho das alternativas no espaço de pesos, essas alternativas são classificadas em três diferentes situações: potencialmente ótimas, dominadas ou ótimas.

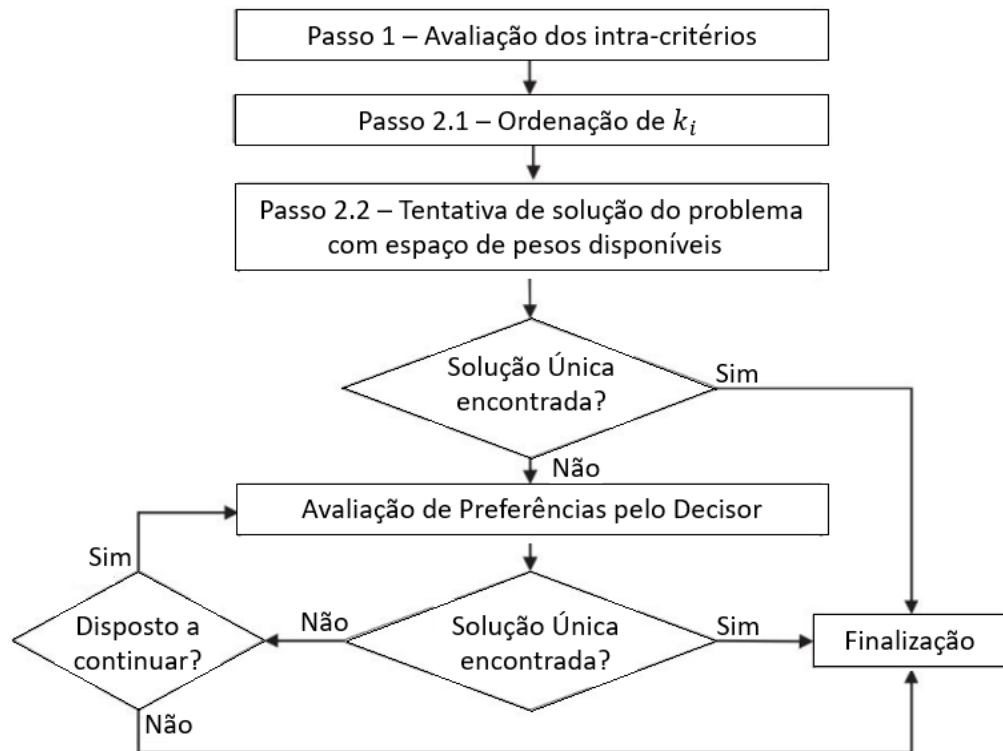
Desta forma, o decisor busca uma alternativa do conjunto de alternativas que tenha o valor máximo de desempenho e levando em consideracão o espaço de pesos, conduzindo o processo de elicitacão de forma flexível, de modo que apenas informações essenciais sejam solicitadas ao decisor, ou seja, uma relacão de preferênci, para especificar  $x'_i$  e  $x''_i$ .

Importante ressaltar que, nesse método, o decisor determina indiretamente a relacão dos pesos, aqueles referentes à razão entre pesos ou intervalo para pesos. Uma vez que a estrutura matemática do procedimento de *tradeoff* pode obter esta relacão de razão entre os pesos, baseada em  $v_i(x'_i)$ , pois esta razão pode ser determinada por  $v_i(x'_i)$  e  $v_i(x''_i)$ , calculando um intervalo para pesos. As questões colocadas diretamente ao decisor envolvem um par de consequênci, que avalia os valores para  $x'_i$  ou  $x''_i$ , como mostrado na Figura 15. Ou seja, obtém-se a relacão de preferênci  $P$ , levando à relacão de razão formulada pelas desigualdades indicadas. Esta estrutura tem mais significado ao conceito de constante de escala ao invés de pesos, pelo fato do decisor pensar em consequênci de suas escolhas, por isso o método é classificado como um procedimento indireto, uma vez que os pesos são obtidos pelo sistema de equações, relacionados às preferênci do decisor (Almeida et al, 2016).

Com relacão às informações de entrada sobre as consequênci, os critérios podem se comportar tanto monotonamente crescente ou decrescente, de qualquer maneira a convençã  $x'_i P x''_i$ . A Figura 16 ilustra como funciona a principal questão levantada pelo método durante o processo de elicitacão, associando a sua flexibilidade.

Na etapa 1 que consiste na avaliacaão intracritério, obtém-se as funções de valor  $v_i(x_i)$  para cada critério  $i$  por meio de uma função linear, uma vez normalizados, com uma escala apropriada entre os valores de 0 (desempenho mínimo) a 1 (desempenho máximo). A entrada é o resultado ou desempenho de cada critério ( $x_i$ ) para cada alternativa individual, na qual a função  $v_i(x_i)$  pode ser aplicada.

Figura 16 - Procedimento do sistema de apoio à decisão



Fonte: Almeida (2017)

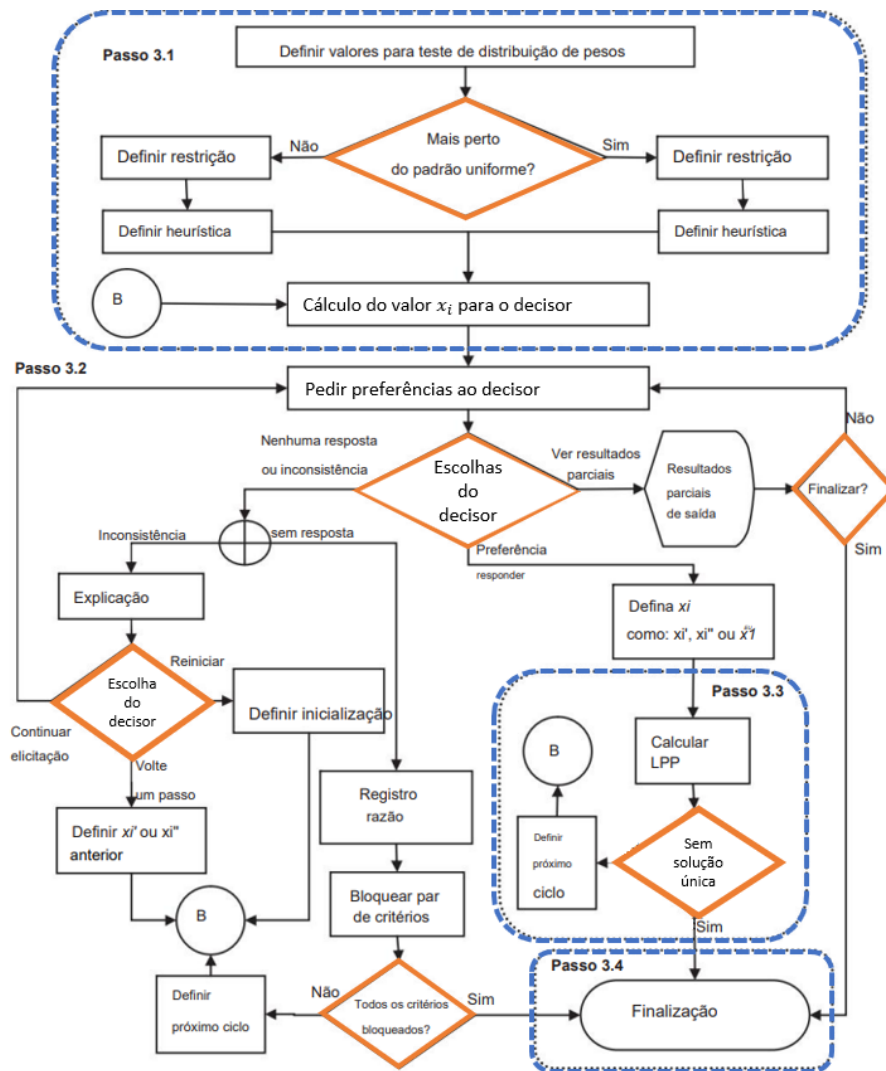
As etapas seguintes 2.1 e 2.2 estão relacionadas aos pesos dos critérios (constantes de escala  $k_i$ ). Na etapa 2.1, o ranqueamento das constantes de escala  $k_i$  é preciso que o decisor identifique empates nos critérios avaliados. Caso o decisor não seja capaz de identificar esse empate, ele poderá identificar nas etapas seguintes. Já na etapa 2.2, é resolvido o problema com o espaço de peso disponível, sendo que a desigualdade estrita é substituída por uma condição de maior ou igual, resolvendo por meio de programação linear.

Caso não seja encontrado uma solução única, inicia-se o processo das etapas do método em questão, conforme ilustrado na Figura 17. Nas etapas 3.1 a 3.4 os valores de  $x'_i$  e  $x''_i$  são determinados, elas são executadas até que se encontre uma única solução ou o decisor opte em não fornecer mais informações essenciais.

De modo a minimizar a quantidade de perguntas ao decisor, é realizada uma análise da distribuição dos pesos para adotar a heurística mais apropriada, desta forma deve observar se a distribuição dos pesos tem comportamento modal ou uniforme, como ilustrado na Figura 18.



Figura 17 - Etapas para elicitación de pesos no modelo de apoio a decisão



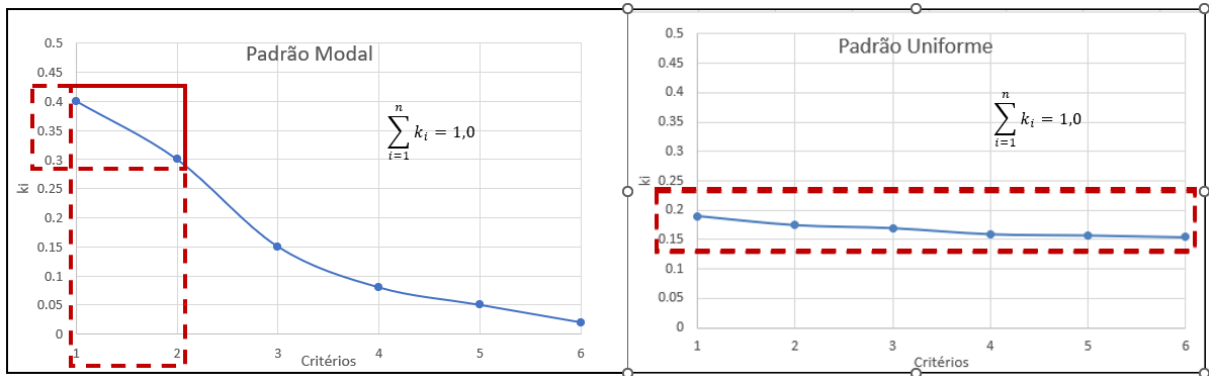
Fonte: Almeida (2017)

Para isso o decisor é solicitado a comparar o primeiro e o último peso dos critérios ordenados, escolhendo entre as seguintes consequências:  $b_n$  e  $x_1$ , tal que  $v_1(x_1) = 0,5$ , em um contexto que em qualquer outro critério se tenha desempenho mínimo ( $x_i = w_i$ ), se o decisor escolher consequência com  $b_n$ , significa que a razão  $k_n/k_1 > 0,5$ , indicando uma distribuição de pesos com padrão uniforme. Caso contrário,  $k_n/k_1 < 0,5$  e a distribuição tem um padrão modal.

Desta forma, para um padrão modal os valores  $x_i'$  e  $x_i''$  são estabelecidos através de ponto médio entre os pesos, iniciando pelo critério com maiores pesos ( $i = 1$ ), sendo o valor inicial de  $x_i$  é tal que  $v(x_i) = 0,5v(b_i) = 0,5$ . Para um padrão uniforme, a heurística mais apropriada é considerando o valor de  $x_i$  mais próximo da melhor consequência  $b_i$ , avaliando inicialmente ao primeiro meio par de critérios as seguintes igualdades  $v(x_i) = 0,75v(b_i) = 0,75$ , caso

confirmado, passa a avaliar uma  $v(x_i) = 0,875v(b_i) = 0,875$ , em seguida aplica-se a regra básica, onde  $x_i$  é tal que  $v(x_i) = (v(x'_i) - v(x''_i))/2$ .

Figura 18 - Distribuição dos Pesos ( $k_i$ ) no Padrão Modal e Uniforme para seis critério hipotéticos



Fonte: Próprio autor (2023)

A heurística para um resultado discreto é ligeiramente diferente, no qual consiste em escolher  $x_i = (x'_i - x''_i)/2$ , caso o número de níveis na escala discreta seja ímpar. Caso contrário, duas opções no meio estão disponíveis e o maior valor é escolhido arbitrariamente. Por exemplo, para uma escala discreta com seis níveis:  $y_1Py_2Py_3Py_4Py_5Py_6$ . Então,  $b_i = y_1$  e  $w_i = y_6$  e apenas quatro opções são consideradas para:  $x'_i$  e  $x''_i$ :  $y_2, y_3, y_4, y_5$ . Então,  $x_i = y_3$  (ALMEIDA, 2016).

A nova fase de interação, etapa 3.2, ocorre com o questionamento ao decisor para avaliar  $x'_i$  e  $x''_i$ , levando em consideração o resultado encontrado de  $x_i$  da etapa anterior, o decisor pode estabelecer seu julgamento de preferência ou indiferença, pode solicitar ver resultados parciais, não ter respostas ou apresentar alguma inconsistência.

Para o julgamento de preferência, que é o esperado do decisor, observando a Figura 14, tem-se três condições: Consequência A (APC), caso  $x_i = x''_i$ ; Consequência C (CPA), para  $x_i = x'_i$  ou Indiferença (AIC), para  $x_i = x'_i$ . Com isso, o modelo passa para próxima etapa que resolve as inequações por meio de programação linear, por meio da etapa 3.3 da Figura 17. Nesta etapa, refere-se à resolução de espaço de pesos baseados nas inequações abaixo, dado as informações disponíveis de  $x'_i$  e  $x''_i$ :

$$\varphi = \left\{ \begin{array}{l} (k_1, k_2, k_3, \dots, k_n) \mid \sum_{i=1}^n k_i; k_i \geq 0 \\ k_1 v_1(x''_1) < k_2 < k_1 v_1(x'_1); \dots; \\ k_i v_1(x''_i) < k_{i+1} < k_i v_1(x'_i); \dots; \\ k_{n-1} v_1(x''_{n-1}) < k_n < k_{n-1} v_1(x'_{n-1}) \end{array} \right\} \quad (11)$$

As alternativas são comparadas para serem classificadas em potencialmente ótima, dominadas ou ótima. Existindo uma única solução, a etapa finalização 3.4 é conduzida, caso contrário, as alternativas dominantes são eliminadas e todas as alternativas potencialmente ótimas retornam ao processo da etapa 3.1, até que uma única solução seja encontrada.

Desta forma o modelo conduz para redução desse espaço de pesos, solicitando ao decisor novas relações de preferências ( $P$ ) pelo tempo necessário a se encontrar uma solução única (Almeida, 2016). Enquanto existir uma alternativa potencialmente ótima, o processo continua questionando o decisor. Neste processo operacional, esta solução é encontrada quando o subconjunto de alternativas potencialmente possui apenas um elemento. Para que isso ocorra, a seguinte programação linear é aplicada para cada alternativa  $j$ , considerando as consequências  $x_{ij}$ , para o critério  $i$  na alternativa  $j$ :

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximizar } \sum_{i=1}^n k_i v_i(x_{ij}), j = 1, 2, \dots, m \\
 & k_1, k_2, \dots, k_n \\
 & \text{restrito à} \\
 & \sum_{i=1}^n k_i v_i(x_{ij}) \geq \sum_{i=1}^n k_i v_i(x_{iz}), z = 1, 2, \dots, m, z \neq j \\
 & k_{i+1} \leq k_i v_i(x'_i) - \varepsilon, \text{ de } i = 1 \text{ para } n - 1 \\
 & k_{i+1} \geq k_i v_i(x''_i) + \varepsilon \text{ de } i = 1 \text{ para } n - 1 \\
 & \sum_{i=1}^n k_i = 1, \\
 & k_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \tag{12}$$

Na aplicação desta LPP (*linear programming problem*), podem ocorrer as seguintes situações:

- Apenas uma alternativa potencialmente ótima é encontrada (solução única). Então, esta é a alternativa ótima e solução final para o problema.
- Mais de uma alternativa potencialmente ótima é encontrada. Essas alternativas potencialmente ótimas formam um novo subconjunto de alternativas que serão analisadas posteriormente, pois são possíveis soluções para o problema. Todas as outras alternativas são dominadas e não são mais consideradas.

No trabalho de Frej et al (2019), é proposto um novo método para resolver problemas de tomada de decisão de múltiplos critérios para ordenação de alternativas com o uso de visualização de dados, baseado na elicitación Flexível e Interativa de Tradeof (FITradeoff). De acordo com os autores, a ideia é estender o conceito da flexibilidade e interatividade na

elicitação para uma problemática do ranqueamento, incorporando as relações de dominância par a par em FITradeoff, a fim de alcançar uma ordem parcial – ou completa – em cada interação com o decisor.

Ao final do processo de escolha por FITradeoff, é obtido um espaço de pesos  $\varphi$  de forma que existe um conjunto de vetores de pesos para os quais a alternativa escolhida é a melhor. Mas, quanto à problemática do ranqueamento, pode acontecer que diferentes vetores de peso em  $\varphi$  resultem em ordens finais diferentes das alternativas, ainda que todas resultem na mesma alternativa para o primeiro lugar do ranqueamento (FREDJ et al, 2019).

Ainda, conforme Frej et al (2019) existe a necessidade de verificar as relações de dominância entre as alternativas para o nível atual de informação parcial obtida, a fim de construir um ranqueamento parcial ou completo de acordo com as informações disponíveis, desta forma as alternativas devem ser comparadas entre si e as relações de preferência verificadas para que o conceito de otimalidade potencial não seja mais suficiente para conduzir a análise. A dominância entre pares precisa ser verificada em cada etapa. Portanto, um modelo programação linear deve ser executada para cada par de alternativas de forma a tentar encontrar relações de dominância, assim, a cada passo, para cada par de alternativas  $(A_i, A_k)$ , o seguinte problema de programação linear é executado:

$$\text{Maximizar } D(A_i, A_k) = \sum_{j=1}^m k_j v_j(A_i) - \sum_{j=1}^m k_j v_j(A_k)$$

Restrito à:

$$k_1 > k_2 > \dots > k_m \mid \sum_{j=1}^m w_j = 1 \quad (13)$$

$$k_j v_j(x'_j) > k_{j+1} \quad j = 1 \text{ para } m - 1$$

$$k_j v_j(x''_j) < k_{j+1} \quad j = 1 \text{ para } m - 1$$

$$k_j \geq 0 \quad j = 1 \dots m$$

Sendo preciso avaliar segundo o Teorema 1 (Fredj et al, 2019), a depender do valor ótimo  $D$  tem-se três possíveis resultados:

- Se  $D(A_i, A_k) < 0$ , então  $A_k$  domina  $A_i$  em relação a  $\varphi$ ;
- Se  $D(A_i, A_k) \leq \varepsilon$  e  $D(A_k, A_i) \leq \varepsilon$ , então  $A_i$  e  $A_k$  são indiferentes em relação a  $\varphi$ ;
- Se  $D(A_i, A_k) > 0$  e  $D(A_k, A_i) > 0$ , e também maior que  $\varepsilon$  ( $\varepsilon > 0$ ), então  $A_i$  e  $A_k$

são incomparáveis para o nível de atual informação parcial de  $\varphi$ .

A medida que o decisor responde às perguntas no FITradeoff, mais restrições são obtidas, de modo que o espaço de pesos fica mais apertado, a partir disso, uma matriz de dominância pareada pode ser obtida a cada ciclo. Com uma matriz de dominância para a par, é possível construir uma ordenação (parcial ou completo, dependendo da quantidade de informação obtida) das alternativas (Fedj 2019). A cada ciclo, diagrama de visualização do ranking das alternativas, apresentado por meio de grafos orientados, conhecido como diagrama de Hasse, nome dado ao pesquisado alemão Helmut Hasse (1898-1979), a partir do qual é construído um ranking das alternativas, por meio de um procedimento de duas etapas.

O primeiro passo é construir um diagrama de visualização de ranking das alternativas, definindo um conjunto inicial de alternativas e avaliar as alternativas que não são dominadas de acordo com o Teorema 1, estabelecendo o subconjunto de alternativas pertencentes a um primeiro nível. O próximo passo é construir um ranking das alternativas com base no diagrama de visualização do passo anterior, de modo a estabelecer conjunto de alternativas sucessivamente mais preferíveis no sentido de classificação.

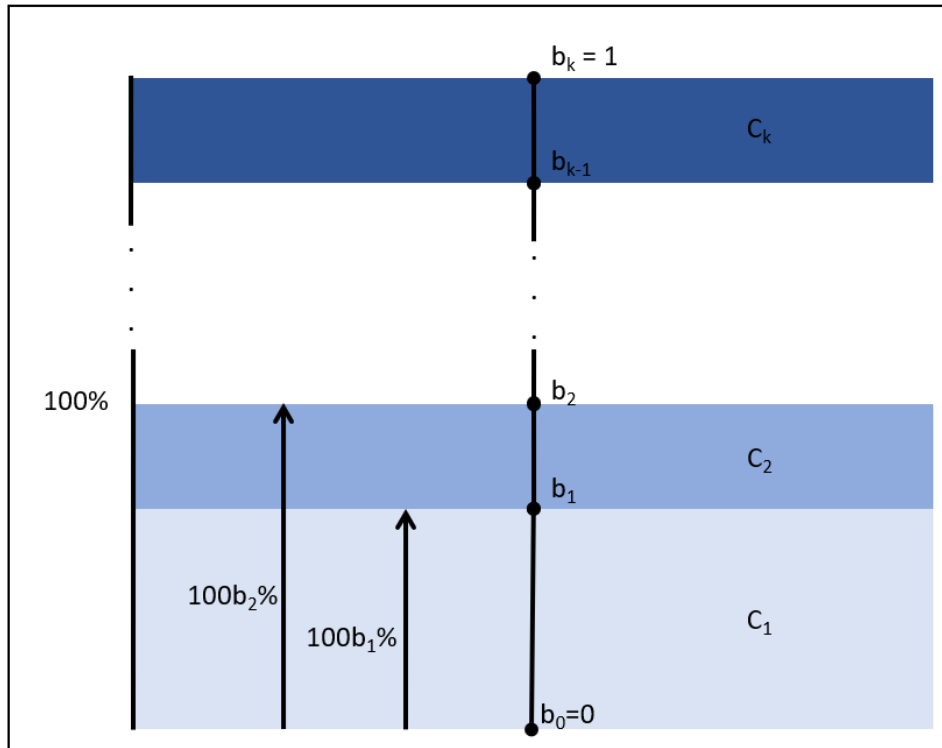
O diagrama de visualização do ranking é uma ferramenta útil no processo de tomada de decisão para a problemática do ranking. Esse recurso permite que os decisores visualizem graficamente as relações de dominância entre as alternativas a qualquer momento durante o processo de elicitación. Uma das características do diagrama proposto é a redução da transitividade, que facilita a visualização, de forma a evitar esforços cognitivos desnecessários (Fredj et al, 2019).

Já o trabalho de Kang et al (2020) desenvolveu o método a partir de problemáticas de classificação, a fim de mostrar como ele pode auxiliar o processo de tomada de decisão para atribuir alternativas em classes, através do uso de valores de borda, ou seja, limites inferior e superior denotados por  $b_r$  no que limitam as classes consecutivas dos problemas, conforme ilustrado na Figura 19. Desta forma, os valores de  $b_r$  são estabelecidos de forma que cada alternativa seja atribuída a uma classe. Para estabelecer esses valores, o decisor pode pensar em termos de porcentagens da faixa de 0 a 1, de forma que representam, respectivamente, a pior e a melhor pontuação geral que uma alternativa pode ter de acordo a função de valor, dentro de uma abordagem compensatória.

Portanto, na problemática de classificação, as alternativas não são comparadas entre si, mas sim com respeito aos valores intrínsecos das categorias preestabelecidas, uma vez que o objetivo é alocar as alternativas em classes preestabelecidas. Assim, as categorias são definidas seguindo uma ordem de preferência, desde das mais desejáveis até as menos desejáveis,

obtendo uma ordem completa das classes  $C_k > C_{k-1} > \dots > C_2 > C_1$  (Figura 19), de modo que cada alternativa é atribuída a uma única categoria.

Figura 19 - Valores limites representadas em porcentagem numa faixa de 0 - 1



Fonte: Kang et al (2020)

O modelo de programação linear para FITradeoff de classificação consiste em dois problemas, uma com objetivo de maximização e outra de minimização do valor global da alternativa  $j$  sujeito a um espaço de pesos, conforme ilustrado abaixo.

$$\text{Maximizar } \sum_{i=1}^n k_i v_i(p_{ij}) \quad (1)$$

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^n k_i v_i(p_{ij}) \quad (2)$$

Restritos à:

$$k_1 > k_2 > \dots > k_n$$

$$k_i v_i(x'_i) > k_{i+1} \quad i = 1 \text{ até } n - 1$$

$$k_i v_i(x''_i) < k_{i+1} \quad i = 1 \text{ até } n - 1$$

$$\sum_{i=1}^n k_i = 1$$

$$k_i \geq 0, \quad i = 1 \dots n$$

(14)

Então os valores máximos e mínimos de cada alternativa são usados para definir o conjunto de categorias às quais uma alternativa poderá ser atribuída, dado a um certo espaço de pesos.

No trabalho de Almeida et al (2021), foi apresentado a introdução da avaliação holística combinada e integrada com o processo de decomposição. Inicialmente, essa avaliação era apenas aplicada para finalização do processo de decisão, ou seja, o decisor poderia optar por fazer uma avaliação holística das alternativas potencialmente ótimas restantes para encontrar uma solução final, concluindo assim o processo de decisão.

Agora, no recurso de flexibilidade, pode-se integrar de forma intercambiável os paradigmas de modelagem de preferência: decomposição e holística, isto significa que a avaliação holística, adiciona mais informações extras durante o processo de elicitación de preferência. Integrando no modelo de avaliação FITradeoff.

A elicitación por decomposição diz respeito à comparação de sequências de consequências, conforme explicado no início do capítulo, no qual leva em consideração o espaço das consequências. A avaliação holística, por outro lado, diz respeito à comparação de alternativas, que pode ser realizada com base nas visualizações gráficas (gráficos de barras, gráficos de bolhas e gráficos de aranha) e tabelas visualizações. Usando esses gráficos e tabelas, os decisores podem entender melhor o problema de multicritério que enfrentam para tomada de decisão (ALMEIDA et al, 2021).

Para problemáticas de escolha, pode-se utilizar avaliação holística baseada em visualização gráfica para que o decisor possa analisar todo o conjunto de alternativas potencialmente ótimas, e definir relações de preferência entre eles. Nas problemáticas de ranqueamento, as relações de incomparabilidade entre alternativas podem ser observadas durante o processo (Frej et al. 2019), portanto, na etapa de avaliação holística, as alternativas incomparáveis em algumas posições do ranking podem ser comparadas diretamente por meio de visualizações gráficas ou tabulares (ALMEIDA et al, 2021).

Assim, um aspecto importante é a interação do analista no apoio ao decisor na decisão de utilizar ou não uma visualização gráfica para definir relação de preferência na avaliação holística, de modo a obtenção de relações de dominância com maior êxito.

A aplicação do método para estrutura de seleção de portfólio foi apresentada por Marques et al (2022), no qual os autores propõem um método de suporte à decisão multicritério baseado nos conceitos de elicitación flexível para o problema de seleção de portfólio de projetos e usa informações de preferência incompletas obtidas do decisor e que são inseridas no sistema de suporte a decisão. O método apresenta, como um diferencial aos existentes, a elicitación de

constantes de escala com informações parciais preservando a estrutura axiomática do procedimento tradicional de tradeoff e com a vantagem da possibilidade de utilização de funções de valor marginal não lineares.

A inovação abordada por Marques et al. (2022) foi desenvolver uma estrutura para um problema combinatório no processo de geração de portfólio, de modo que considere informações parciais sobre preferências, de forma que propôs o uso de uma árvore de busca combinada com o conceito de portfólios  $c$ -ótimos, onde  $c$  representa um conjunto de projetos, não dominados que evita a geração de portfólios indesejáveis.

Desta forma, o método proposto por Marques et al (2022), utiliza quatro abordagens: a agregação das propriedades dos projetos em cada critério; o processo de geração ocorre enumerando explicitamente todas as combinações possíveis dos projetos; a verificação da viabilidade e a eficiência do portfólio e uma análise multiatributo é realizado utilizando o processo de elicitação flexível e interativo.

A proposta de Vestchera e Almeida (2012), uso do conceito de portfólio  $c$ -ótimo, fornece uma solução ótima para um número fixo de projetos  $c$ , variando sistematicamente  $c$ , visando reduzir o esforço computacional durante o processo, sendo representado pela equação abaixo.

$$\sum_d t_d = c \quad (15)$$

Onde o problema de decisão de portfólio considerado diz respeito a um conjunto  $D = \{d: d = 1, \dots, l\}$  de  $l$  projetos, e um portfólio é um subconjunto de  $S \subseteq D$  de vários projetos. O  $t_d$  é uma variável binária que é definida como 1 (um) se o projeto  $d \in S$  e 0 (zero) caso contrário. Os projetos são avaliados em um conjunto de critérios de benefícios e um conjunto de critérios de consumo de recursos. Esses critérios são divididos pelo uso do recurso associado  $(r_{d1}, \dots, r_{dq})$  onde  $r_{dq}$  representa o recurso de consumo  $q$  pelo projeto  $d$ , e os outros critérios  $(e_{d1}, \dots, e_{dp})$ , que representam os benefícios do projeto (MARQUES et al, 2022).

A proposta de um modelo de seleção de portfólio é então dividida em duas fases, conforme ilustrado na Figura 20: a fase de preparação e uma segunda fase, na qual são elicítadas as preferências e aplicado o modelo FITradeoff para escolha. Na fase de preparação, onde não há a participação do decisor, são gerados explicitamente combinações de portfólio para um valor fixo  $c$  de projetos. Nesse processo, são agregados a soma dos recursos (custo ou recursos financeiros demandados) de todos os projetos incluídos no portfólio assim como seus benefícios, que são determinados pelas seguintes equações respectivamente:

$$R_q(S) = \sum_{d \in S} r_{dq}; \quad (16)$$



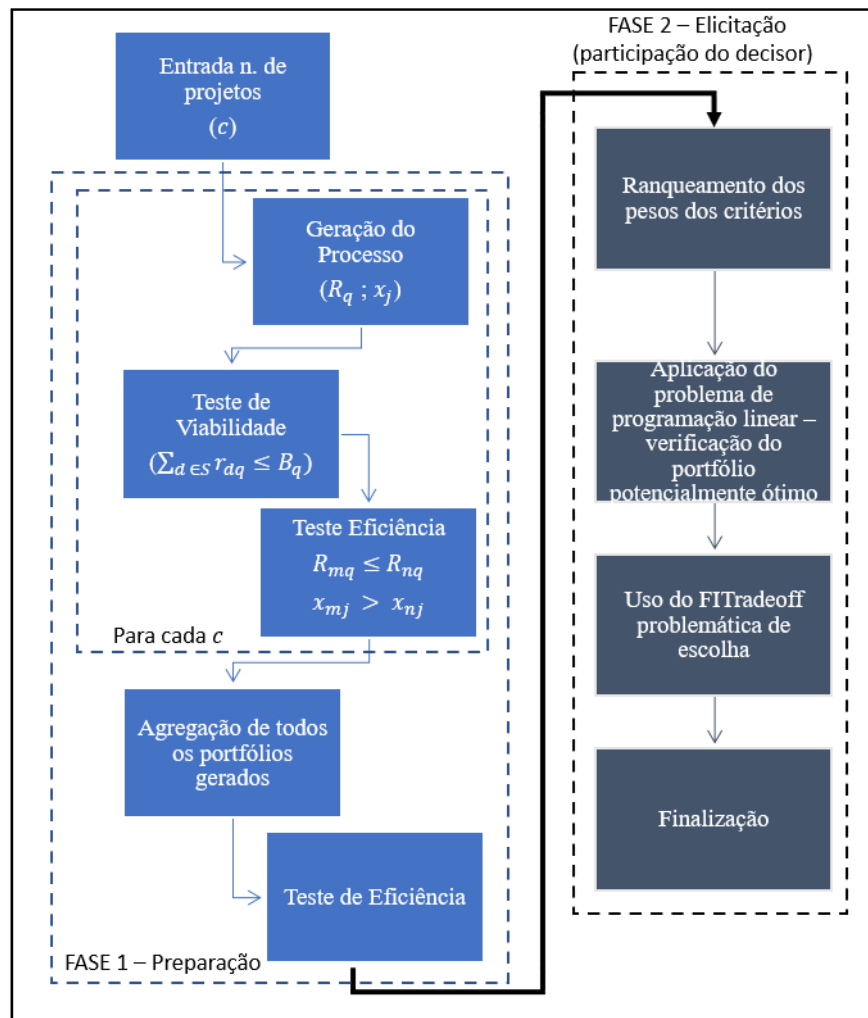
$$x_j(S) = \sum_{d \in S} e_{dj}.$$

Sendo  $R_q(S)$  é a soma do consumo de um portfólio  $S$  e  $x_j(S)$  representa os benefícios do portfólio  $S$  que depende dos benefícios de cada projeto no critério  $j$ . Também é avaliado o teste de viabilidade através da seguinte definição:

$$\sum_{d \in S} r_{dq} \leq B_q \quad (17)$$

Sendo  $B_q$  limite orçamentário para cada recurso  $q$ , essa restrição deve ser avaliada para garantir a viabilidade do portfólio. Para verificar a eficiência dos portfólios viáveis gerados, consiste em eliminar todas as alternativas dominadas em uma comparação entre pares, de modo que um portfólio  $m$  domina um portfólio  $n$  se em uma comparação entre eles,  $R_{mq} \leq R_{nq}$  e  $x_{mj} > x_{nj}$ , ou  $R_{mq} < R_{nq}$  e  $x_{mj} \geq x_{nj}$ , para todo  $q$  e  $j$ , onde  $R_{mq}$  é o consumo de recursos  $q$  do portfólio  $m$ , e  $x_{mj}$  é o valor agregado do portfólio  $m$  no critério  $j$  (MARQUES et al, 2022).

Figura 20 - Etapas do modelo de seleção de portfólio por FITradeoff



A abordagem de geração explícita é usada para verificar se o projeto  $t_1$  pode ser incluído no portfólio, depois passar para o próximo projeto, para verificar se deve ou não incluir o projeto  $t_2$  e assim por diante. Este processo representa um problema combinatório da classe  $2^l$ , sendo  $l$  o número de projetos que devem constar ou não nos portfólios (MARQUES et al, 2022).

Este procedimento é repetido para cada valor de  $c$ , e, finalmente, os portfólios viáveis e eficientes gerados são agregadas e a análise de eficiência é realizada novamente. Neste ponto, todas os portfólios de tamanhos diferentes são comparados, concluindo assim a fase de preparação.

Após esta fase (ver Figura 20), inicia-se a interação com o decisor, de modo a obter o ranqueamento dos pesos, e executado o problema de programação linear obtendo assim um conjunto de portfólio potencialmente ótimos. A partir daí, inicia-se o procedimento de elicitación das preferências do decisor e o processo continua conforme planejado para problemática de escolha utilizando o método FITradeoff para selecionar o portfólio ótimo.

### 3 METODOLOGIA

O modelo desenvolvido observou critérios essenciais para o julgamento do decisor, como a simplicidade de determinação de seus desempenhos, a sua utilidade quanto aos aspectos relacionados a qualidade e segurança social, estas questões relacionam-se com a preferência do decisor ou a elicitación de suas preferências sobre um conjunto de consequências. Outras características, apresentado por Almeida (2013), foram observados no modelo, uma vez que estão associados a essência dos modelos de decisão, como a facilidade no processo de elicitación de preferência, que é função da cultura e intelectualidade do decisor e a incorporação consistente em relação à realidade econômica brasileira que se apresenta.

O processo de construção do modelo foi desenvolvido com criatividade, mas baseado nas experiências dos participantes, além disso foi necessário entender fases dos processos com especialistas da área, sem prescindir as bases científicas para construção dos modelos de decisão e as legislações vigentes, uma vez que trata-se de uma instituição pública. O procedimento seguido corresponde ao apresentado por Almeida (2013) onde consiste basicamente em 3 fases principais, onde cada fase é dividida em etapas, de modo que tanto nas fases como nas etapas é aplicado o refinamento sucessivo de modo a atender a recursividade, significa que o decisor tem permissão para retornar em etapas anteriores caso deseje. A sequência do procedimento está ilustrada na Figura 21, com as devidas adaptações dos processos que envolvem a sistemática para resolução dos problemas tratados aqui.

O propósito essencial do modelo é agregar uma ferramenta de tomada de decisão para os gestores locais quanto a otimização de recursos em contratos em andamento, para isso é essencial entender como é todo ciclo de investimento, desde a elaboração dos orçamentos para manutenção rodoviária até a sua efetiva aplicação.

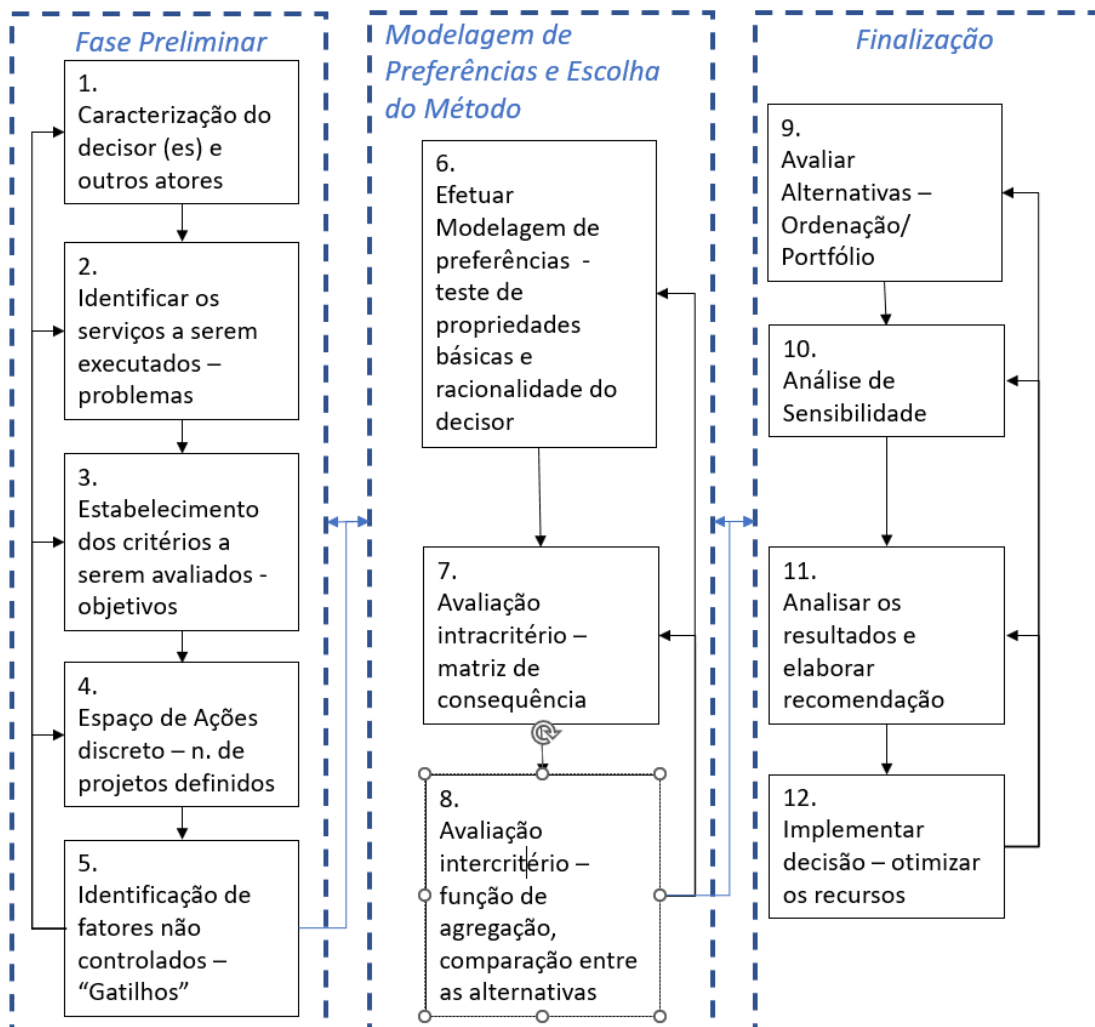
Os pavimentos são concebidos e projetados para cumprir as demandas estruturais e funcionais, isto é, ter um desempenho adequado quanto a capacidade de suportar as cargas que transitam, com durabilidade compatível ao tipo de tráfego, além disso proporcionar conforto e segurança aos usuários. Aliado a esses objetivos, o pavimento deve ser ainda projetado de forma mais econômica possível, atendendo as restrições orçamentárias (BERNUCCI et al, 2007).

Logo, estas condições ótimas podem ser encontradas ao término da construção da rodovia, quando bem executada, no entanto, essas condições vão decaindo com o passar do, e durante esse período ocorre a degradação natural do pavimento, no qual começa numa condição ótima até alcançar a condição ruim. Essa condição de deterioração do pavimento, é manifestada

através de falhas ou defeitos, defeitos estes que uma vez ocorrente e se não forem devidamente corrigidos, tendem a se agravar e desencadear um processo evolutivo, conduzindo a outros defeitos que vão assim se associando.

Inicialmente para etapa 1 do procedimento, foi necessário caracterizar o decisor, responsável direto em realizar as alocações de recursos para manutenção dos pavimentos. Outros atores estão envolvidos de forma indireta foram identificados, estes coordenadores e chefes de serviços, responsáveis pelo subsídio de informações de caracterizam o estado de conservação das rodovias.

Figura 21 - Procedimento para resolução de um problema de decisão



Fonte: Adaptado de Almeida (2013)

No Brasil é internacionalmente conhecido e aceito, o HDM 4 (*Highway Development and Management*) é o modelo mais utilizado para correlacionar às condições da superfície do pavimento e seu custo operacional. Para mensurar os impactos dessas condições e

identificarmos os serviços necessários, etapas 2 e 3 da Figura 21, é preciso avaliar dois aspectos importantes: as condições funcionais e estruturais do pavimento. A avaliação funcional de um pavimento relaciona-se à apreciação do estado de sua superfície e de como este estado influencia no conforto ao rolamento. Para este fim, dois parâmetros da avaliação são bastante consistentes, quais sejam, o Índice de Gravidade Global (IGG) e o Índice de Irregularidade Internacional<sup>4</sup> (IRI).

Já a avaliação estrutural de um pavimento está associada ao conceito de capacidade de carga, que pode ser vinculado diretamente ao projeto do pavimento e ao seu dimensionamento. Os defeitos estruturais resultam principalmente da repetição das cargas e estão associados às deformações elásticas ou recuperáveis e plásticas ou permanentes (DNIT IPR 745).

A partir dessa avaliação e mensuração dos impactos, passa-se para as próximas etapas, seguindo com a definir os serviços necessários para correção rotineira, prevenção periódicas e conservação emergencial. Conhecido como gerência em nível de projeto, as atividades detalhadas do próprio projeto e da execução de obras em um trecho específico da malha, atividades essas que deverão subsidiar orçamentos e programas de curto prazo.

Na etapa 4 da figura 21, definido os projetos e as demandas de solicitação de recursos ou empenhos, é importante realizar uma análise de “gatilhos”, que podem interferir na readequação do orçamento previsto na fase anterior de gerenciamento do pavimento. Esta análise, prevista na etapa 5, é referente as obras emergenciais, nível de esforço mínimo e tempo de existência do problema (passivo).

Uma vez que as obras emergenciais ocorrem por evento extraordinário, catastrófico, ocasionando a interrupção da rodovia, passa a se ter uma necessidade de readequação orçamentária.

Outro ponto que precisa ser avaliado são os níveis de esforço (NE) máximo previsto de uma tarefa no programa de manutenção, que é a quantidade de trabalho que se pretende aplicar durante o ano a cada unidade de inventário correspondente a esta tarefa. Os valores dos níveis de esforços podem ser estabelecidos baseados na frequência de execução da tarefa ou pela experiência de conservação de um trecho expressado sob taxa de consumo de material. Uma tarefa comumente usada é o “Tapa-Buraco”. O manual de conservação rodoviário do DNIT, estabelece os níveis de esforço para serviços de tapa-buracos em rodovias, em estado Muito Bom o  $NE \leq 1 \text{ m}^3/\text{Km ano}$ , já em estado “péssimo”, o nível de esforço máximo é  $7 \text{ m}^3/\text{km.ano}$ .

---

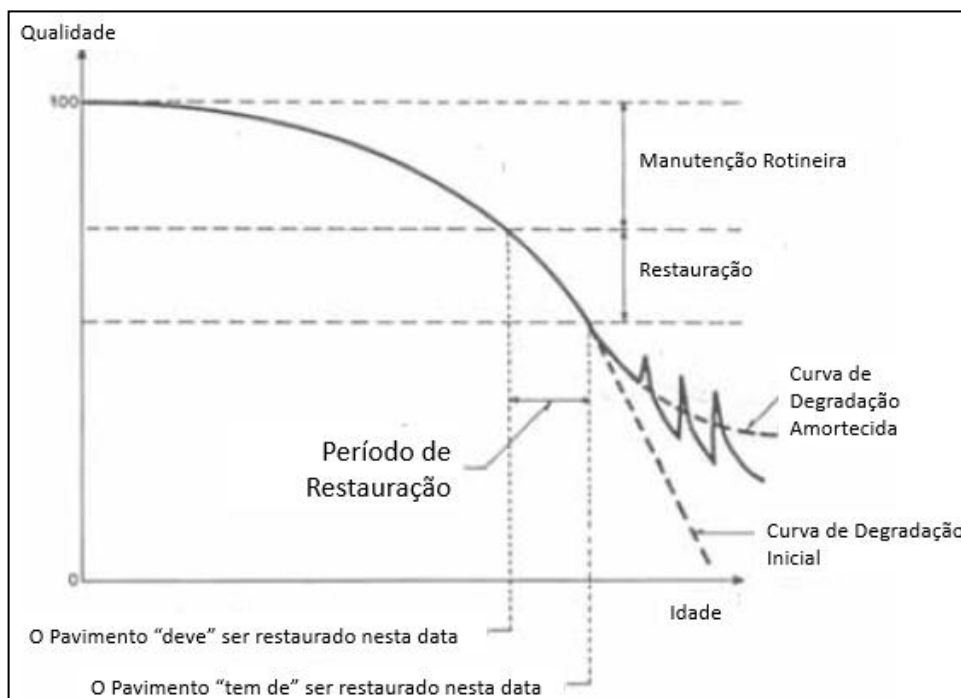
<sup>4</sup> A irregularidade longitudinal é o somatório dos desvios da superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal de projeto geométrico, que afeta a dinâmica dos veículos, o efeito dinâmico das cargas, a qualidade ao rolamento e a drenagem superficial da via.

Uma vez que esses níveis de esforços são ultrapassados, reflete na disponibilidade de recursos para continuidade do programa.

Uma outra avaliação poderá ser realizada nesta fase pelo decisor é a avaliação do “lote” econômico para andamento dos serviços contratados, isto é, a partir do conhecimento da produtividade da empresa contratada, o decisor poderá realizar uma estimativa para um período maior de execução, evitando solicitações de empenho insuficientes ou esporádicas. Caso não se tenha conhecimento prévio da produtividade da empresa, poder-se-á arbitrar uma quantidade de serviços de modo que seja monitorado ao longo do período estimado para efeito de calibração.

É de se notar que, à medida que a vida útil (8 a 10 anos) da rodovia avança, seu desempenho vai perdendo qualidade, de forma crescente, e no final de seu período de projeto, o grau de deterioração poderá chegar no seu estágio mais avançado. Recomenda-se que antes de uma condição severa, que seja executado reforço estrutural ou manutenção preventiva, de modo a atender um novo ciclo. Ocorre, que, em geral as intervenções de reforço ou manutenção não são efetivamente aplicadas, devido a carência de recursos orçamentários, desta forma o processo de deterioração evolui, aumentando progressivamente de intensidade, conforme observado na Figura 22.

Figura 22 - Curva de deterioração do pavimento



Fonte: DNIT IPR 710 (2005)

Nesse entendimento, importante avaliar o tempo de existência do problema ou passivo do programa anterior, uma vez que o tempo é diretamente proporcional a oneração de custos para sua recuperação.

Na sexta etapa do procedimento é seguida com a compreensão do decisor a respeito de suas preferências e alternativas abordadas. Conforme Almeida (2013), a estrutura de preferência é considerada um dos fatores principais na escolha de um método.

As preferências estabelecidas pelo decisor devem conciliar com as preferências e definições da racionalidade do método selecionado (VIEIRA, 2022).

Na etapa seguinte a avaliação intracritério conduz para encontro do valor que possa representar a avaliação cada alternativa ( $i$ ) para cada um dos critérios ( $j$ ) a partir das preferências do decisor e com isso determinar a função valor  $v_j(A_i)$ . Desta forma, os critérios são transformados em uma escala única, por meio da normalização, de modo que a matriz de consequência permite representar o problema através dos valores obtidos por meio da função valor.

Com as informações da avaliação intercritério, segue a etapa 8, ou seja, realização da avaliação intercritério, esta irá realizar a combinação dos diferentes critérios de modo a definir os valores das constantes de escala dos critérios e posteriormente comparações entre as alternativas.

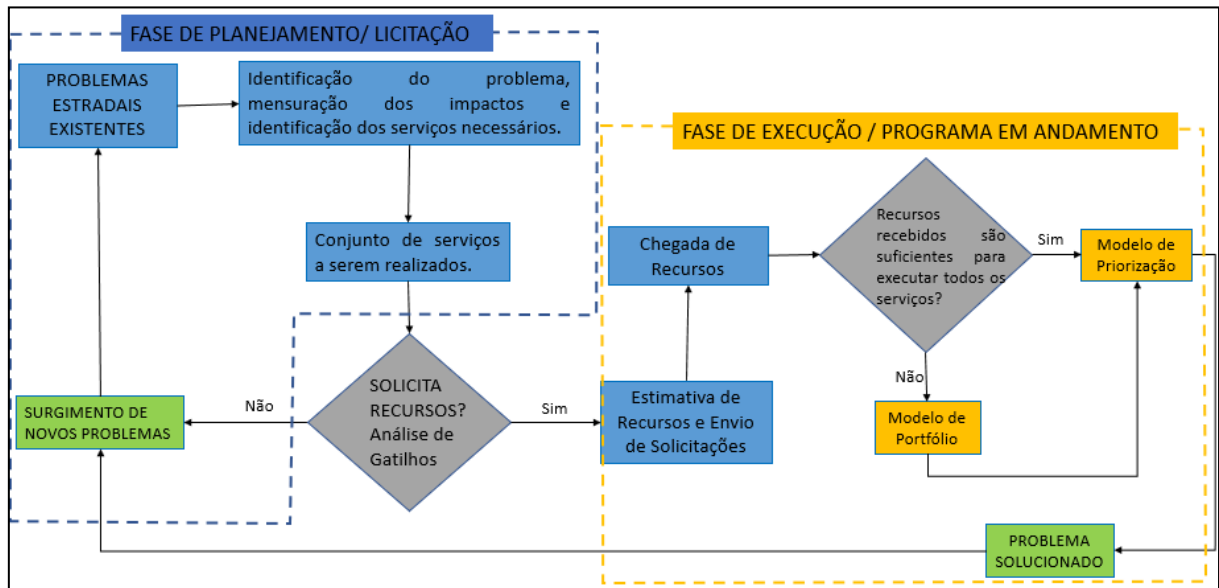
Para aplicar o modelo de ordenação ou para portfólio no contexto do problema apresentado, etapa 9 da Figura 21, foi considerado a seguinte abordagem: tendo em vista que os recursos disponíveis são suficientes para executar todos os projetos analisados, poder-se utilizar modelo de ordenação, caso contrário o modelo de portfólio será o mais aconselhável.

Todo o fluxo da geração de recursos até a fase de decisão para aplicação dos modelos de decisão para solucionar o problema de otimização de alocação de recurso, pode ser observado na Figura 23.

Para aplicação do modelo foi utilizado o software *FITradeoff* desenvolvido pelo Centro de Desenvolvimento em Sistemas de Informação e Decisão -CDSID-UFPE. O sistema foi importante para elicitar as constantes de escala para o problema de ordenação. Os dados de entrada foram alimentados por meio de tabela modelo no formato .xls, disponível pelo software. Uma vez inserido os dados o tomador de decisão é direcionado para a tela de elicitação intracritério, nesta etapa o decisor define se os critérios seguem uma função linear, prosseguindo para próxima etapa de avaliação intercritério. Nesta fase, o tomador é levado a uma tela no qual possibilita a ordenação dos pesos através de comparação pareada a partir de

apresentação com gráficos, cabendo ao decisor selecionar a consequência A, a consequência B ou a indiferença entre as consequências.

Figura 23 - Fluxograma do Modelo de Alocação de Recursos a Programa em Andamento



Fonte: Próprio autor (2023)

Após esta ordenação de pesos, é apresentado ao decisor um resultado parcial, onde o mesmo pode optar em continuar o processo de elicitação de preferência através de avaliação por decomposição ou holística. Desta forma, um espaço de consequências é apresentado ao decisor para que escolha qual consequência é preferível, desta forma, os resultados são utilizados para construção e resolução de um problema de programação linear (LPP), permitindo assim o estabelecimento de relações entre as alternativas.

Nos problemas de ordenação e portfólio a exibição dos resultados pode ocorrer de duas formas: Diagrama de Hasse (DH) e visualização tabular. Este diagrama apresenta as relações de dominância estabelecidas entre as alternativas e os diferentes níveis que ocupam na ordenação.

A análise de sensibilidade Monte Carlos, disponível no software, é realizada quando o problema é finalizado, seja porque o conjunto de soluções foi encontrado, seja pela indicação do decisor de que não deseja mais continuar respondendo à elicitação flexível.

### 3.1 ETAPAS DO MODELO

Os problemas estradais estão diretamente relacionados a falta de conservação. De acordo com o Manual de Conservação Rodoviária (DNIT IPR 710), a estrutura dos serviços de



conservação deverá estar direcionada para os aspectos físicos da rodovia, aqueles relacionados às condições da pista, em termos de pavimentação, drenagem, dispositivos de segurança, sinalizações e obras-de-arte especiais.

### ***Identificação dos problemas e mensuração dos impactos***

A identificação dos problemas ou alternativas, foram listados a partir de entrevista com o tomador de decisão, o superintendente regional, com o chefe de serviço de manutenção e os respectivos chefes das unidades locais. A decisão da lista de problemas foi unânime, uma vez que os problemas identificados estão afetando a qualidade da estrada, a segurança dos usuários e a economia local e nacional, uma vez que as rodovias são utilizadas para o escoamento de produção. Em Alagoas tem-se seis rodovias federais sob a responsabilidade do Dnit, distribuídas em duas Unidades Locais (UL). As UL's realizam fiscalização das obras em andamento, acompanhamento das condições de trafegabilidade e monitoramento da faixa de domínio. Basicamente, para cada rodovia, tem-se um programa de manutenção contínua, conhecido como Programa Anual de Trabalho e Orçamento (P.A.T.O), que também são acompanhados por uma empresa supervisora, que subsidia os fiscais das UL's. Na tabela 02, pode-se observar os 20 problemas, considerados prioritários pelo corpo técnico do Dnit/AL, em seus respectivos os programas, rodovias.

Tabela 2 - Relação dos problemas a serem resolvidos.

<b>Alternativas</b> <b>(<math>P_i</math>)</b>	<b>Descrição</b>	<b>P.A.T.O.</b>	
<b>P<sub>1</sub></b>	Recuperação de erosão km 14	BR 104/AL	
<b>P<sub>2</sub></b>	Recuperação de erosão Km 20		
<b>P<sub>3</sub></b>	Recuperação de erosão km 21		
<b>P<sub>4</sub></b>	Retaludamento do escorregamento km 43		
<b>P<sub>5</sub></b>	Recuperação de erosão km 12		
<b>P<sub>6</sub></b>	Recuperação de erosão km 13		
<b>P<sub>7</sub></b>	Recuperação da erosão Km 10		
<b>P<sub>8</sub></b>	Recuperação da erosão do km 78		BR'S
<b>P<sub>9</sub></b>	Recuperação do Pavimento km 38		316
<b>P<sub>10</sub></b>	Recuperação do Pavimento km 60		

<b>P<sub>11</sub></b>	Fresagem e recomposição do pavimento em toda extensão	(Sertão) e 416/AL
<b>P<sub>12</sub></b>	Recuperação erosão km 184	BR
<b>P<sub>13</sub></b>	Recuperação erosão km 256 (Atalaia)	316/AL
<b>P<sub>14</sub></b>	Recuperação erosão km 264 (Lindoia)	
<b>P<sub>15</sub></b>	Restabelecimento da drenagem km 181	
<b>P<sub>16</sub></b>	Recuperação estrutural de pav concreto LT 1	BR
<b>P<sub>17</sub></b>	Recuperação estrutural de pav concreto LT 2	101/AL
<b>P<sub>18</sub></b>	Restabelecimento do corpo estradal km 124	
<b>P<sub>19</sub></b>	Recuperação do corpo estrada km 41,60	BR
<b>P<sub>20</sub></b>	Recuperação do corpo estrada km 34,10	416/AL

Fonte: Próprio autor (2023)

A maior parte dos problemas (70%) estão relacionados com escorregamentos de terra ou erosões, problemas típicos causados pelo acúmulo de água no solo. Os demais problemas estão relacionados com a camada superficial do pavimento e recuperação de drenagem.

Para a mensuração dos impactos, foi preciso entender quais critérios podem identificar os diversos impactos, e a partir disso mensurá-los. De acordo com a Confederação Nacional dos Transportes (CNT), um dos fatores importantes avaliados nas rodovias é o grau de conservação das rodovias, através do monitoramento do Índice de Conservação da Malha (ICM), uma vez que estão diretamente relacionadas com o fator econômico do país, rodovias com alto grau de deterioração reflete prejuízos econômicos, sociais e ambientais (CNT, 2023). A metodologia de determinação do ICM é resultante de levantamentos visuais e avalia a frequência de patologias registradas em um segmento rodoviário. O cálculo do ICM atribui uma nota que será enquadrada em quatro categorias, quais sejam: péssimo, ruim, regular e bom.

Neste foco, foram definidos 7 critérios que impactam ou reflitam diretamente na conservação de uma rodovia. Os critérios escolhidos foram baseadas em indicadores que influenciam o ICM, ou seja, são parâmetros que mostram o estado de manutenção da rodovia, o nível de segurança e conforto, os impactos causados a população, além desses critérios, o prazo e custo para correção t. Os critérios escolhidos com as respectivas UL's e o coordenador de manutenção estão listados na Tabela 3.

Tabela 3 - Relação dos critérios utilizados no modelo

<b>Critérios</b> <b>(C<sub>i</sub>)</b>	<b>Significado</b>	<b>Função</b> <b>Monotônica</b>	<b>Unidade de</b> <b>Medida</b>
<b>Custo (Cust) (C<sub>1</sub>)</b>	Custo previsto para finalização dos projetos. Evitar a paralisação.	Crescente	R\$
<b>Classificação do Programa Internacional de Avaliação de Rodovias (iRAP) (C<sub>2</sub>)</b>	Classificação relacionadas ao nível de segurança das rodovias	Decrescente	Quantidade de estrelas
<b>Quantidade de População afetada (POP) (C<sub>3</sub>)</b>	O tamanho da população das cidades afetadas que utilizam a rodovia ou localizada em um raio de 10 Km de influência.	Crescente	Quantidade de pessoas
<b>Volume Médio Diário Anual (VMDA) (C<sub>4</sub>)</b>	Avalia a condição operacional da rodovia com relação a capacidade de tráfego.	Crescente	Quantidade de veículos
<b>Índice de Irregularidade Internacional (IRI) (C<sub>5</sub>)</b>	Quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação à de projeto.	Crescente	m/km
<b>Índice de Gravidade Global (IGG) (C<sub>6</sub>)</b>	Avalia a condição de deterioração superficial da rodovia.	Crescente	Escala contínua subdividida em 4 classes.
<b>Indicador de folga quanto ao prazo para finalização (Praz) (C<sub>7</sub>)</b>	Indica fator de aproximação para finalização do projeto.	Crescente	dias /dias

Fonte: Próprio autor (2023)

A estimativa do valor do critério Custo foi realizada por diversas maneiras, uma vez que trata-se com as diversidades de problemas rodoviários apresentados. Para estimar o custo dos serviços de Recuperação de Erosão na BR 104/AL, apresentados na Tabela 2 ( $P_1$  a  $P_3$ ;  $P_5$  a  $P_7$ ), utilizou-se a metodologia de composição de custo unitário do Sistema de Custos Rodoviários (SICRO), sendo utilizado os valores-base dos contratos em andamento. Para isso, definiu-se inicialmente as etapas construtivas, que são basicamente a Terraplenagem, Pavimentação e Transporte. Na determinação dos quantitativos, foi elaborado uma memória de cálculo padrão em função dos parâmetros de campo: altura do talude, comprimento e largura da cunha superficial da erosão, que se estimou uma área para efeito de determinação de volume de material, conforme ilustrado na Figura 24. A partir dessa área, considerando um solo areno-argiloso, foi atribuído o valor de empolamento<sup>5</sup> de 0,80, conforme Manual de Implantação Básica de Rodovia (Brasil, 2010). Quanto aos quantitativos de pavimentação, adotou-se uma estrutura padrão de 20 cm de altura para base com Brita Graduada Simples (BGS) e 5 cm de altura para revestimento em Cimento Betuminoso Usinado à Quente (CBUQ). Para transporte de material, adotou-se uma distância média de transporte de 20 km para solos e a menor distância para aquisição de material betuminosos foi de 500 km. Finalmente, adotou-se o custo unitário dos serviços correspondente a cada programa. Como exemplo, apresentamos no Apêndice a metodologia de estimativa para a Recuperação das Erosões.

Para o restabelecimento da drenagem do Km 181 na BR 101 ( $P_{15}$ ) e a recuperação do corpo estradal na BR 416 ( $P_9$  e  $P_{10}$ ), utilizou-se os valores dos serviços do programa de manutenção, que fora elaborado pela empresa de consultoria que atua através de contrato de supervisão.

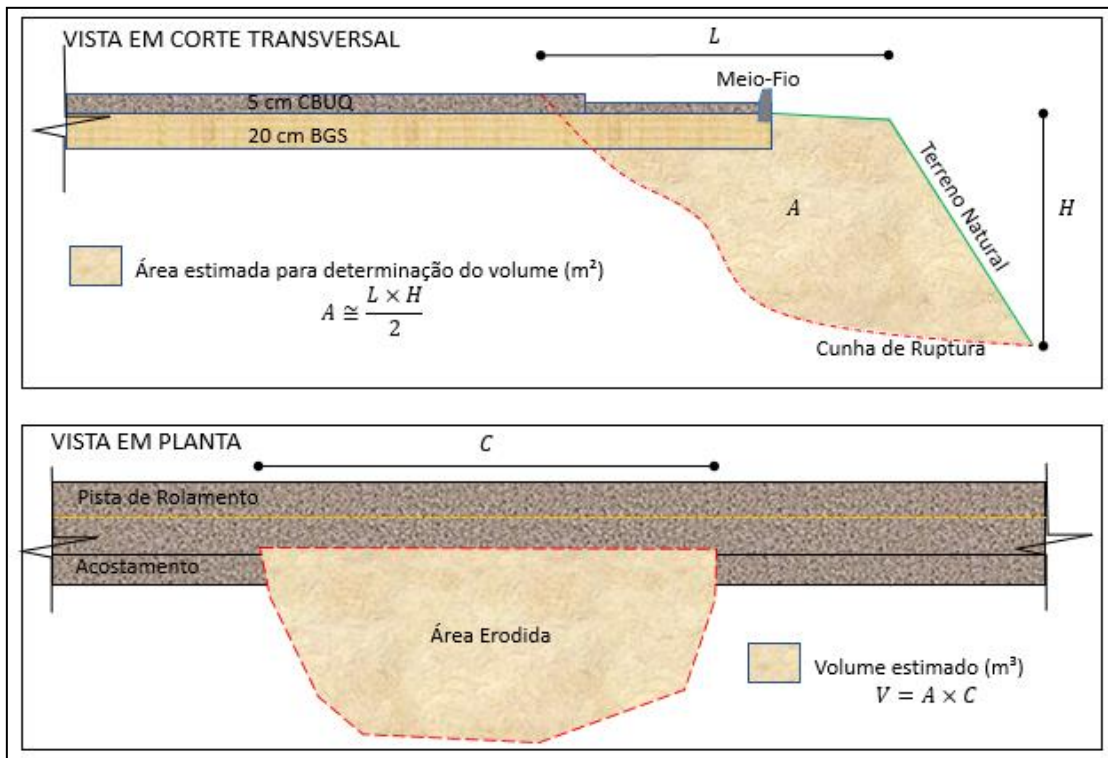
A recuperação estrutural do pavimento de concreto da BR 101 ( $P_{16}$  e  $P_{17}$ ), por se ter diversos segmentos para recuperação, foi preciso observar o levantamento de campo com objetivo de quantificar a área total para recuperação e adotar o valor referencial do SICRO para recuperação dessas estruturas.

Os problemas de Retaludamento do escorregamento no Km 43,8 da BR 104 ( $P_4$ ) e Recuperação do corpo estradal no Km 124 da BR 101 ( $P_{18}$ ), por se tratar de obras de grande vulto, foram desenvolvidos projetos executivos independentes de seus programas. Desta forma, foi considerado o valor estimado para recuperação de acordo com seus respectivos projetos, desenvolvidos pela empresa projetista.

---

<sup>5</sup> Empolamento: Fenômeno característico dos solos quando é escavado, também conhecido como expansão volumétrica. Portanto, o fator de empolamento é determinado pela razão entre massa específica solta ( $\gamma_s$ ) e a massa específica natural ( $\gamma_n$ ), (BRASIL,2010).

Figura 24 - Estimativa de volumes de erosões para composição de custo



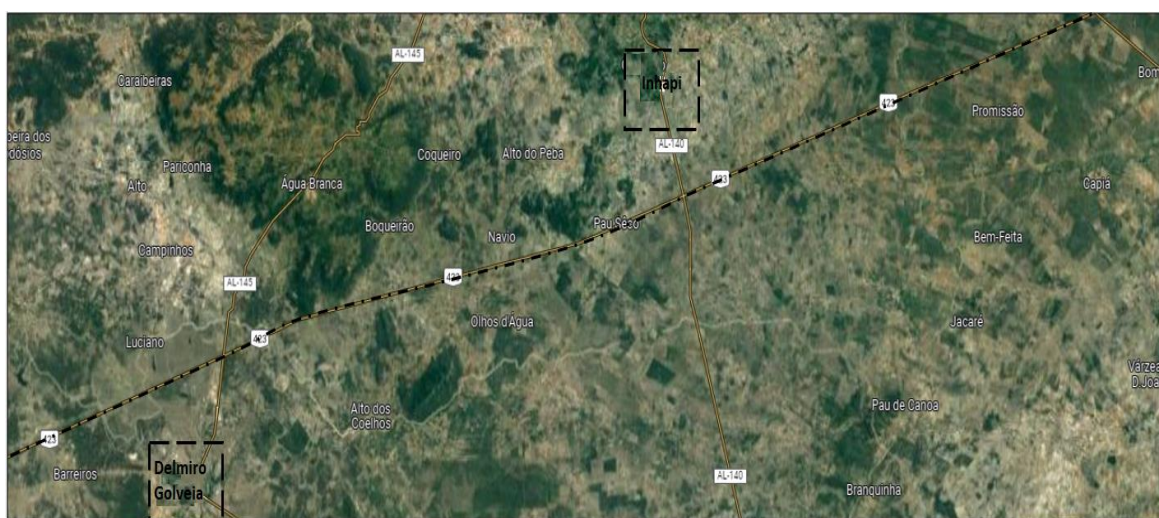
Fonte: Próprio autor (2023)

O critério Classificação iRAP - O Programa Internacional de Avaliação de Rodovias (iRAP) é uma instituição internacional, sem fins lucrativos, dedicada a salvar vidas e reduzir lesões graves em acidentes por meio de rodovias mais seguras. Para isso, busca parceria com organizações governamentais e não governamentais voltadas à criação de infraestrutura rodoviária classificada com três ou mais estrelas, ou seja, rodovias que, de acordo com esses critérios, são mais seguras, salvam vidas. Os tratamentos de segurança da infraestrutura viária são como vacinas para estradas; quando aplicados consistentemente, podem erradicar a morte e os ferimentos. Tratamentos comprovados, como moderação de tráfego, barreiras de segurança, ciclovias, calçadas de pedestres e travessias, podem ter um efeito profundo na segurança de um ambiente viário. Com base em pesquisas baseadas em evidências e em mais de 30 atributos rodoviários coletados ao longo de cada 100 metros de uma via, as classificações por estrelas para pedestres, ciclistas, motociclistas e ocupantes de veículos fornecem uma medida objetiva da probabilidade de ocorrência de um acidente e sua gravidade, 1 estrela é o menos seguro e 5 estrelas é o mais seguro. Na pesquisa, foram coletadas as classificações das estrelas nas estradas, acessando o portal do iRAP, <https://irap.org/pt/3-star-or-better/what-is-a-star-rating/>. Como o problema abordado trata-se de otimização de recursos em projetos em

andamento nas rodovias federais, os valores coletados referem-se apenas ao trânsito por veículo automotor.

Para a quantidade de população afetada, considerou-se a localização das alternativas (problemas existentes) nas rodovias e analisou as principais cidades mais próximas que são afetadas diretamente pela existência do problema. Desta forma, buscou no site oficial, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no sítio <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>, a quantidade de população estimada. Para alternativas que apresentam toda extensão da rodovia, considerou-se as cidades interceptadas pela rodovia. Como por exemplo a alternativa de Recuperação de toda extensão da rodovia BR 423/AL (A<sub>11</sub>), as cidades consideradas foram: Delmiro Golveia e Canapi (Figura 25), por possuírem maior atividade econômica e estarem a uma distância de até 10 Km de raio.

Figura 25 - Ilustração dos municípios mais afetados em um raio menor de 10 Km na BR 423/AL



Fonte: Próprio autor (2023).

O conhecimento adequado do tráfego incidente em cada segmento de análise e de sua taxa de crescimento é um dos fatores que determinam a efetividade de um sistema de gerenciamento rodoviário. Quanto maior volume de tráfego, maior a demanda na manutenção uma vez que as rodovias possuem maior concentração de cargas móveis. O Volume Médio Diário anual (VMDa) em cada segmento como o parâmetro de tráfego considerado, são utilizados para efeito de análise de dimensionamento, manutenção e investimentos. Portanto, a obtenção dos dados para esse critério, foram obtidos através do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT), no sítio <http://servicos.DNIT.gov.br/dadospnt/Modelagem>. Uma vez que o programa realiza a contagem de veículos por segmento, com base no Sistema Nacional de

Viação (SNV) mais atualizado, foi necessário identificar em qual segmento do SNV as alternativas fazem parte, conforme ilustrado na Figura 26, que mostra a obtenção do valor de VMDa para a Alternativa 14 - Recuperação do Corpo Estradal km 272,5 na BR 316/AL.

Figura 26 - Quadros ilustrativos dos sistemas SNV e PNCT

BR		UF	Tipo de trecho	Desc Coinc	Código	Local de Início	Local de Fim	km inicial	km final	Extensão	Superfície Federal
316	AL		Eixo Principal	-	316BAL1090	ENTR BR-101	ENTR BR-316 (RODOVIA SECUNDÁRIA)	251,4	254,5	3,1	PAV
316	AL		Eixo Principal	-	316BAL1110	ENTR BR-316 (RODOVIA SECUNDÁRIA)	ACESSO A PILAR	254,5	256,2	1,7	PAV
316	AL		Eixo Principal	-	316BAL1130	ACESSO A PILAR	ENTR BR-424(B)	256,2	262,8	6,6	PAV
316	AL		Eixo Principal	-	316BAL1135	ENTR BR-424(B)	PONTE SOBRE O RIACHO MAFRIAL	262,8	272	9,2	PAV
316	AL		Eixo Principal	-	316BAL1140	PONTE SOBRE O RIACHO MAFRIAL	ENTR BR-104 (TABULEIRO DO MARTINS)	272	276,1	4,1	PAV
316	AL		Eixo Principal	-	316BAL1150	ENTR BR-104 (TABULEIRO DO MARTINS)	ENTR BARRO DURO (MACEIÓ)	276,1	287,2	11,1	PAV
316	AL		Eixo Principal	-	316BAL1170	ENTR BARRO DURO (MACEIÓ)	ENTR BR-424/AL-101 (PORTO MACEIÓ)	287,2	294,1	6,9	PLA
316	AL		Contorno	-	316CAL1005	ENTR BR-316 (ACESSO OESTE SATUBA)	ENTR BR-316 (ACESSO LESTE SATUBA)	0	2,4	2,4	PLA

CODIGO_BR	REGIAO	UF	EXTE	SUI	CODIGO_SN	JURISDI	TIPO_L	RELEV	VE	VMDA_TOT
316	Nordeste	AL	4,15 PAV		316BAL1140	Federal	Rodovia	Ondulado	70	1.033

Fonte: Próprio autor (2023)

O critério Índice de Irregularidade Internacional (IRI), refere-se à condição da superfície dos pavimentos, por avaliar as condições funcionais da rodovia a partir da medição do perfil longitudinal do pavimento, no qual é determinado através da passagem de um modelo de quarto-de-carro, a uma velocidade de simulação de 80 km/h. No modelo matemático utilizado na norma DNIT 440/2023 – PRO, calcula-se a deflexão da suspensão do quarto-de-carro utilizando os deslocamentos do perfil medido e parâmetros da estrutura do carro. De acordo com o Manual de Gerências de Pavimentos (Brasil IPR, 2011) o IRI está distribuído em quatro faixas, conforme a Tabela 04.

Os valores do IRI foram obtidos através do sistema acompanhamento visual do DNIT no site <https://servicos.DNIT.gov.br/videoteca>, que nos retorna valores do IRI dentre outros parâmetros, em cada posição da rodovia monitorada. Observa-se que na Figura 27, o valor de 1,72, adotado para o IRI da alternativa 10 - Recuperação do Pavimento km 60 na BR 423.

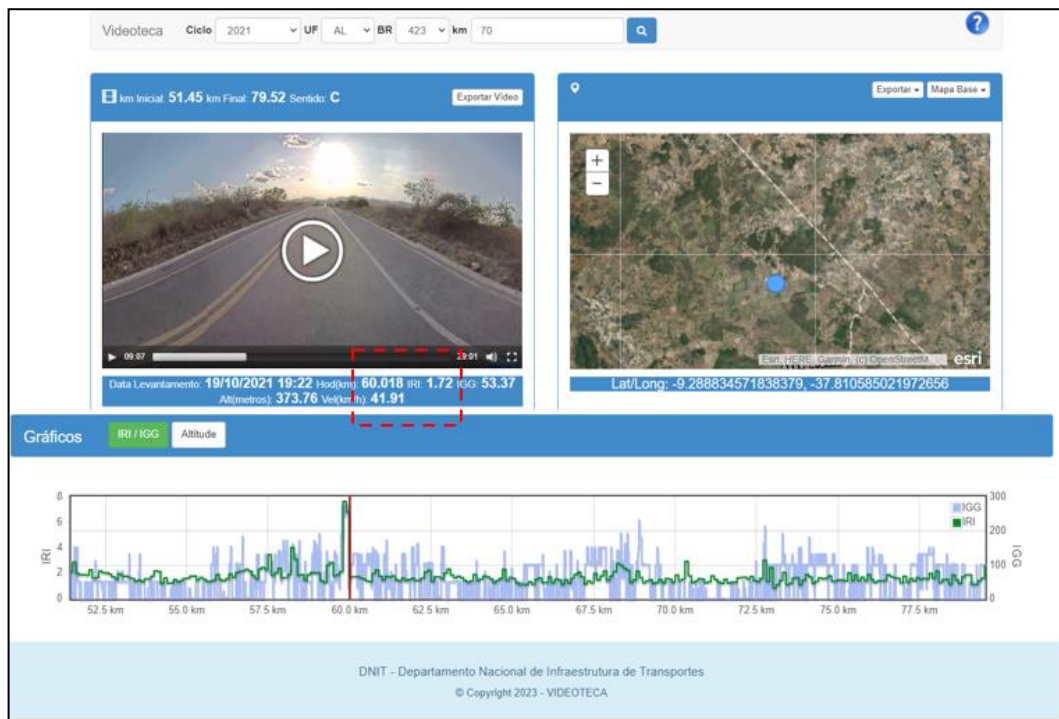


Tabela 4 - Códigos de referências à Irregularidade da superfície

Código	Irregularidade Superficial
0	IRI < 3,0 (BOM)
1	3,0 ≤ IRI < 4,0 (REGULAR)
2	4,0 ≤ IRI < 5,5 (RUIM)
3	IRI ≥ 5,5 (PÉSSIMO)

Fonte: Brasil IPR 745 (2011)

Figura 27 - Imagem ilustrativa do sistema de videoteca DNIT com valores de IRI e IGG



Fonte: <https://servicos.DNIT.gov.br/videoteca> (2023)

Quanto ao critério Índice de Gravidade Global (IGG), que avalia de forma objetiva a superfície de pavimentos, estabelecendo um conceito de degradação de pavimento com base em cálculos de frequências absolutas e relativas das ocorrências de defeitos. Tal procedimento é regulamentado pela norma DNIT 006/2003 – PRO, esta estabelece a metodologia para determinação de um índice a partir das frequências absolutas e relativas dos diversos tipos de defeitos catalogados pela Norma DNIT 005/2003-TER, desta forma pode-se estabelecer uma faixa de conceitos entre condições ótimo e péssimo da rodovia, conforme demonstrado na Tabela 05. Os valores de IGG foram obtidos pelo sistema de videoteca do DNIT, conforme



ilustrado na Figura 27, como pode-se observar para a mesma Alternativa 18 - Recuperação do Pavimento km 60 na BR 423, tem-se valor de 53,37, se enquadrando no conceito regular.

Tabela 5 - Conceitos de Degradação do pavimento em função do IGG

<b>Conceitos</b>	<b>Limites</b>
<b>Ótimo</b>	$0 < IGG \leq 20$
<b>Bom</b>	$20 < IGG \leq 40$
<b>Regular</b>	$40 < IGG \leq 80$
<b>Ruim</b>	$80 < IGG \leq 160$
<b>Péssimo</b>	$IGG > 160$

Fonte: DNIT (2003)

O critério de Indicador de folga quanto ao prazo para finalização foi desenvolvido com o entendimento de um valor numérico que represente o quanto um determinado projeto tem de prazo, em relação a finalização do programa P.A.T.O. ao qual está inserido. Este indicador pode ser determinado pela seguinte expressão:  $Praz = \frac{P_{est}}{P_{prog}}$ , sendo  $P_{est}$  o tempo estimado para execução do serviço em questão e  $P_{prog}$  o tempo para encerramento do programa. O entendimento é quanto mais próximo do valor 1,0 (um), menos folga tem o projeto. Desta forma, o decisor entenderá se um projeto tem muita folga ou em atraso ( $Praz > 1,0$ ).

Um fator extremamente importante para o decisor é manter a rodovia permanentemente em operação, desta forma, um objetivo analisado foi a Situação Operacional da Rodovia, uma vez que a rodovia fique interditada por quaisquer que sejam os problemas, ela passa a ter prioridade maior para o decisor. Apenas as rodovias BR 416/AL e BR 101/AL encontram-se operando por desvios, nos Km 34,1 e Km 124 respectivamente, esse critério não foi considerado no modelo, uma vez que não gera nenhuma dúvida ao decisor na priorização de recursos no caso de rodovias interditadas.

### **Análise de Recursos**

A última etapa do modelo em fase de planejamento, é a verificação quanto a necessidade de solicitação de recursos, no qual é realizada através da análise do “gatilho”. Se não for necessário mais recurso para os projetos identificados, o modelo retorna a fase inicial de estabelecimento de novos projetos, isso significa, que todos os projetos em andamento identificados neste ciclo possuem empenho suficiente para sua resolução. Caso contrário, foram identificados alguns dos gatilhos comentados no início do capítulo, podendo enquadrar-se como: problemas emergenciais; extrapolação do nível de esforço mínimo; o lote econômico

insuficiente ou existência de passivo, isto é, as condições da rodovia encontram-se no ramo de restauração ou degradação, conforme ilustrado na Figura 10.

### ***Fase de execução***

Na fase de execução, o modelo segue com a estimativa de recursos para atendimento dos projetos em andamento, identificados no início do ciclo de planejamento, somados aos projetos identificados na análise de “gatilhos”. Tendo essa estimativa, realiza-se o envio oficial da solicitação de recursos. As solicitações de recursos são realizadas através de empenhos ou créditos adicional extraordinário, este são recursos destinados a despesas urgentes ou imprevistas, em caso de guerra, comoção intestina ou calamidade pública (Brasil, 1964). Esses recursos podem ou não serem atendidos em sua totalidade, visto que todo orçamento deve estar previsto na Lei do Orçamentária Anual (L.O.A.).

Uma vez que os recursos recebidos são suficientes para execução de todos os projetos, executa-se o modelo de priorização, no qual foi adotado o método FITradeoff de ordenação, abordado no item 2.3.2., seguindo a estrutura de programação linear conforme a Equação (13) proposto por Fredj (2019). De outro modo, uma vez que se tem uma limitação no orçamento, passa-se a utilizar o modelo para portfólio, proposto por Marques (2022), que estabelecerá um portfólio c-ótimo com base numa estrutura matemática que analisa a sua viabilidade, apreciando o consumo seus recursos e seus benefícios gerados, conforme apresentado nas Equações (15, 16, 17).

## 4 APLICAÇÃO

O problema estudado considera critérios encontrados na literatura técnica rodoviária e fatores relevantes como limite orçamentário, com intuito de tornar o modelo mais realista possível. A proposta desta aplicação foi realizada em projetos de manutenção de forma genérica, de modo que o modelo poder-se-á aplicado nos diversos setores de obra, como planejamento e construção. Desta forma os critérios propostos nesta pesquisa consideram um cenário geral quanto a ordenação de projetos de manutenção em andamento, no entanto, as coordenações de manutenção rodoviária poderão realizar adaptações nos critérios apresentados de acordo com a especificidade dos programas.

Conforme mencionado no tópico 2.3.2 do Capítulo 2, o método escolhido para aplicação neste trabalho foi o de elicitação flexível e iterativo - FITradeoff, pelo fato de além de compreender o contexto de construção de um modelo de valor multicritério, o procedimento de flexibilidade pode ser facilmente alterado e adaptado a diferentes condições e circunstâncias conforme elas ocorrem

O modelo apresentado foi aplicado ao problema de ordenação de projetos de manutenção em andamento nas rodovias federais de acordo com o grau de criticidade para ações de intervenção e planejamento da Superintendência Regional do DNIT no estado de Alagoas. Para isso, foram selecionados 20 projetos, que refere-se a problemas de manutenção, identificados em toda a malha rodoviária sob a jurisdição das duas Unidades Locais; U.L. Maceió e U.L. Santana do Ipanema, de modo que a identificação desses problemas mais críticos (ver Tabela 06), foi necessário realizar visitas “*in loco*” com os engenheiros responsáveis dos Programas Anuais de Trabalho e Orçamento (P.A.T.O.), cujo objeto é a manutenção das rodovias federais. Para a aplicação, os projetos selecionados são as alternativas  $A_i$  a serem avaliadas.

Tabela 6 - Relação de projetos selecionados dos programas de manutenção das rodovias existentes

Projetos	Problemas Selecionados	Criticidade	P.A.T.O.	Jurisprudência
$A_i$				
$A_1$	Recuperação da erosão Km 10	2	BR 104/AL	U.L Maceió
$A_2$	Recuperação de erosão Km 20	3		
$A_3$	Recuperação de erosão km 21	4		
$A_4$	Retaludamento do escorregamento km 43	1		

<b>A<sub>5</sub></b>	Recuperação de erosão km 12	6		
<b>A<sub>6</sub></b>	Recuperação de erosão km 13	7		
<b>A<sub>7</sub></b>	Recuperação de erosão km 14	5		
<b>A<sub>8</sub></b>	Recuperação da erosão km 78 BR 316/AL	1	316/AL	U.L. Santana de Ipanema
<b>A<sub>9</sub></b>	Recuperação do Pavimento km 38 BR 423/AL	2	(Km 0,0 ao Km	
<b>A<sub>10</sub></b>	Recuperação do Pavimento km 60 BR 423/AL	3	158); 423/AL	
<b>A<sub>11</sub></b>	Fresagem e recomposição de toda extensão BR 423	4		
<b>A<sub>12</sub></b>	Recuperação erosão km 184	1	316/AL	U.L Maceió
<b>A<sub>13</sub></b>	Recuperação erosão km 256	2	(Km 158 ao Km	
<b>A<sub>14</sub></b>	Recuperação erosão km 264	3	278)	
<b>A<sub>15</sub></b>	Restabelecimento da drenagem km 181	1		U.L. Maceió
<b>A<sub>16</sub></b>	Recuperação estrutural de pavimento de concreto - Lote 1	3	BR	
<b>A<sub>17</sub></b>	Recuperação estrutural de pavimento de concreto - Lote 2	4	101/AL	
<b>A<sub>18</sub></b>	Restabelecimento do corpo estradal km 124	2		
<b>A<sub>19</sub></b>	Recuperação do corpo estrada km 41,6	1	BR	U.L. Maceió
<b>A<sub>20</sub></b>	Recuperação do corpo estrada km 34,1	2	416/AL	

Fonte: Próprio autor (2023)

A coluna criticidade, foi criada a partir da opinião intuitiva dos engenheiros responsáveis pelos programas de manutenção, sendo apresentada uma escala de prioridade, sendo 1 a maior prioridade para resolução dos problemas. Esta escala foi levantada apenas para efeito comparativo com os resultados gerados pelo modelo.

A partir disso, foi definido pelo decisor e pelo chefe do serviço de manutenção terrestre quais os objetivos considerados no problema que influenciam na conservação da rodovia, no impacto social e no estado de conservação da pista. Portanto foram escolhidos 7 critérios  $j$ , conforme apresentado na Tabela 03, que refletem os diversos objetivos a serem alcançados:  $C_1$  (Cust): Recursos financeiro para finalização do projeto. Projetos com altos custos precisam ser finalizados brevemente, uma vez que um projeto paralisado ter-se-á no futuro maiores custos para sua conclusão;  $C_2$  (iRAP): quantidade de estrelas que indicam o nível de segurança das rodovias;  $C_3$  (POP): quantidade populacional das cidades circunvizinhas em um raio de 10 Km ou que é interceptada pela rodovia;  $C_4$  (VMDa): Volume Médio Diário de veículos que passam na rodovia durante 1 ano;  $C_5$  (IRI): informa o quanto uma rodovia apresenta nível de irregularidade vertical com relação a um plano horizontal padrão;  $C_6$  (IGG): retorna o nível de deterioração da rodovia quanto as patologias existentes e o  $C_7$  (Praz): indicador de folga no prazo para conclusão do projeto com relação ao término do programa no qual está inserido. A Tabela 07 apresenta resumidamente os critérios e seu comportamento na conjuntura de manutenção rodoviária.

Tabela 7 - Relação dos critérios e seu comportamento

<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>	<b>Comportamento</b>
$C_j$		
$C_1$	Custo para finalização do projeto (Cust)	Maximização
$C_2$	Índice do grau de segurança internacional (iRAP)	Minimização
$C_3$	Quantidade populacional (Pop)	
$C_4$	Volume Médio Diário (VMDa)	
$C_5$	Índice de Regularidade Internacional (IRI)	Maximização
$C_6$	Índice de Gravidade Global (IGG)	
$C_7$	Prazo (Praz)	

Fonte: Próprio autor (2023)

Com a definição das alternativas ( $A_i$ ) e os critérios ( $C_j$ ), realizou a avaliação dos desempenhos de cada alternativa para cada um dos critérios. A matriz consequência pode ser obtida conforme a Tabela 08 abaixo.

Tabela 8 - Matriz consequência para os projetos em andamento em rodovias federais de Alagoas

Projetos	Critérios ( $C_j$ )						
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$
$A_1$	25,000.00	3	39,701.00	1,880.00	2.59	0.37	0.028
$A_2$	47,000.00	3	39,701.00	1,944.00	2.07	0.63	0.044
$A_3$	73,000.00	3	39,701.00	1,944.00	2.12	0.20	0.083
$A_4$	2,000,000.00	2	50,127.00	5,194.00	1.77	0.47	0.405
$A_5$	56,000.00	3	24,064.00	1,880.00	1.96	0.39	0.050
$A_6$	34,000.00	3	39,701.00	1,944.00	2.09	0.30	0.033
$A_7$	120,000.00	3	39,701.00	2,113.00	1.54	0.38	0.100
$A_8$	43,000.00	4	48,497.00	3,085.00	2.76	2.63	0.149
$A_9$	1,950,000.00	2	25,200.00	749.00	1.18	0.33	0.134
$A_{10}$	1,950,000.00	2	17,715.00	2,971.00	1.72	53.37	0.134
$A_{11}$	26,500,000.00	3	70,899.00	4,919.00	4.96	80.00	0.544
$A_{12}$	516,000.00	2	73,452.00	2,914.00	1.60	0.32	0.083
$A_{13}$	256,000.00	2	47,540.00	3,717.00	1.83	0.54	0.124
$A_{14}$	750,000.00	2	21,386.00	3,717.00	2.09	1.49	0.165
$A_{15}$	3,000,000.00	2	79,298.00	5,916.00	1.33	0.53	0.429
$A_{16}$	5,990,000.00	3	118,360.00	6,000.00	3.00	41.00	0.571
$A_{17}$	6,850,000.00	3	268,866.00	6,440.00	2.50	53.00	0.571
$A_{18}$	60,000,000.00	2	106,898.00	4,007.00	1.92	110.3	2.667
						0	
$A_{19}$	473,500.00	2	15,637.00	1,284.00	2.05	1.85	0.165
$A_{20}$	139,800.00	2	15,637.00	1,284.00	3.09	1.09	0.110

Fonte: Próprio autor (2023)

A próxima etapa seguiu com a explicação para o decisor sobre o método que seria utilizado e a importância dele na informação sobre as perguntas que lhe seriam feitas e quais opções de respostas ele poderia fornecer, como também foi orientado que poderia retornar às fases anteriores se assim o desejasse. O método FITradeoff foi aplicado por meio do software baixado de <http://fitradeoff.org/>. O software permitiu ao decisor visualizar resultados parciais durante o processo de elicitación de uma maneira flexível, de modo que ele pôde sentir-se confortável em tomar uma decisão com base nos resultados parciais.

Em seguida a avaliação intracritério de cada alternativa é analisada considerando cada um dos critérios, de modo que se possa encontrar um valor representativo das alternativas  $i$  com relação a cada um dos critérios  $j$  conforme a preferência estabelecida pelo decisor e portanto, determina-se a função  $v_j(A_i)$ . Nesta etapa ocorre a normalização, significa dizer que os valores da matriz de consequências são transformados em uma única escala. No problema em questão a avaliação intracritério, foi declarado que todos os critérios seguiriam uma função linear.

Foi sugerido ao decisor classificar os critérios usando o método de avaliação holística, por ser um processo mais rápido, porém, pelo fato que o mesmo não tinha expertise no método de decisão multicritério, preferiu utilizar o método por decomposição para hierarquização dos critérios, uma vez que existiam um grau de complexidade dos problemas. A Figura 28 mostra uma das etapas de classificação dos critérios por pares de comparação.

Figura 28 - Ilustração de umas das etapas de classificação dos critérios ( $C_j$ )

Fonte: Próprio autor (2023)

O método FITradeoff realizou 12 perguntas ao decisor para classificar os critérios, considerando o limite de equivalência<sup>6</sup> igual a 0,01. No entanto, o mesmo não teve dificuldade

<sup>6</sup> Limite de equivalência – Refere-se a diferença máxima que o valor global referente a um par de alternativas pode assumir para que tais alternativas sejam consideradas indiferentes entre si (CDSID, 2003).

em fornecendo as respostas, para que, apesar de haver um maior número de perguntas, o procedimento foi considerado rápido e claro. Os critérios foram classificados da seguinte forma:  $w_{IGG} > w_{PRAZ} > w_{IRI} > w_{iRAP} > w_{VMDA} > w_{Pop} > w_{CUST}$ . Esta informação é incorporada como uma restrição no modelo LPP da equação 13, e assim o modelo busca relações de dominância entre alternativas. A cada ciclo, uma matriz de dominância par a par é calculada, conforme explicado no capítulo 2, subitem 2.3.2.

A Tabela 09 descreve os 12 ciclos necessários para elicitacão flexível. A segunda e a terceira coluna mostram o resultado dos critérios representados pelas duas consequências apresentadas ao decisor, assim os critérios são numerados por sua posição no ranking. A quarta coluna mostra a resposta do decisor, a penúltima coluna mostra quantos níveis no ranking dos projetos foram obtidos após o cálculo feito pelo modelo LPP e finalmente na última coluna informa se utilizou o método holístico pelo FITradeoff com as informações obtidas. Por exemplo, na primeira questão, o decisor comparou duas consequências hipotéticas: consequência A, com valor intermediário para IGG (55.25) e pior resultado para todos os outros critérios; e consequência B, com melhor resultado para Custo (R\$ 60.000000,00), e pior resultado para todos os outros critérios. De acordo com suas próprias preferências, a consequência A foi a preferida em sua opinião. Após essa informação, o LPP foi executado e apenas 3 níveis de classificação foi encontrado.

Tabela 9 - Matriz consequência

<b>Application report</b>					
<b>Cycle</b>	<b>Consequence A</b>	<b>Consequence B</b>	<b>Answer</b>	<b>Number of levels</b>	<b>Holistic Evaluation (HE) performed?</b>
<b>0</b>			Ordering...	3	no
<b>1</b>	55.250 of Crit 6	Best of Crit 1 (60000000)	Consequence A	3	no
<b>2</b>	55.250 of Crit 6	Best of Crit 7 (2.66667)	Consequence B	3	no
<b>3</b>	1.347 of Crit 7	Best of Crit 5 (4.956)	Consequence B	4	no
<b>4</b>	3.066 of Crit 5	Best of Crit 2 (1)	Consequence B	6	no
<b>5</b>	3.000 of Crit 2	Best of Crit 4 (6440)	Consequence B	8	no
<b>6</b>	3594.000 of Crit 4	Best of Crit 3 (268866)	Consequence B	9	no
<b>7</b>	142252.000 of Crit 3	Best of Crit 1 (60000000)	Consequence B	10	no
<b>8</b>	5017.000 of Crit 4	Best of Crit 3 (268866)	Consequence A	11	no
<b>9</b>	82.775 of Crit 6	Best of Crit 7 (2.66667)	Consequence A	13	no
<b>10</b>	2.007 of Crit 7	Best of Crit 5 (4.956)	Consequence A	13	no

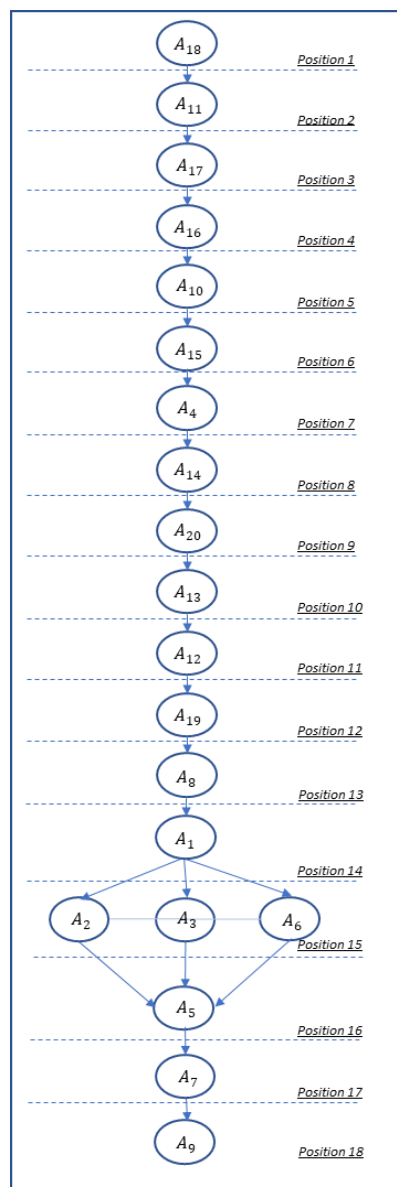


<b>11</b>	4.011 of Crit 5	Best of Crit 2 (1)	Consequence B	16	no
<b>12</b>	2.000 of Crit 2	Best of Crit 4 (6440)	Consequence A	18	no

Fonte: Próprio autor (2023)

Após os 12 ciclos, o método FITradedoff definiu dezoito níveis de classificação com as formações obtidas. Embora o modelo não tenha fornecido um ranking completo, o decisor ficou satisfeito com o resultado apresentado. Os resultados identificaram o ranking ordenado de treze projetos rodoviários, bem como o projeto na última ordenação. A Figura 29 mostra o diagrama de Hasse fornecido pelo FITradedoff software, que apresenta as relações de dominância entre as alternativas, bem como os níveis de ordenação, conforme a priorização do decisor

Figura 29 - Diagrama de Hasse de ordenação das alternativas ( $A_i$ )



Fonte: Próprio autor (2023)

Como observado no resultado, a alternativa  $A_{18}$  é o projeto mais prioritário e deve ter sua conclusão a mais urgente possível, pelo fato de obedecer às restrições apresentadas.

Após os resultados obtidos na problemática de ordenação, realizou-se uma simulação para situação em que o decisor disponibilizaria um orçamento de R\$ 90.000.000,00 para desenvolver os projetos abordados, ou seja, recurso insuficiente para atender 100% dos projetos. Desta forma, o problema agora seria a seleção de portfólio, devido a limitação do orçamentária.

A Tabela 10 apresenta a ordenação dos projetos apresentada pelo modelo, que foi calculado com base nas relações de dominância, como descrito por Fredj (2021), com relação aos mesmos critérios estabelecidos anteriormente.

Tabela 10 - Projetos Classificados no problema de Portfólio

Ranking:		Cost:	Cumulative Cost:
1	[P1]	\$25,000.00	\$25,000.00
2	[P6]	\$34,000.00	\$59,000.00
3	[P8]	\$43,000.00	\$102,000.00
4	[P2]	\$47,000.00	\$149,000.00
5	[P5]	\$56,000.00	\$205,000.00
6	[P3]	\$73,000.00	\$278,000.00
7	[P7]	\$120,000.00	\$398,000.00
8	[P20]	\$139,800.00	\$537,800.00
9	[P13]	\$256,000.00	\$793,800.00
10	[P19]	\$473,500.00	\$1,267,300.00
11	[P12]	\$516,000.00	\$1,783,300.00
12	[P14]	\$750,000.00	\$2,533,300.00
13	[P9][P10]	\$3,900,000.00	\$6,433,300.00
14	[P4]	\$2,000,000.00	\$8,433,300.00
15	[P15]	\$3,000,000.00	\$11,433,300.00
16	[P16]	\$5,990,000.00	\$17,423,300.00
17	[P17]	\$6,850,000.00	\$24,273,300.00
18	[P11]	\$26,500,000.00	\$50,773,300.00
19	[P18]	\$60,000,000.00	\$110,773,300.00

Fonte: Próprio autor (2023)

A primeira coluna da Tabela 10 mostra a posição ordenada dos projetos indicados na segunda coluna, a terceira coluna apresenta os custos associados a cada projeto dentro da posição ordenada correspondente, e a quarta coluna o custo acumulativo, que é dado o custo do projeto na posição atual somado com todos os custos dos projetos anteriores.

#### 4.1 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados pelo modelo, identificaram dezoito níveis de ordenação. As quatorze primeiras posições do ranking foram bem definidas, embora, não haja uma definição clara na posição 15, o decisor achou que o diagrama de Hasse pode ser útil para análise gerencial. Segundo a Figura 29, o projeto de restabelecer o corpo estradal do km 120 ( $P_{18}$ ), é considerado o mais prioritário no ranking. Observando na Tabela 8, este o projeto apresenta maior valor financeiro, alto impacto na população e com altos valores nos índices de gravidade global e irregularidade internacional.

Por outro lado, o projeto de Recuperação do Pavimento km 38 BR 423/AL ( $A_9$ ), é ocupante da última posição e, portanto, o de menor prioridade para o decisor.

Apesar da classificação incompleta, a definição dos quatorze primeiros níveis do ranking, mostram os projetos rodoviários que devem ser priorizados e que devem possuir um gerenciamento com maior precisão quanto aos critérios relacionados.

Observa-se, que, todas as alternativas do programa P.A.T.O da BR 101/AL, estão presentes entre as seis primeiras posições, mostrando ao decisor o quanto este programa tem prioridade.

O projeto de Retaludamento do escorregamento km 43 ( $A_4$ ) do programa P.A.T.O. BR 104/AL, ocupou a sétima posição, identifica-se o quanto este projeto possui dominância em relação aos demais projetos ( $A_1$  a  $A_7$ ) do mesmo programa, uma vez que ocuparam entre as posições 13<sup>o</sup> e 17<sup>o</sup> na ordenação.

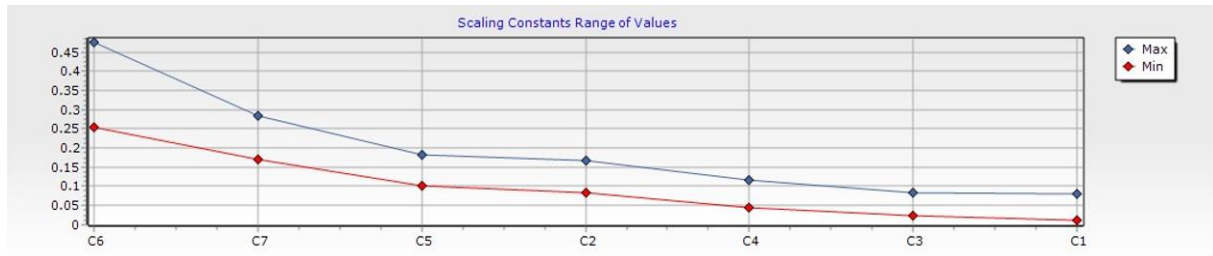
Embora os projetos rodoviários ( $A_2$ ,  $A_3$  e  $A_6$ ) ocupam o nível quinze na classificação e não há uma definição clara de qual relação de dominância neste nível, o decisor considerou que isso foi muito útil, tendo em vista que não havia informações suficientes para definir a preferência quando comparados entre si com uma relação incomparável através das informações obtidas até a décima segunda questão de elicitação flexível. Desta forma, observa-se a dificuldade de comparar esses projetos, sendo considerados incomparáveis com as demais alternativas dentro deste nível no ranking.

Importante observar que, os resultados obtidos de ordenação, foram bem diferentes aos estabelecidos pelos chefes das unidades locais no início da modelagem. Observando novamente a Tabela 6, para os projetos do programa P.A.T.O. da BR 101/AL por exemplo, temos que a  $A_{15}$ , Restabelecimento da drenagem km 181 tinha grau 1 de criticidade, isto é, o projeto de prioridade maior no programa. Ao final do modelo, esta alternativa ocupou a sexta posição de

ranqueamento, sendo dominada pelas alternativas  $A_{18}$ ,  $A_{17}$  e  $A_{16}$  do mesmo programa, mostrando que um modelo estruturado pode levar a resultados diferentes do esperado.

Os resultados obtidos do software FITradeoff também forneceu os possíveis valores de peso para cada critério considerado na decisão e seus respectivos limites, que definem o subespaço de pesos delimitados pelas informações obtidas até o décimo segundo ciclo, conforme mostradas na Figura 30 e na Tabela 11.

Figura 30 – Gráfico de subespaço de pesos ( $w_i$ ) delimitados



Fonte: Próprio autor (2023)

Tabela 11 – Faixa de valores das constantes de escala ( $w_i$ ) dos critérios analisados.

<b>Scaling Constants Range of values:</b>							
	$C_6$	$C_7$	$C_5$	$C_2$	$C_4$	$C_3$	$C_1$
	<b>IGG</b>	<b>Praz</b>	<b>IRI</b>	<b>iRAP</b>	<b>VMDa</b>	<b>Pop</b>	<b>Cust</b>
<b>Max</b>	0.48	0.28	0.18	0.17	0.12	0.08	0.08
<b>Min</b>	0.25	0.17	0.1	0.08	0.04	0.02	0.01

Fonte: Próprio autor (2023)

Observa-se que há uma maior concentração de pesos no critério relacionado com o índice de gravidade global (IGG), este índice relaciona-se intrinsecamente com o nível de patologia existente nas rodovias. É importante observar que a constante de escala não considera apenas a importância relativa do critério de decisão, mas também informações sobre a escala dos resultados das alternativas em um problema, isso significa dizer, que não só a importância relativa do critério afeta o valor de sua constante de escala, mas também a variação no desempenho entre a alternativa com o resultado mais baixo e o mais alto. Constante de Escala de critérios com um intervalo maior podem assumir um valor maior.

Ainda pode-se concluir que, para o decisor, o quão forte o critério IGG ( $C_6$ ) é em relação aos demais, através do gráfico da Tabela 11, seus limites máximos e mínimos são bem maiores que os demais critérios. O segundo critério mais representativo, Praz ( $C_7$ ), se destaca aos demais critérios por possuir uma variação de valor acima de 0.1.

Embora os critérios relativos ao custo ( $C_1$ ), segurança viária ( $C_2$ ) e volume médio diário anual ( $C_4$ ) tenham pesos baixos na classificação, pode ser visto que juntos, esses critérios podem afetar significativamente a preferência da decisão, considerando as informações obtidas até o final do processo de elicitação, é demonstrado que os objetivos representados por esses critérios não devem ser desconsiderados pelo decisor.

Para cada vetor de pesos dentro do espaço de pesos delimitado pelos valores mostrados na Tabela 11, o ranking das alternativas permanece o mesmo que o mostrado na Figura 29.

Uma das vantagens do modelo é a possibilidade de lidar com informações parciais. Apesar do problema ter sete critérios, apenas 12 perguntas foram necessárias antes obtendo um resultado satisfatório para o decisor. Comparado com modelos que requerem informações completas sobre pesos e razões de indiferença, o decisor teria que fazer pelo menos seis declarações de indiferença sobre os critérios adjacentes na classificação, somado que, é muito difícil para o decisor fornecer declarações de indiferença diretamente. Outra consideração importante é pelo fato no processo de obtenção de indiferença, duas questões de abordagem e uma terceira questão de determinação para cada indiferença seria perguntado, totalizando  $3(n-1)$  afirmações do decisor. Nesse caso, o decisor teria que responder dezoito perguntas para definir todos os pesos, portanto, quando comparado a essas abordagens de informações completas para obtenção dos pesos, observe que, além do modelo exigir que o decisor forneça menos respostas, as perguntas são baseadas principalmente em relações de preferência estritas, que são mais fáceis de obter, resultando em um procedimento mais rápido com menos inconsistências.

Para analisar a sensibilidade da ordenação dos projetos relacionada à incerteza sobre as constantes de escala ( $w_i$ ), uma simulação Monte Carlo foi realizada simulações, variando todos as constantes de escalas em 10% em torno de seus valores originais. O resultado da análise de sensibilidade é apresentado nas Tabelas 12 e Tabela 13, onde representam respectivamente, os percentuais de desvio de cada alternativa de suas posições originais na ordenação da solução e as porcentagens de vezes que cada alternativa ocupou determinada posição na ordenação.

Tabela 12 - Percentuais de desvio de cada alternativa de suas posições originais

<i>Deviation from the Original Ranking</i>			
<b>Position in the rank</b>	Alternatives	%	
		Original Position	% Change

1	Alt. 18	100.00%	0.00%
2	Alt. 11	100.00%	0.00%
3	Alt. 17	100.00%	0.00%
4	Alt. 16	99.80%	0.20%
5	Alt. 10	99.80%	0.20%
6	Alt. 15	8.20%	91.80%
7	Alt. 4	0.00%	100.00%
8	Alt. 14	67.30%	32.70%
9	Alt. 20	13.50%	86.50%
10	Alt. 13	0.20%	99.80%
11	Alt. 12	0.30%	99.70%
12	Alt. 19	0.00%	100.00%
13	Alt. 8	0.00%	100.00%
14	Alt. 1	0.00%	100.00%
15	Alt. 2	0.00%	100.00%
15	Alt. 3	0.00%	100.00%
15	Alt. 6	0.00%	100.00%
16	Alt. 5	0.00%	100.00%
17	Alt. 7	0.00%	100.00%
18	Alt. 9	0.00%	100.00%

Fonte: Próprio autor (2023)

Pode-se observar na Tabela 12, que as cinco primeiras alternativas permaneceram praticamente 100% nas posições originais, o que demonstram o quanto estão consolidadas no ranqueamento, em contrapartida, as demais alternativas possuem alta porcentagem de mudança nas suas posições, com exceção as alternativas  $A_{14}$  que apresenta uma leve tendência na permanência de sua posição e a alternativa  $A_{20}$  de forma inversa.

Tabela 13 - Porcentagem de vezes que cada alternativa ocupou determinada posição na ordenação

Percentage of times that the alternative was ordered in the position (%):														
Alt.	Position													
$(A_i)$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$A_1$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	4.3	20.7	43.7	27.5	3.7	0.0	0.0	0.0
$A_2$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	5.0	23.9	45.5	21.6	3.2	0.3	0.0

<b>A<sub>3</sub></b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	6.7	29.7	44.1	16.8	2.1	0.0	0.0
<b>A<sub>4</sub></b>	0.0	0.0	0.0	0.2	15.9	83.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>A<sub>5</sub></b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.2	15.6	40.1	31.4	8.8	0.5	0.1
<b>A<sub>6</sub></b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	4.7	23.8	43.5	23.1	4.1	0.3	0.0
<b>A<sub>7</sub></b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.5	11.8	34.5	36.4	12.7	1.9	0.1
<b>A<sub>8</sub></b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	7.5	35.4	46.4	10.4	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>A<sub>9</sub></b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.7	13.3	36.2	35.2	11.1	1.3	0.1
<b>A<sub>10</sub></b>	0.0	0.0	0.0	3.3	96.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>A<sub>11</sub></b>	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>A<sub>12</sub></b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	7.7	37.8	46.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>A<sub>13</sub></b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	24.8	55.9	15.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>A<sub>14</sub></b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	5.7	36.4	57.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>A<sub>15</sub></b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	17.3	82.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>A<sub>16</sub></b>	0.0	0.0	1.7	98.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>A<sub>17</sub></b>	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>A<sub>18</sub></b>	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>A<sub>19</sub></b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	7.8	37.4	46.2	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>A<sub>20</sub></b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	5.4	35.0	48.9	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fonte: Próprio autor (2023)

Outra análise pode ser feita a partir da Tabela 13, que a variação só ocorreu apenas nas 14 posições ordenadas. Consolida a alternativa  $A_{18}$ ,  $A_{11}$ ,  $A_{17}$ ,  $A_{16}$  e  $A_{10}$  em suas posições originais. Além disso, a  $A_4$  tem forte tendência de subir no ranqueamento, passando para 6ª posição, dominado a alternativa  $A_{15}$ , que apresentou uma probabilidade 82% em ocupar a 7ª posição. Desta forma, comprova-se uma crescente tendência de troca de posição entre essas alternativas. Quanto a alternativa  $A_9$ , que originalmente ocupa a última posição, apresenta apenas 36% de alteração para décima posição, o que certifica sua baixa prioridade com relação as preferências do decisor.

Como os resultados fica destacado que de acordo com o decisor, critérios relacionados com o grau de deterioração, prazo e a serventia, são relevantes para priorização de recursos. Desta forma, rodovias com alto índice de gravidade global, com cronogramas em atraso em conjunto com altos valores de irregularidade, devem ter priorização de recursos. Como também podemos observar, que os projetos dos programas P.AT.O das BR`s 101/AL e 423/AL devem ter um destaque quanto a gestão de recursos e um gerenciamento otimizado, por seus projetos concentrarem nas primeiras colocações da ordenação.

Com relação a seleção do portfólio, o gestor dever definir primeiro qual orçamento está disponível para atendimento dos projetos em andamento, de modo a selecionar o portfólio. Observa-se na Tabela 10, se o orçamento for na ordem de R\$ 10.000.000,00, então os projetos entre a primeira até a décima quarta posição, podem ser escolhidos para conclusão. Por outro lado, se o orçamento for de R\$ 90.000.000,00, poderiam ser selecionados todos os projetos, com exceção o  $A_{18}$ . Desta forma, o decisor poderá escolher o portfólio em função dos recursos disponível e da ordenação preferencial.



## 5 CONCLUSÃO

A contribuição do uso do método FITradeoff no âmbito da infraestrutura de transportes consiste no apoio a decisões de investimento na conservação de ativos existentes dentro do contexto de uma modelagem multicritério com informação parcial, em que o decisor deseja avaliar o tradeoff dos principais tipos de instrumentos de avaliação de alternativas do sistema de gestão rodoviário. Os resultados apresentados neste trabalho evidenciaram a importância de utilizar a informação do decisor de uma forma cognitivamente mais fácil sem a necessidade de informação dos pesos dos critérios na definição das melhores alternativas. O estudo mostra a perspectiva de utilização do método FITradeoff incorporando características dos processos de gestão rodoviário utilizado pelo decisor nos projetos em andamento, uma vez que o mesmo apresentou satisfação com os resultados apresentados, além disso acreditou ser essencial para demais programas existentes.

Após uma análise das características do problema, em termos dos atores de decisão, dos dados disponíveis e dos objetivos, a aplicabilidade do método FITradeoff para ordenação dos projetos com mais prioridade foi apresentada como uma ferramenta de apoio à decisão. Assim, foi realizado um estudo de caso em 20 projetos de manutenção em andamento e 07 critérios de avaliação. A variedade de critérios considerados pelo decisor representa bem a diversidade e multiplicidade de fatores que afetam a questão de priorização de recursos e planejamento na manutenção da malha local. Os critérios foram considerados aspectos associados ao impacto social, questões relacionadas ao custo e indicadores que caracterizam as condições de serventia da rodovia.

O método FITradeoff foi aplicado considerando as preferências do decisor, que foram obtidas pela análise de suas respostas às perguntas do sistema de questões. Todo o processo foi suportado pelo software. Conforme apresentado, após a ordenação e elicitação dos pesos dos critérios, foram definidos 18 níveis de ordenação e os 14 projetos rodoviários em andamento mais prioritários foram identificados. Portanto, diante desse resultado, o decisor se sentiu mais confiante em alocar os recursos disponíveis (como recursos financeiros, trabalho em conjunto, investimentos em equipamentos de monitoramento periódicos, supervisão etc) para concluir, prevenir e/ou mitigar o avanço de patologias nas rodovias prioritizadas.

Outros projetos rodoviários tiveram posições intermediárias na classificação, mas ainda assim, fornece ao decisor informações parciais que possam contribuir para o planejamento de

ações em projetos considerados menos críticos, que são obras de recuperação de erosões na rodovia BR 104/AL.

Pode-se destacar ainda que o modelo pode ser aplicado levando em consideração períodos que o órgão realiza o planejamento de ordem de início de serviços dos programas, podendo inclusive considerar período chuvosos, onde grande parte das obras são parcialmente paralisadas. Com isso é possível aplicar uma configuração de priorização de projetos de manutenção em andamento quando for preciso de acordo com as circunstâncias.

O decisor afirmou que o resultado se mostrou bem coerente com as decisões que geralmente são tomadas durante o período executivos dos programas de manutenção, de forma que a aplicação foi assertiva quanto as priorizações das atividades, além disso apresentou um método de tomada de decisão estruturada, com base matemática, onde poderá auxiliar quanto a justificativas de decisão perante aos controles externos.

## 5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Estudos futuros podem ser desenvolvidos para investigar efetivamente a melhoria do modelo de decisão, examinando a avaliação do decisor quanto à eficácia e eficiência no uso dos recursos disponíveis nos diferentes projetos rodoviários priorizados. De modo geral, as ações de reparo e de prevenção/mitigante direcionam “energia” para diminuir ou eliminar algumas dimensões de consequências, por exemplo, uma ação no sistema de levantamento de patologias e reparos nos sistemas de drenagem, podem reduzir o nível de desgaste do pavimento. Por outro lado, isso pode ter pouco impacto sobre as questões associadas ao plano de investimento em construção de rodovias, para a melhoria na adequação da estrada com relação ao volume de tráfego, segurança e alocação de recursos.

Através da aplicação realizada, o decisor forneceu algumas considerações que podem ser destacados como sugestão para realização de trabalho futuros a partir desta pesquisa, a incorporação dos contratos de manutenção CREMA (Contratos de Restauração e Manutenção rodoviária), que possuem níveis de desempenho de execução; a inclusão de critérios relacionados à comoção social e política e a inclusão de critérios relacionados à interferência de empresas contratadas de supervisão dos programas.

Como continuidade da pesquisa um modelo multicritério de portfólio pode ser recomendado para definição de portfólio de projetos com base na combinação de alternativas de projetos de manutenção, construção e em fase de elaboração, além disso, outra perspectiva de evolução do modelo pode envolver o uso de uma abordagem de decisão entre os chefes

setoriais, incorporando as preferências de diversos decisores em uma única decisão, incluindo agregar ao modelo proposto as influências externas e suas influências nos processos da organização.

## REFERÊNCIAS

- ABRANTES, R.; FIGUEIREDO, J. “Resource management process framework work for dynamic NPD portfolios,” *Int. J. Gerenciamento de Projetos.*, vol. 33, pp. 1274-1288, 2015.
- AL-ADAWIYAH, UTOMO, C.. A Review of Previous Researches’ Methods on Stakeholder Management at Construction Projects. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Sci. 436 012014. 2020.
- ALMEIDA, Adiel Teixeira de. *Processo de Decisão nas organizações: Construindo Modelos Multicritérios*. Ed. Atlas. São Paulo-SP. 2013.
- ALMEIDA, A. T. de, ALMEIDA, J. A. de, COSTA, A. P. C. S. e ALMEIDA-FILHO, A. T. (2016). A new method for elicitation of criteria weights in additive models: Flexible and interactive tradeoff. *European Journal of Operational Research*, vol. 250(1): p.179-191, 2016.
- ALMEIDA, Adiel Teixeira de, et al. USO DO MÉTODO FITRADEOFF EM ANÁLISE DE INVESTIMENTOS. XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional Blumenau-SC, 27 a 30 de Agosto de 2017.
- ALMEIDA, Adiel T. de; FREJ, Eduarda .A. & ROSELLI, Lucia R. P. Combining holistic and decomposition paradigms in preference modeling with the flexibility of FITradeoff. *Cent Eur J Oper Res* 29, 7–47 (2021).
- ALMEIDA, Adiel Teixeira de; COSTA, Ana Paula Cabral Seixas. Modelo de decisão multicritério para priorização de sistemas de informação com base no método PROMETHEE. *Gestão & Produção*, v. 9, p. 201-214, 2002.
- BANA E COSTA, C.A., DE CORTE, JM., VANSNICK, JC. (2005). On the Mathematical Foundation of MACBETH. In: *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. International Series in Operations Research & Management Science, vol 78. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/0-387-23081-5\\_10](https://doi.org/10.1007/0-387-23081-5_10).
- BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. *Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros*. Petrobras:ABEDA, Rio de Janeiro, 2017.
- BRANS, J.P.; VINCKE, Ph.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, v. 24, p. 228-238, 1986.
- BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. *Manual de Conservação Rodoviária*. 2ed. Rio de Janeiro (IPR, publ. 710), 2005.
- Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual de gerência de pavimentos*. - Rio de Janeiro, (IPR. Publ. 745),2011.

BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de implantação básica de rodovia. – 3. ed. - Rio de Janeiro, (IPR. Publ. 742), 2010.

BRASIL, Lei N° 4.320, de 17 de março de 1964. Estatui Normas Gerais de Direito Financeiro para elaboração e controle dos orçamentos e balanços da União, dos Estados, dos Municípios e do Distrito Federal. Brasília, DF. Diário Oficial da União 23 de março de 1964.

CASTRO, H. G.; CARVALHO, M. M. Gerenciamento do portfólio de projetos (PPM): estudos de caso. *Produção*, v. 20, n. 3, p. 303-321, 2010.

CASTRO, H. G.; CARVALHO, M. M. Project Portfolio Management: an exploratory study on the challenges of its implementation and results. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 17, n. 2, p. 283-296, 2010.

CENTER FOR DECISION SYSTEMS AND INFORMATION DEVELOPMENT (CDSID). *Practical User Guide – FITRADEOFF*. Recife 2003.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. Investimentos públicos e as rodovias federais no Brasil: evolução e perspectivas / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília, (2021).

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES - CNT. Painel CNT do transporte – Rodoviário. 2022. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/painel-cnt-transporte-rodoviario>. Acesso em: 5 mai. 2023.

COOPER, R. G.; EDGETT, S. J.; KLEINSCHMIDT, E. J. Portfolio management in new product development: lessons from the leaders—I. *Research Technology Management*, v. 40, n. 5, p. 16-28, 1997.

COOPER, R. G.; EDGETT, S. J.; KLEINSCHMIDT, E. J. Best Practices for managing R&D portfolios. *Research Technology Management*, v. 41, n. 4, p. 20-33, 1998.

COOPER, R., EDGETT, S., & KLEINSCHMIDT, E. J. Gestão de portfólio para desenvolvimento de novos produtos: resultados de um estudo de práticas da indústria. *R e D Management*, 31(4), 361-380. 2001.

CRAWFORD, Lynn H; HELM, Jane. Government and governance: The value of project management in the public sector. *Project Management Journal*. Volume 40, Issue 1, p. 73–87, Março 2009.

DNIT. Modelo de Governança. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.2021.

DINSMORE, P. C.; CABANIS-BREWEN, J. *AMA: manual de gerenciamento de projetos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2014.

FERNANDES, Marion Gomes de Moraes; SILVA JÚNIOR, Orivalde Soares da. Otimização da alocação de recursos em portfólio de projetos – estudo de caso do Sistema de Obras do Exército Brasileiro. In: *SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA*

MARINHA, 19., 2019, Rio de Janeiro, RJ. Anais [...]. Rio de Janeiro: Centro de Análises de Sistemas Navais, 2019.

FMI; Fundo Monetário Internacional; Brasil - Avaliação da Gestão do Investimento Público. Relatório de Assistência Técnica; 2018.

FOTI, R., "Make Your Case, Not All Projects Are Equal," PM Network, vol. 31, 17(11), November 2003, Pages. 36-43.

FREJ, E. A., Ekel, P., & de Almeida, A. T. A benefit-to-cost ratio based approach for portfolio selection under multiple criteria with incomplete preference information. *Information Sciences*, 545, 487–498. 2021.

FREJ, E.A.; ALMEIDA, A.T. D de; COSTA, A.P.C.S. Using data visualization for ranking alternatives with partial information and interactive tradeoff elicitation. *Operational Research*, 19 (4), pp. 909-931. 2019.

GERALDI, Joana, TEERIKANGAS, Satu, BIROLLO, Gustavo, Project, program and portfolio management as modes of organizing: Theorising at the intersection between mergers and acquisitions and project studies, *International Journal of Project Management*, Volume 40, Issue 4, Pages 439-453, ISSN 0263-7863, 2022.

GOMES, Luiz Flavio Autran Monteiro; GOMES, Carlos Francisco Simões. Tomada de decisão Gerencial: Enfoque multicritério. Ed. Atlas, 4. Ed. São Paulo/SP. 2012.

GOMES, Carlos Francisco Simões; COSTA, Helder Gomes. Proposta do Uso da Visão Prospectiva no Processo Multicritério de Decisão. *Relatórios De Pesquisa Em Engenharia De Produção* v.13, n.8, 2013.

HOEL, Lester A; GARBER, Nicholas J.: SADEK, Adel W. Engenharia de infraestrutura de transportes: Uma integração multimodal. Ed. Cengage Learning. São Paulo. 2011.

IKA, A Lavgnon. Opening the black box of project management: Does World Bank project supervision influence project impact. *International Journal of Project Management*. Volume 33, Issue 5, July 2015.

KANDAKOGLU, Macule; WATHER, Grit; AMOR, Sarah Ben. A robust multicriteria clustering methodology for portfolio decision analysis. *Computers & Industrial Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108803>.

KERZNER, Harold. Gerenciamento de Projetos – Uma Abordagem Sistêmica para Planejamento, Programa e Controle. Ed. Blucher – Tradução da 11ª edição americana. São Paulo – 2021.

KREUTZ, Rafael Rudolfo; VIEIRA, Kelmara Mendes. A Gestão de Projetos no Setor Público: Os Desafios de suas Especificidades. *Revista de Gestão Pública: Práticas e Desafios* ISSN: 2177-1243. 2018.

KESSLER, E. H.; CHAKRABARTI, A. K. Innovation speed: a conceptual model of context, antecedents, and outcomes. *Academy of Management*, v. 21, n. 4, p. 1143-1191, 1996.

LARSON, Eric W.; GRAY, Clifford F. Gerenciamento de Projetos: O processo Gerencial. Ed. McGraw-Hill Global Education Holdings. Nova York – 2014.

LIESIÖ, J., Mild, P., & Salo, A. (2007). Preference programming for robust portfolio modeling and project selection. *European Journal of Operational Research*, 181(3),1488–1505.

MAIA, Maikon Santiago. Efeitos da infraestrutura de transporte sobre o crescimento econômico brasileiro de 2001 a 2012. 2015. 71 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015.

MACDONALD, Gordon. Segredos do coração do homem. Ed. Betânia. Belo Horizonte, 1999.

MARINHO, Marcelo L. M; MOURA, Hermano P. de. Gerenciamento das Incertezas em Projetos de Software. *Revista Eletrônica Estácio Recife*. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Vol. 3, n° 2, dezembro de 2017.

MARINHO, M.; SAMAPIO, S.; LUNA, A.; LIMA, T.; e MOURA, H. Dealing With Uncertainties in Software Project Management. In: *IEEE International Conference on Computer and Information Technology*, 15, 2015.

MARQUES, Adriana Cavalcante; FREJ, Eduarda Asfora; ALMEIDA, Adiel Teixeira de, Multicriteria Decision Support for Project Portfolio Selection with the FITradeoff method, *Omega*, Volume 111, 102661, ISSN 0305-0483, 2022.

MARTINSUOA, M.; GERALDI, Joana. Management of project portfolios: Relationships of project portfolios with their contexts. *International Journal of Project Management*. Volume 38, Issue 7, Outubro 2020, pág 441-453.

MATTOS, Aldo Dórea. Planejamento e Controle de Obras. 2ª Ed. São Paulo. Ed. Oficina de Textos.

MATOS, Daniel Anijar de; CAPUTO, Bruno Alonso; SACALIANTE, Ricardo de Mello. Utilização de ferramenta para tomada de decisão na gerência de manutenção rodoviária. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, (2020).

MILD, Pekka; LIESIÖ, Juuso; SALO, Ahti. Selecting infrastructure maintenance projects with Robust Portfolio Modeling. *Decision Support Systems*. Vol 77, Maio 2015, pág. 21–30.

NASCIMENTO, V. M. Gerenciamento de Risco em Projetos: Como Transformar Riscos em Vantagem Competitiva. Monografia. Adecisorinistração. Universidade Veiga De Almeida, 2003. Disponível em <http://www.uva.br/sites/all/themes/uva/files/pdf/monografia-gerenciamento-de-risco-em-projetos.pdf>.

PATANAKUL, Peerasit. How to Achieve Effectiveness in Project Portfolio Management. *Ieee Transactions On Engineering Management*, VOL. 69, N°. 4, August 2022.

PILETTI, Felipe José. Alocação de recursos no orçamento federal: contribuições da economia comportamental para o aprimoramento do processo decisório orçamentário. Trabalho de

Conclusão de Curso de Especialização em Planejamento e Orçamento. Escola Nacional de Adecisorinistração Pública – ENAP. 2020.

PISA, Beatriz Jackiu; OLIVEIRA, Antonio Gonçalves. Gestão de projetos na administração pública: um instrumento para o planejamento e desenvolvimento. 1º seminário nacional de planejamento e desenvolvimento, Curitiba, PR, 2013.

PMI. Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos. Guia PMBOK 6a. ed. – EUA: Project Management Institute, 2013.

PMI. The Standard for Program Management – Fourth Edition – EUA: Project Management Institute, 2017a.

PMI. The Standard for Portfolio Management – Fourth Edition – EUA: Project Management Institute, 2017b.

ROY, B. Multicriteria methodology for decision aiding. Kluwer Academic Publishers, 1996.

SALOMÃO, Pedro Emílio Salvador.; PEREIRA, Rowan de Melo.; CARVALHO, Paulo Henrique Vieira de.; RIBEIRO, Paulo Toledo. Redalyc. A importância dos serviços de conservação em rodovias pavimentadas. 2019. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5606/560662199016/560662199016.pdf>.

SAMSON, A. The Behavioral Economics Guide 2022. Disponível em: <https://www.behavioraleconomics.com/be-guide>. Acesso em: 22 setembro. 2022.

SANTOS, Pedro Ferraz de Andrade Augusto dos Santos; GONÇALVES, Carlos Alberto; DIAS, Ana Valéria Carneiro. Implementação da Gestão de Portfólio de Projetos no Setor Público: Um estudo de caso no Governo de Minas Gerais. In: Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Adecisorinistração - EnANPAD, 36, Rio de Janeiro, 2012. Anais Eletrônicos. Rio de Janeiro: ANPAD, 2012.

SHAKHSI-Niaei, M., Torabi, S. A., & Iranmanesh, S. H. (2011). A comprehensive framework for project selection problem under uncertainty and real-world constraints. *Computers & Industrial Engineering*, 61(1), 226–237.

SOUZA, Ygor Logulho de et al. A Utilização de Métodos de Apoio Multicritério à Decisão na Escolha de Sistemas Espaciais. XXIV Simpósio De Aplicações Operacionais Em Áreas De Defesa & 1ª Semana de Aplicações Operacionais ao Preparo e Emprego. ITA. Setembro 2022.

STOUFFER, D.; RACHLIN, S. A summary of first practices and lessons learned in information technology portfolio management. Chief Information Officer (CIO) Council, Washington, DC, mar. 2002.

TIGANIS, Antonios et al. Customer satisfaction in short food supply chains: A multiple criteria decision analysis approach. *Food Quality and Preference*. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104750>, 2022.

TORRES, Luís Fernando. Fundamentos do Gerenciamento de Projetos (p. IV). Ed. GEN Atlas. Rio de Janeiro, 2014.



VALLE, A. B. et al. Fundamentos de Gerenciamento de Projetos. 2.ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2010.

VARGAS, R. V. Gerenciamento de projetos. 4. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2002.

VETSCHERA, R., ALMEIDA, A. T. de. Uma abordagem baseada em PROMETHEE para problemas de seleção de portfólio. *Comput Oper Res* 2012; 39(5):1010–20. doi:10.1016/j.cor.2011.06. 019.

VIEIRA, Isis da Silva. Modelo multicritério para priorização de atividades de manutenção em ativos físicos. UFPE. 2022.

VINCKE, P. Multicriteria Decision-aid. New York; John Wiley, 1992.

WIRICK, David. Publica Sector Project Management: Meeting the challenges and achieving results. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2009.