

QUAL O RISCO AMBIENTAL CAUSADO AO PARQUE NACIONAL MARINHO DE FERNANDO DE NORONHA DEVIDO ÀS ROTAS DE NAVIOS QUE PASSAM PRÓXIMAS AO ARQUIPÉLAGO. UMA ANÁLISE QUANTITATIVA BASEADA EM MODELOS MATEMÁTICOS

Léo Costa Aroucha¹; Enrique López Droguett²

¹Estudante do Curso de Bacharelado em Oceanografia- CTG – UFPE; E-mail: leo_aroucha@hotmail.com,

²Docente/pesquisador do Depto de Engenharia de Produção – CTG – UFPE. E-mail:eld.umd@gmail.com.

Sumário: O trabalho objetiva revisar e resumir os aspectos práticos da Meteorologia e da Oceanografia para navegação, destacando sua influência na navegação em águas restritas e interiores. É uma revisão bibliográfica para reunir, de forma resumida, informações que sirvam de base para outros trabalhos e que possam gerar discussões a respeito do tema. Além disso, o trabalho fez parte de um projeto maior, com o envolvimento de diversos pesquisadores e alunos, e, neste relatório, analisamos o risco ambiental causado ao Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha (PARNAMAR-FN) devido às rotas de navios que passam próximas ao arquipélago, além da investigação dos aspectos meteorológicos e oceanográficos importantes para o risco de acidentes de navegação. Foca-se em águas brasileiras, especificamente na região da METÁREA V, de acordo com boletim da Marinha do Brasil. Verifica-se a grande importância de ondas, ventos e correntes especialmente para navegação em águas restritas e interiores. Se não forem antecipados, esses aspectos podem causar danos e avarias aos navios, além de dificultar as manobras com o mesmo. Observou-se também que ventos locais podem se sobrepor aos efeitos de brisas, dependendo de sua intensidade, e que ventos offshore favorecem a navegação em águas restritas. Constataram-se parâmetros que podem reduzir a visibilidade do navegante, como nevoeiro denso, que pode reduzir a visibilidade a menos que 100m, e chuva que, de acordo com sua intensidade, pode reduzir a visibilidade a menos de 500m. Por outro lado, a identificação e análise das rotas com maior risco ao PARNAMAR-FN foram realizadas através de marcações e distâncias a pontos notáveis das rotas, e foi realizada uma análise qualitativa, onde a rota Recife – Cabo Branco aparenta oferecer maior risco. Finalmente, conclui-se que a análise e compreensão dos parâmetros oceano-atmosféricos são cruciais para uma navegação eficiente e segura.

Palavras-chave: Análise de Risco; Meteorologia; Navegação; Oceanografia;

INTRODUÇÃO

Os aspectos oceano-atmosféricos possuem papel fundamental na navegação. Ventos e ondas, por exemplo, possuem influência direta no estado do mar e, conseqüentemente, nas condições para se navegar (Hsu 2013). No mar, os fenômenos naturais podem atingir grande intensidade (Lobo e Soares 2007). Desta forma, os parâmetros meteorológicos e oceanográficos são primordiais para planejamento de rotas de embarcações, de forma que este planejamento e análise dos mesmos possa reduzir o tempo de viagem, consumo de combustível e o risco de acidente no mar (Dooley 1985).

Navegação em águas restritas consiste na navegação em portos, baías, canais, rios e outras águas navegáveis, onde as manobras do navio são restritas, haja vista da proximidade de perigos, e/ou profundidades reduzidas (Miguens 1996). Este tipo de navegação exige muito do navegante na tentativa de evitar acidentes. Aproximadamente

90% dos acidentes de navio ocorrem em águas restritas (Cockroft 1984; MacElrevey and MacElrevey 2004; Gould, Roed et al. 2006). Desta forma, os navegantes em águas restritas devem: ter a capacidade de entender e interpretar o estado do tempo atual e a sua evolução, saber como estas forças alteram o comportamento do seu navio e planejar as manobras e ajustes necessários de forma mais eficiente e segura. Este trabalho abordará os principais aspectos da Oceanografia e Meteorologia de interesse para o navegante, principalmente em águas restritas e interiores.

. Este trabalho abordará os principais aspectos da Oceanografia e Meteorologia de interesse para o navegante, principalmente em águas restritas e interiores. Além disso, o trabalho fez parte de um projeto maior, com o envolvimento de diversos pesquisadores e alunos, e, neste relatório, analisamos também o risco ambiental causado ao Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha (PARNAMAR-FN) devido às rotas de navios que passam próximas ao arquipélago, além da investigação dos aspectos meteorológicos e oceanográficos importantes para o risco de acidentes de navegação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho tem como objetivo principal realizar uma revisão sobre meteorologia e oceanografia para o navegante usando como fontes de informações publicações científicas, livros e comunicação pessoal. Desta forma, espera-se reunir, de maneira resumida, informações que sirvam de base para outros trabalhos e que possam gerar discussões a respeito do tema. Foca-se, principalmente, na navegação em águas restritas e interiores e como os aspectos oceano-atmosféricos podem afetar este tipo de navegação. O trabalho também busca tratar do tema voltado para o Brasil, sua costa e portos.

Foram analisados aspectos a respeito da circulação do ar, atividade convectiva, sistemas sinóticos, correntes, marés e ondas, além de parâmetros como precipitação, névoa, nevoeiro, brisas, ventos e frentes. Foram utilizadas informações fornecidas pela Marinha do Brasil, seja através de contato direto, seja através de informações extraídas de seus periódicos. Desta forma, a metodologia baseou-se no que há disponível na literatura a respeito de meteorologia e oceanografia para navegação, buscando trazer o enfoque para águas restritas. Além disso, foram feitas análises de cartas piloto, e cartas sinóticas para estimativa da frequência de ventos na costa brasileira.

O estudo abordou fenômenos que podem ocorrer ao longo de todo mundo, haja vista de a literatura existente não tratar especificamente de algum local. Porém, o enfoque principal foi que a área de estudo se restringisse ao Brasil, na região da Metárea V (i.e. região delimitada pela costa do Brasil até o meridiano de 020° W e das latitudes 07°N a 037°S), segundo relatório da METEOROMARINHA (disponível em: <<https://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/index.htm>>).

Foram desenvolvidas imagens, que se basearam nas Cartas Náuticas do local, onde foram traçadas e identificadas as rotas dos navios presentes nas Cartas Piloto. Foram analisados os pontos notáveis utilizados pelos navegadores, e quais LDP's seriam mais facilmente utilizadas de modo que tornasse a navegação mais viável. Além disso, calcularam-se os rumos, distâncias e marcações dos navios em relação aos pontos notáveis utilizados pelos navegantes. Criou-se também uma tabela que mostra todos os resultados obtidos com o desenvolvimento da imagem. A tabela trata das três principais rotas recomendadas, sendo duas delas de ida e volta e uma em apenas um sentido.

Além disso, foram feitas análises de cartas piloto, e cartas sinóticas para estimativa da frequência de ventos na costa brasileira. Assim, desenvolveu-se uma Rosa dos Ventos, que também foi inserida na imagem. A Rosa dos Ventos indica, em percentagem, a direção de onde sopram os ventos, e pela Escala BEAUFORT a velocidade média no mês, por

octante (Brasil 1993). Também foi inserida na imagem a indicação da velocidade e direção da corrente marítima predominante.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se a influência prática de aspectos oceano-atmosféricos para navegação em águas restritas. Destacou-se a importância da verificação do estado do tempo. Além disso, observou-se que a aproximação de nuvem Cirrus com garras (rabo de galo) pode indicar a chegada de mau tempo, da mesma forma que a presença de Cumulonimbus indica condições atmosféricas ruins. Ressaltaram-se também aspectos que afetam a visibilidade do navegante, i.e.: nebulosidade, precipitação, névoa e nevoeiro, sendo o nevoeiro denso o que mais reduz a visibilidade (a menos de 100 metros). Verifica-se a possibilidade de nevoeiro através da temperatura do ar (T) e temperatura do ponto de orvalho (TPO). A formação de nevoeiro será facilitada quando a diferença $T - TPO$ é próxima a 2°C próximo à costa, e quando a umidade relativa do ar for alta (e.g. 95%). Destaca-se, ao mesmo tempo, a importância das brisas para navegação em águas restritas. Porém, observa-se a necessidade de levar em consideração os ventos das circulações de grande escala (e.g. ventos alíseos) avaliando se as brisas conseguem sobressair a estes ventos. Verificou-se a não ocorrência de ciclones tropicais na região do oceano Atlântico Sul, além da constatação da presença de frentes frias na costa sul do Brasil.

Em relação à Oceanografia, destaca-se a importância das marés, correntes e ondas para a navegação. A maré é fator crucial, especialmente tratando-se de navegação em águas restritas, podendo dominar o comportamento da embarcação neste caso. Quando navegando próximo a costa, deve-se ter especial atenção com a ocorrência de correntes induzidas pelo vento (e a corrente de deriva resultante que poderá ensacar ou afastar a embarcação da costa), correntes de ressaca, correntes de marés e arrebentação das ondas. Às vezes, mesmo com o estado do tempo bom, sem vento, sem nebulosidade, há estado do mar bastante severo devido a marulhos que penetram em águas rasas, aumentando sua altura até a faixa da arrebentação, que será forte com ocorrência de correntes de retorno ou de ressaca. Por fim, verificou-se a importância da consulta, por parte dos navegantes, de toda informação disponibilizada gratuitamente pela Marinha do Brasil, na tentativa de manter um alto nível de segurança no mar.

A Tabela 1 e Figura 1 mostram distâncias e marcações de rotas de navios que navegam próximos ao Arquipélago de Fernando de Noronha. As rotas foram identificadas através das Cartas Piloto, que mostra as rotas mais recomendadas para navegação (por exemplo, as rotas mais vantajosas em relação às correntes, aos ventos e a proximidade de pontos notáveis) para cada mês do ano, baseados em dados meteorológicos e oceanográficos disponibilizados pela Marinha do Brasil de 1951 a 1972 (BRASIL 1993). As rotas encontradas foram: Ponce e Colón - Cabo da Boa Esperança (CBE – Novembro - ida); Recife – Ilha da Madeira (REC – IM - Agosto - ida e volta); Recife – Cabo Branco (REC – CB - Março - ida e volta). No desenho das rotas, foram determinados três pontos das posições do navio em cada rota. O primeiro ponto foi considerado como aquele onde a tripulação do navio avista qualquer ponto notável pela primeira vez. Neste ponto, considerou-se o odômetro como sendo 0 mn, para facilitar a medição da distância entre os pontos. Cada ponto teve seu rumo calculado, para todas as rotas, tanto nas de ida quanto nas de retorno. .

A corrente predominante na região é a corrente de Oeste, com velocidade de 0.7 – 2.0 nós (BRASIL 1993). Se trata da Corrente Sul-Equatorial, uma corrente oceânica superficial e quente, que flui continuamente (Lobo e Soares 2007). Correntes nas direções entre ENE e SSE e nas direções N e S, com velocidade de até 1 nó, também têm sido observadas durante todo o ano.

Por outro lado, os ventos foram determinados baseando-se nas Cartas Piloto de cada mês, e foram representados pela Rosa dos Ventos. A Rosa dos Ventos indica, em porcentagem, a direção de onde sopram os ventos, e pela Escala BEAUFORT a velocidade média no mês, por octante (Brasil 1993). No centro da circunferência está indicada a frequência média de ocorrência de calmaria. Através da média aritmética das frequências dos ventos em todos os meses do ano, verificou-se que os ventos predominantes são os de SE e Leste, com frequências médias de 44% e força BEAUFORT média 2 (ventos com velocidade entre 4 e 6 nós (Lobo e Soares, 2007)); e 37% e força BEAUFORT média também 2, respectivamente. O terceiro vento predominante é o Sul, com frequência média de 14% e força BEAUFORT média 2. Portanto, espera-se que ventos entre 4 e 6 nós, entre as direções Leste e Sul, soprem em 95% do ano.

A rota com a distância mínima ao PARNAMAR-FN é a rota PC – CBE (Figura 1), com uma distância de 4.96 milhas náuticas. No entanto, tendo em vista as correntes e ventos predominantes, essa rota pode ser considerada com um risco insignificante. Qualquer quantidade de óleo, potencialmente derramado, seria provavelmente transportado para longe do PARNAMAR – FN. O mesmo se aplica a rota Rec – IM.

Rec – CB é considerada a rota com um risco significativo. Esta rota passa do sul ao leste da Ilha. Desta forma, o óleo potencialmente derramado nessa rota está sujeito a ser transportado para a costa pelos ventos e correntes predominantes. Quatro cenários básicos de acidente poderiam ocorrer na rota Rec – CB: (i) colisão frontal entre navios, (ii) colisão por ultrapassagens de navios, (iii) colisão pelo cruzamento com navios da rota PC – CBE, (iv) fogo/explosão. A chance de ocorrer colisões são aparentemente pequenas, devido à larga área lateral oceânica, que permite uma grande distância entre navios e alguma manobra urgente para evitar a colisão. No entanto, ainda são possíveis de ocorrer devido a erros humanos (por exemplo, falha na comunicação da tripulação, ordem errada dada pelo oficial, falha de comando, falta de visualização) (Li et al. 2012).

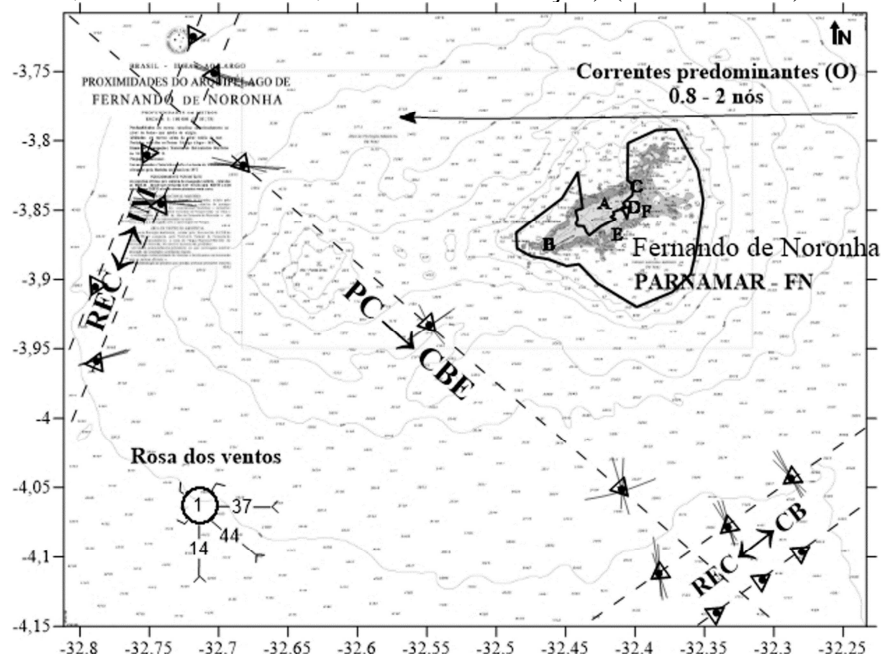


Figura 1 - Escala 1:4222. Rotas próximas ao PARNAMAR – FN.

Tabela 1 - Distâncias e direções de três rotas próximas ao PARNAMAR - FN.

	Ponto Notável	Morro do Pico (A)	Farol FN (B)	Igreja de São Pedro (C)
--	---------------	-------------------	--------------	-------------------------



			32° 25' 18" W, 3° 50' 42" S	32° 27' 42.17" W, 3° 52' 31.264" S	32° 23' 55.753" W, 3° 49' 59.398" S
Rota Ponce and Colón - Cabo da Boa Esperança (Novembro)		Distância mínima para PARNAMAR (NM)	4.96		
	Odômetro = 0 NM	Rumo (graus)	130.6		
		Distância (NM)	Alinhamento entre A- Antenna (D)	X	X
		Direções (graus)	X	104.6	93.31
	Odômetro = 10.56 NM	Rumo (graus)	129.3		
		Distância (NM)	X	6.214	Alinhamento entre B - C
		Direções (graus)	55.12	X	X
	Odômetro = 21.49 NM	Rumo (graus)	130.93		
		Distância (NM)	X	11.08	X
		Direções (graus)	357.07	X	2.69
Rota Recife – Ilha da Madeira (Agosto)		Distância mínima para PARNAMAR (NM)	16.38		
	Odômetro = 0 NM	Rumo (graus)	21.32 (ida) – 201.32 (volta)		
		Distância (NM)	X	X	X
		Direções (graus)	80.74	85.59	79.59
	Odômetro = 5.70 NM	Rumo (graus)	21.59 (ida) – 201.59 (volta)		
Distância (NM)		Alinhamento entre A - D	X	X	



		Direções (graus)	X	102.39	93.78
	Odômetro = 11.63 NM	Rumo (graus)	21.75 (ida) – 201.75 (volta)		
		Distância (NM)	X	X	X
		Direções (graus)	111.46	116.64	109.41
Route Recife – Cabo Branco (Março)		Distância mínima para PARNAMAR (NM)	12.58 NM		
	Odômetro = 0 NM	Rumo (graus)	54.92 (ida) – 234.92 (volta)		
		Distância (NM)	X	X	X
		Direções (graus)	343.02	334.03	346.92
	Odômetro = 2.44 NM	Rumo (graus)	55.87 (ida) – 235.87 (volta)		
		Distância (NM)	Alinhamento entre A – Ilha dos Ovos (E)	X	X
		Direções (graus)	X	327.79	343.29
	Odômetro = 5.04 NM	Rumo (graus)	54.16 (ida) – 234.16 (volta)		
		Distância (NM)	X	X	Alinhamento entre C – Pontinha (F)
		Direções (graus)	330.19	320.14	X

CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos, podemos concluir que todos os autores inferem que os aspectos oceano-atmosféricos são de grande importância para o navegante, para uma navegação segura e eficiente. É necessário considerar as forças da natureza e estar preparado para elas. Estas forças são incontroláveis. É melhor o navegante planejar a navegação e manobrar a embarcação de forma proativa, utilizando estas forças a seu favor, e não de forma reativa, brigando com as forças das naturezas, consumindo muito combustível e colocando a embarcação, pessoas e meio-ambiente em risco. Em águas interiores e restritas, o conhecimento e habilidade do navegante devem ser ainda maiores, devido à maior proximidade de perigos e maior risco de acidentes nestas regiões.

Verificou-se a importância da radiação solar, de parâmetros como temperatura da superfície do ar e do mar, umidade do ar e das taxas de evaporação e condensação no desenvolvimento e intensificação de atividades convectivas. Além disso, infere-se a

caracterização das massas de ar a partir da energia em forma de calor sensível, e da influência da diferença de suas temperaturas para a geração de gradiente de pressão, provocando a ocorrência de ventos. A intensidade e direção desses ventos depende do gradiente de pressão e podem alterar as condições para se navegar. Por exemplo, quando há a ocorrência de brisas terrestres (do continente para o mar, ocorrendo normalmente pela madrugada e manhã), o estado do mar será bom para navegação costeira e em águas restritas. Por outro lado, se o vento estiver vindo do oceano para o continente (e.g. ventos alíseos na costa nordeste do Brasil), o estado do mar poderá ser severo e afetar bastante a navegação. O gradiente horizontal de temperatura também pode afetar a visibilidade próxima a costa, com a ocorrência de nevoeiros, exigindo maior cuidado ao navegar.

Constatou-se que a visibilidade também pode ser afetada pela presença de precipitação. Porém, a ocorrência de nebulosidade não entende-se necessariamente ocorrência de chuva. A ocorrência de nuvens Cumulonimbus indica mau-tempo e a presença de Cirrus tipo “rabo de galo” se deslocando em direção ao navegante indica aproximação de mau-tempo. Por outro lado, nuvens Cirrus sem deslocamento, indicam bom tempo. A frente fria altera as condições atmosféricas locais, incluindo a direção dos ventos, a pressão e temperatura locais. Destaca-se o cuidado necessário ao navegar-se na costa sul do Brasil, devido à presença de frentes frias. É, portanto, imprescindível o acompanhamento das cartas sinóticas por parte do navegante, na tentativa de identificar as condições atuais do tempo e sua evolução.

Destaca-se também, para a navegação em águas restritas e interiores, principalmente, a importância das variações de maré, de correntes de retorno, ressaca e ondas. As variações da maré alteram a profundidade do mar, que já é relativamente pequena se tratando de portos, baías ou enseadas. É, então, necessário a verificação da tábua de marés, bem como o cálculo da altura da maré no momento de entrada e saída de um navio do porto. Além disso, correntes de retorno, ondas e ressaca podem causar avarias diretamente na embarcação, devido à sua ocorrência próxima à costa, e a energia que carregam. É preciso estar atento ao relevo e profundidade locais, já que estes aspectos influenciam na ocorrência de fenômenos oceanográficos costeiros.

Por fim, destaca-se a importância da capacitação do navegante para a interpretação de dados meteorológicos fornecidos por boletins meteorológicos e, especialmente imagens de satélite, haja vista que apenas 25% da coleta de dados é realizada pela observação *in situ* (Lobo e Soares 2007). O acompanhamento da evolução do tempo e do estado do mar é, portanto, crucial para uma navegação segura e eficiente.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos são ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que incentivou a realização do trabalho através do patrocínio financeiro, e à Pró-Reitoria para Assuntos Estudantis (PROAES) pelo auxílio financeiro fornecido para a apresentação do trabalho na XXVII SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA realizada entre os dias 17 e 22 de Agosto de 2015 em Belém, Pará. Agradeço também ao CEERMA (Centro de Estudos de Ensaio em Risco e Modelagem Ambiental) por toda estrutura física que permitiu a realização do trabalho e aos amigos do Departamento de Oceanografia e do próprio CEERMA que contribuíram de alguma forma para o mesmo.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Atlas de Cartas Piloto: Oceano Atlântico: De Trinidad ao Rio da Prata. Rio de Janeiro. DHN. 1993;

COCKROFT, A. N. Collisions at sea. *Safety at sea*, p.17-19. 1984;

DOOLEY, A. L. Applied Oceanography and Ship Ocean Routing. Marine Technology Society Journal 19 (2), pp. 51-55. 1985;

GOULD, K. S., ROED, B. K., et al. Performance-shaping factors associated with navigation accidents in the Royal Norwegian Navy. *Military Psychology*. 2006;

HSU, H.-Z., CHEN, J.-M., HSIAO, D.-J., SHIAU, Y.-J. Aspect of marine meteorology and oceanography for the direct shipping route between Taichung and Xiamen. *Dalian Haishi Daxue Xuebao / Journal of Dalian Maritime University*. 2013;

LI, S., MENG, Q., QU, X. An Overview of Maritime Waterway Quantitative Risk Assessment Models. *Risk Analysis*, Vol. 32, No. 3. 2012;

LOBO, P. R. V. and C. A. SOARES. Meteorologia e Oceanografia usuário navegante. Niterói, *Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN)*. 2007;

MACELVEREY, D. H. and MACELVEREY, D. E. Shiphandling for the mariner. Atglen, PA. Schiffer publishing. 2004;