

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL**

LUCAS MARINHO MACIEL DE AZEVÊDO

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS MARÍTIMOS EM  
PORTOS DEVIDO A FATORES METEOCEANOGRÁFICOS**  
O caso do Porto de Suape

Recife  
2019

LUCAS MARINHO MACIEL DE AZEVÊDO

**METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS MARÍTIMOS EM  
PORTOS DEVIDO A FATORES METEOCEANOGRÁFICOS**

O caso do Porto de Suape

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido ao Departamento de  
Engenharia Mecânica da Universidade  
Federal de Pernambuco, como requisito  
para obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Naval.

Orientador: Prof. Heitor de Oliveira  
Duarte

Recife  
2019

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais e minha irmã, Elaine, Ivanilton e Raissa, pelo incentivo e afeto que me dão desde sempre.

Ao meu orientador, Heitor Duarte, pela oportunidade e apoio na elaboração deste trabalho, agindo sempre com respeito e competência, sendo bastante acessível.

Ao pesquisador, Daniel Galvão, pela sua disponibilidade e paciência, além de constantes sugestões de abordagem no trabalho.

Aos amigos que fiz ao longo do curso, que apesar de conseguir contar nos dedos, são pessoas que tenho grande apreço e foram muito importantes tanto no período de elaboração do trabalho quanto no curso em geral.

Aos amigos fora da universidade, que mesmo não os vendo com tanta frequência neste período mais conturbado, permanecem com grande estima.

A alguns dos professores ao longo dessa etapa acadêmica, que se tornaram exemplos admiráveis não só profissionalmente, mas como pessoas.

Por fim, a mim mesmo, Lucas Marinho, por ter encontrado motivação para concluir o trabalho em momentos cansaço e incerteza.

*“Hope is what makes us strong. It is why we are here. It is what we fight with when all else is lost.”*

(CATERSON, S..; **GOD OF WAR III**, 2003)

## RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso apresenta um estudo dentro da área de avaliação de riscos provenientes de fatores meteorológicos para embarcações nas proximidades de portos. O efeito de fenômenos meteoceanográficos na manobrabilidade e segurança de embarcações é uma questão com grande potencial para exploração, dado que a maioria dos acidentes marítimos ocorrem em águas confinadas, onde a velocidade no navio é baixa, e ventos e correntes se tornam forças importantes ao redor da embarcação. Nesse sentido, propôs-se uma metodologia a ser seguida como forma de qualificar e classificar os riscos causados por fatores meteoceanográficos para embarcações manobrando, atracando, ou desatracando no porto, com o objetivo de gerar dados importantes para o gerenciamento de riscos. A metodologia é validada e ilustrada passo a passo através da aplicação do estudo de caso no Porto de Suape, um dos portos mais importantes do Brasil, onde atracação de grandes navios (e.g., Suezmax) não eram admissíveis até recente dragagem para adaptar-se às especificações destas embarcações, expandindo as operações do porto. Dados meteoceanográficos foram coletados e registrados de setembro de 2016 a novembro de 2017 no Porto de Suape para fornecer dados proveitosos para aplicação, e 30 perigos foram identificados através de Análise Preliminar de Risco (APR) para serem objeto de investigação do trabalho. Os resultados mostram que a metodologia é bastante viável, possuindo espaço para aperfeiçoamentos, com o intuito servir futuramente como base de avaliação de riscos marítimos.

**Palavras-chave:** portos, navegação; avaliação de riscos; análise de dados; meteorologia; oceanografia.

## ABSTRACT

The present undergraduate thesis introduces a research on the field of port and harbour risk assessment due to meteorological factors on vessels. The effect of meteoceanographic events on the manoeuvrability and safety of ships has great potential for exploring, given that the great majority of maritime accidents occur in confined waters, where ship's speed is low, so wind and current become important forces bearing on the ship. In this regard, we propose a methodology to be followed as a means to qualify and classify the risks caused by meteoceanographic factors to ship manoeuvring, docking or undocking in a port, with the objective of generating important information to risk management. The methodology is validated and illustrated step-by-step by means of application in Suape Port, one of the most important ports in Brazil, where docking of larger tankers (e.g., Suezmax) were not allowed until recent dredging to fit these ships specifications, expanding the operations of the port. Meteoceanographic data was collected and registered from September 2016 to November 2017 in SP to provide useful data for the application, and 30 hazards were identified through Preliminary Hazard Analysis to be object of investigation in this work. The results show that the methodology is really viable, having room for improvement with the purpose to be utilized in the future as means of maritime risk assessment.

**Keywords:** ports; navigation; risk assessment; data analysis; meteorology; oceanography.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Inter-relação de globalização, tecnologia e ambiente com portos e navegação..	12
Figura 2 – Evolução do comércio marítimo ao longo dos anos (1980-2016) .....	14
Figura 3 - Vítimas de acidentes fatais provenientes acidentes e fatos navais ao longo dos anos .....	16
Figura 4 - Causas concluídas por AIFNs no ano de 2017 .....	16
Figura 5 – Evolução da popularidade na pesquisa de acidente marinhos no globo nos últimos 50 anos.....	22
Figura 6 – METÁREA V e a costa brasileira.....	24
Figura 7 – Vista de topo do Porto de Suape .....	26
Figura 8 - Processo de análise de riscos esquematizado .....	29
Figura 9 - O ponto pivô e seu deslocamento de acordo com movimento da embarcação....	34
Figura 10 – Componentes de forças em um leme .....	36
Figura 11 – Direção da força lateral proveniente da rotação do propulsor .....	37
Figura 12 – Efeitos do vento em embarcação parada.....	39
Figura 13 – efeito do vento em embarcação movendo a vante .....	40
Figura 14 – efeito do vento em embarcação movendo a ré.....	41
Figura 15 – Diferentes correntes agindo na embarcação.....	43
Figura 16 - Triângulo do vento verdadeiro.....	46
Figura 17 – Vista esquemática de uma onda progressiva idealizada com terminologias explicitadas .....	47
Figura 18 – Características de ondas de águas profundas, de transição e de águas rasas ....	49
Figura 19 – Efeito da posição relativa do Sol e da Lua na geração de marés na Terra.....	52
Figura 20 – Fluxograma da metodologia de avaliação de riscos.....	57
Figura 21 – Georreferenciamento do Porto de Suape.....	74
Figura 22 – Vista aérea do Porto de Suape.....	76
Figura 23 – Petroleiro Suezmax .....	77
Figura 24 – Rota de estudo.....	78

Figura 25 - Rosa dos ventos da carta piloto .....	80
Figura 26 – Representação em setas da velocidade e direção das correntes próximas à costa pernambucana.....	81
Figura 27 - Distribuição de direção e velocidade do vento durante monitoramento em diagrama de rosa de ventos.....	85
Figura 28 – Variação da altura e período de pico de ondas durante monitoramento .....	85
Figura 29 – Variação do nível do mar durante o monitoramento.....	86
Figura 30 – Pontos de derramamento de óleo de interesse ao estudo .....	87
Figura 31 – Dispersão da pluma de óleo nas condições de Inverno/sizígia após 19h no ponto 3a .....	89



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Movimentação Anual de cargas e passageiros por matriz de transporte.....	13
Tabela 2 – Quantidade de artigos e periódicos sobre acidentes marítimos de 1965 a 2014	21
Tabela 3 – Modelo de Análise Preliminar de Riscos a ser utilizado no trabalho .....	61
Tabela 4 – Categorias de frequência.....	62
Tabela 5 – Categorias de Severidade.....	63
Tabela 6 – Matriz de risco .....	64
Tabela 7 – Categorias de frequência.....	69
Tabela 8 – Matriz de tolerabilidade de riscos.....	73
Tabela 9 – Interpretação da rosa dos ventos.....	80
Tabela 10 – Cenários meteoceanográficos .....	83

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAE	ANÁLISE DE ÁRVORE DE EVENTOS
AAF	ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHAS
ALARP	<i>AS LOW AS REASONABLE POSSIBLE</i>
APA	ÁREA PROTEGIDA AMBIENTALMENTE
APR	ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO
ARM	AVALIAÇÃO DE RISCO MARÍTIMO
CA	CENÁRIO ACIDENTAL
CM	CENÁRIO METEOCEANOGRÁFICO
DHN	DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO
DPC	DIRETORIA DE PORTOS E COSTAS
EIA	ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL
IMO	<i>INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION</i>
L	LESTE (PONTO CARDEAL)
N	NORTE (PONTO CARDEAL)
O	OESTE (PONTO CARDEAL)
PGL	PIER DE GRANÉIS LÍQUIDOS
RB	REDE BAYESIANA
RIMA	RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL
S	SUL (PONTO CARDEAL)
UKC	<i>UNDER KEEL CLEARANCE</i>
SOLAS	<i>SAFETY OF LIFE AT SEA</i>

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1	<b>Objetivos</b> .....	17
1.1.1	Objetivos Gerais.....	17
1.1.2	Objetivos específicos .....	17
1.2	<b>Estrutura do trabalho</b> .....	18
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	20
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	28
3.1	<b>Avaliação de riscos</b> .....	28
3.1.1	Identificação e consolidação de riscos.....	30
3.1.2	Estimativas de frequência e consequência .....	30
3.1.3	Caracterização dos riscos .....	31
3.2	<b>Manobrabilidade e efeitos de correntes e ondas</b> .....	32
3.2.1	Ponto Pivô.....	33
3.2.2	Forças controladas .....	34
3.2.3	Forças não controladas .....	37
3.3	<b>Meteorologia e oceanografia</b> .....	43
3.3.1	Ventos.....	43
3.3.2	Ondas .....	46
3.3.3	Marés.....	50
3.3.4	Correntes.....	52
3.4	<b>Serviço de praticagem no Brasil</b> .....	54
3.5	<b>Inquéritos administrativos sobre acidentes e fatos da navegação</b> ....	54

<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	57
<b>4.1</b>	<b>Caracterização do problema</b>	58
4.1.1	Características geográficas da região e da estrutura portuária	58
4.1.2	Tipo de embarcação avaliada	59
4.1.3	Trajatória de interesse	59
4.1.4	Características climáticas e meteorológicas da região	60
<b>4.2</b>	<b>Identificação e consolidação de cenários de risco</b>	60
<b>4.3</b>	<b>Consolidação de cenários meteoceanográficos</b>	64
4.3.1	Avaliação preliminar de fatores meteoceanográficos	64
4.3.2	Definição dos cenários meteoceanográficos	68
<b>4.4</b>	<b>Estimativa de frequência</b>	69
4.4.1	Frequência meteoceanográfica	70
4.4.2	Frequência de acidentes	71
<b>4.5</b>	<b>Estimativa das consequências</b>	71
<b>4.6</b>	<b>Avaliação de riscos</b>	72
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	74
<b>5.1</b>	<b>Caracterização do sistema de estudo</b>	74
5.1.1	Características geográficas da região e da estrutura portuária	74
5.1.2	Tipo de embarcação avaliada	76
5.1.3	Trajatória de interesse	77
5.1.4	Características climáticas e meteorológicas da região	78
<b>5.2</b>	<b>Identificação e consolidação de cenários de risco</b>	79
<b>5.3</b>	<b>Consolidação de cenários meteoceanográficos</b>	79
5.3.1	Avaliação preliminar de fatores meteoceanográficos	79

5.3.2	Definição dos cenários meteoceanográficos.....	82
<b>5.4</b>	<b>Estimativa de frequência .....</b>	<b>84</b>
5.4.1	Frequência meteoceanográfica.....	84
5.4.2	Frequência de acidentes .....	86
<b>5.5</b>	<b>Estimativa das consequências .....</b>	<b>87</b>
<b>5.6</b>	<b>Avaliação de riscos .....</b>	<b>89</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>91</b>
6.1	Trabalhos futuros .....	94
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>		<b>95</b>
<b>APÊNDICE A – PLANILHAS DE ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO (CENÁRIOS INCONDICIONAIS) .....</b>		<b>100</b>
<b>APÊNDICE B – FREQUÊNCIAS METEOCEANOGRÁFICAS .....</b>		<b>106</b>

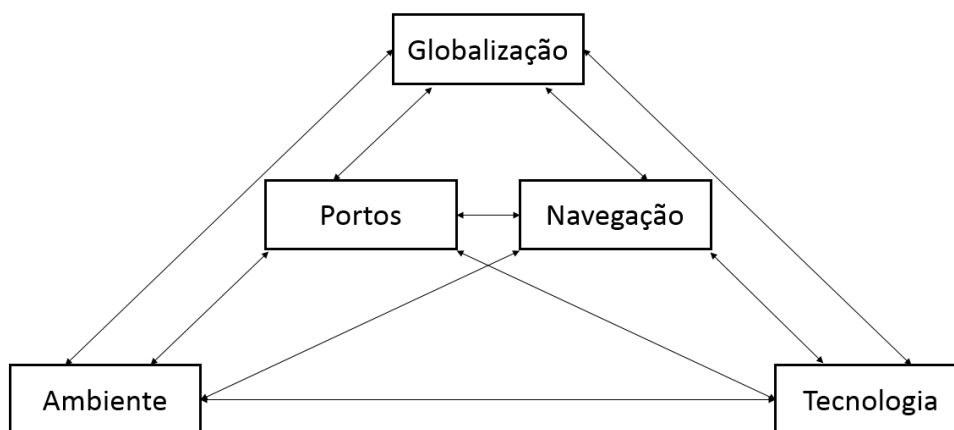
# 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho se encontra no campo de Portos e Hidrovias. Mais especificamente, trata-se de um trabalho interdisciplinar, que envolve conhecimentos não só em Portos e Hidrovias (Engenharia Naval), mas também em Análise de Riscos (grande área de Engenharia de Produção), Meteorologia e Oceanografia. O seu desenvolvimento contribui para aspectos relacionados à segurança da navegação, a salvaguarda da vida humana no mar e a proteção ao meio ambiente marinho, fatores significativos no âmbito de engenharia naval.

Existem diferentes definições acerca de portos e suas funções, Stopford (2009) define porto como “a área geográfica onde navios são trazidos ao longo de terras para carregamento e descarregamento de carga”. Mas, de forma geral, a principal função de um porto é servir como um elo em cadeias de transportes (GEERLINGS et al., 2018). Desde os anos 80 portos e transportes marítimos se mostraram intimamente conectados dentro do contexto de globalização, tecnologia e meio ambiente (PINDER; SLACK, 2004)

Nesse sentido, atualmente a expansão do comércio internacional se dá em grande parte a utilização de portos e navios de carga, visto que fornecem a maneira mais confiável de ligação entre mercados, se tornando um facilitador inquestionável. Assim, fica claro que existe uma demanda considerável de tráfego de embarcações de porto a porto, e isso requer um planejamento prévio das atividades portuárias (BENNY, 2016).

Figura 1 – Inter-relação de globalização, tecnologia e ambiente com portos e navegação



Fonte: Pinder e Slack (2004, adaptado pelo autor)

Por natureza, o planejamento de um porto é uma atividade multidisciplinar, onde estão envolvidos diversos aspectos gerais (e.g. logística, segurança, transporte, assuntos náuticos), além de conhecimentos específicos da região (e.g. ondas, correntes, morfologia costeira) (LIGTERINGEN, 2017). E o crescente volume do transporte marítimo, devido ao crescimento do comércio internacional, tornam portos e terminais fatores essenciais no desenvolvimento de uma região.

A costa brasileira possui 7.491 quilômetros de extensão (CIA, 2017) , possuindo 41.795 quilômetros de vias navegáveis (CNT, 2018) , sendo uma das redes fluviais mais extensa e diversificada do mundo. Entretanto, em 2017, a movimentação anual de cargas e passageiros do modal aquaviário (i.e., transporte marítimo, fluvial e lacustre) foi de 108.000 milhões de toneladas por quilômetro útil, representando apenas 13,6% do total do transporte de cargas do país. A matriz total de transporte de cargas no ano de 2018 pode ser observada na Tabela 1.

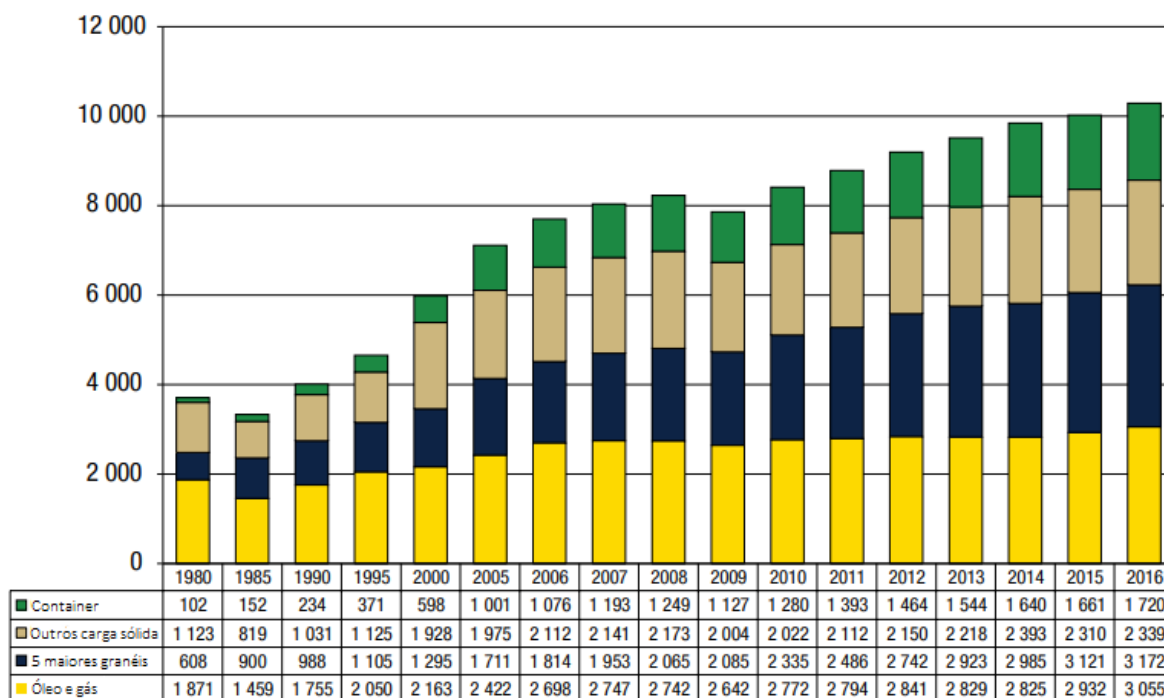
Tabela 1 - Movimentação Anual de cargas e passageiros por matriz de transporte

<b>Modal</b>	<b>Milhões (TKU)</b>	<b>Participação (%)</b>
Rodoviário	485.625	61,1
Ferrovário	164.809	20,7
Aquaviário	108.000	13,6
Dutoviário	33.300	4,2
Aéreo	3.139	0,4
<b>Total</b>	<b>794.903</b>	<b>100,0</b>

Fonte: CNT (2018)

A situação, apesar de não ser ideal, visto que o transporte aquaviário é considerado como o meio de transporte mais barato, e com menor consumo de energia (POMPERMAYER; CAMPOS NETO; DE PAULA, 2014) , revela que o Brasil tem um grande potencial para uma maior utilização do transporte marítimo, e por conseguinte, da necessidade de portos para ligar a chegada ao destino.

Figura 2 – Evolução do comércio marítimo ao longo dos anos (1980-2016)



Fonte: UNCTAD (2017)

Engenheiros navais e portuários enfrentam preocupações constantes quando o assunto é a navegação em interior de portos (NEVES et al., 2010). As consequências que podem ser geradas pelo mau gerenciamento de riscos podem variar de perda de bens materiais vitais para a indústria naval, como também podem gerar estragos irreversíveis para o meio ambiente e vida humana.

Embarcações que navegam próximas à costa estão mais propícias ao risco de acidentes, visto que fatores meteorológicos (e.g., ondas, ventos e correntes) e o tráfego de embarcações assumem maiores proporções nessa área (SANTOS, 2013). Outro grande fator que torna manobras no porto operações perigosas é o fato da profundidade muito menor que em mar aberto, sendo observado que acidentes marítimos ocorrem em aproximadamente 90% dos casos em regiões restritas, ou em águas rasas (MACELREVEY; MACELREVEY, 2004)

Dentro desse escopo de segurança marítima, em 1958 entrou em vigor a Organização Marítima Internacional (IMO, 2018), que objetivo principal de estabelecer diretrizes para navios no que tange a segurança da embarcação, preocupações ambientais, e segurança marítima. Para cumprir este objetivo foram discutidos, criados, e adotados diversos tratados de alcance global,



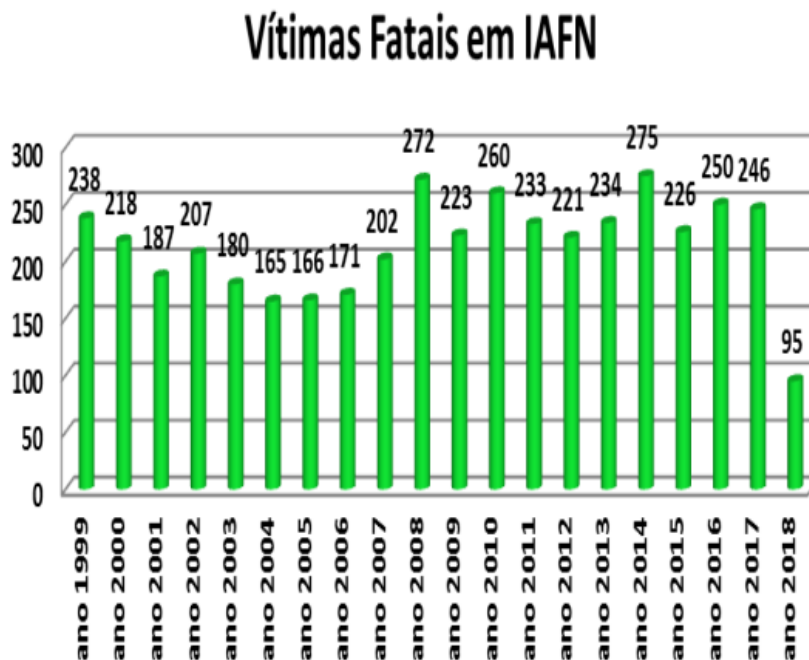
dentre os mais importantes: a Convenção Internacional para a Segurança da Vida no Mar (SOLAS, 1974), Convenção Internacional sobre Normas de Formação, Certificação e Serviços de Quartos para Marítimos (STCW, 1978) , Sistema Global de Socorro e Segurança Marítima (GMDSS, 1988), Código Internacional de Segurança de Navios e Instalações Portuárias (ISPS CODE, 2004), e a Convenção Internacional para Prevenção de Poluição por Navios (MARPOL, 1973).

Entretanto, apesar de toda essa preocupação com o transporte marítimo e suas embarcações, ainda não existem muitos trabalhos científicos com a temática voltada diretamente para o gerenciamento de riscos provenientes de condições meteorológicas. Isso se torna um fator bastante preocupante, dado que a interação oceano-atmosfera é fundamental para navegação segura (AROCHA et al., 2018; LOBO; SOARES, 2007). Isso pode ser confirmado ao serem observados os recorrentes alertas da Marinha para navegadores acerca das condições meteorológicas (COSTANORTE, 2018; GAZETAONLINE, 2018; GLOBO, 2018), que muitas vezes recomendam que embarcações de pequeno porte não naveguem em determinadas regiões, por estas serem mais suscetíveis aos efeitos de mau tempo.

Inquéritos Administrativos sobre Acidentes e Fatos de Navegação (IAFN), são procedimentos realizados na maioria de acidentes (i.e. naufrágio, encalhe, colisão, abalroação, água aberta, explosão, incêndio, varação, arribada e alijamento) e fatos (i.e. mau aparelhamento ou a impropriedade da embarcação para o serviço em que é utilizada) marítimos até serem enviados ao Tribunal Marítimo (DPC, 2003). Mais detalhes e definições acerca de acidentes e fatos de navegação serão dados no capítulo 3 (Referencial Teórico), seção 3.5

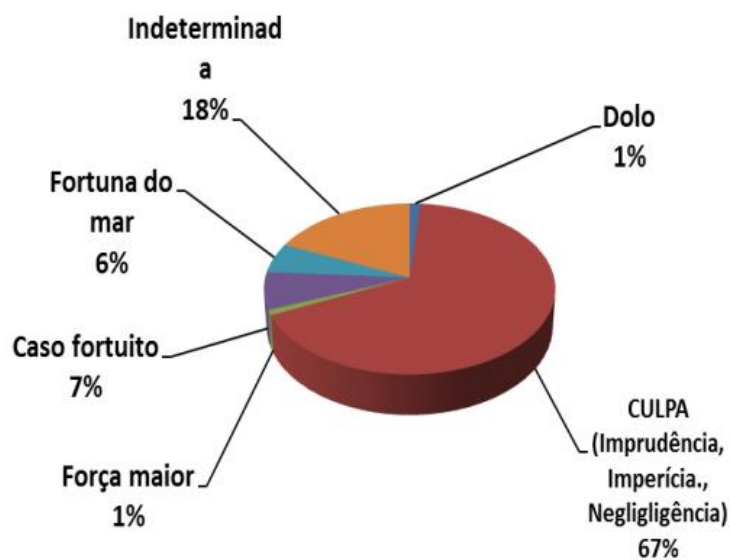
De acordo com a Diretoria de Portos e Costas (DPC), responsável pela emissão de quadros estatísticos de IAFNs, desde o ano de 2008 a quantidade de fatalidades foi sempre maior que 200 pessoas por ano, onde 2018 os dados estão atualizados até julho. De todos os infortúnios registrados (com e sem vítimas) 67% foram causados por culpa do piloto ou tripulação (DPC, 2018). A Figura 3 mostra a quantidade de vítimas fatais ao longo dos anos reportadas através de IAFNs, enquanto que a Figura 4 resume em mais detalhes as causas de todos os casos analisados em 2017.

Figura 3 - Vítimas de acidentes fatais provenientes acidentes e fatos navais ao longo dos anos



Fonte: DPC (2018)

Figura 4 - Causas concluídas por AIFNs no ano de 2017



Fonte: (DPC, 2018)

## 1.1 Objetivos

Dada a apresentação do cenário em que o trabalho se insere, é possível concluir que definir maneiras de avaliar e compreender riscos marítimos associados ao mau tempo, e comunicar esses riscos aos práticos e autoridades portuárias, contribui para melhoria da segurança em operações portuárias. Entretanto, a literatura carece de uma abordagem sistemática para conduzir Avaliação de Risco Marítimo (ARM) em portos. Atualmente isso é conduzido subjetivamente, sem uma uniformização de processos ou uma gestão de informações estruturadas.

Neste contexto, o restante da seção explicita os objetivos gerais e específicos do presente trabalho.

### 1.1.1 Objetivos Gerais

Propor uma metodologia para avaliação de risco de acidentes provenientes de condições meteorológicas em embarcações nas proximidades de portos.

Validar a metodologia proposta e sua funcionalidade pela aplicação do estudo de caso considerando o Porto de Suape, localizado no estado de Pernambuco, que representa grande importância para o Brasil dado a sua localização estratégica facilitando o elo com Europa e Estados Unidos.

### 1.1.2 Objetivos específicos

A metodologia deve ser capaz de identificar, categorizar, e ranquear os diversos tipos de riscos provenientes de manobras comuns às embarcações tanto em condições de entrada e saída em qualquer Porto, levando em consideração o efeito de fatores meteoceanográficos e como eles interagem na manobrabilidade do artefato naval. Em maiores detalhes, a metodologia proposta tem os seguintes objetivos específicos:

- Gerar informações vantajosas para o gerenciamento de riscos em portos
- Realizar previsões de riscos relevantes ao práctico
- Analisar a engenharia do porto em contraste às condições meteoceanográficas inerentes à região
- Ser flexível a fim de tornar possível a sua adaptação para outros portos
- Criar critérios conservadores, nunca subestimando os riscos.

## 1.2 Estrutura do trabalho

O conteúdo do presente trabalho será subdividido em mais cinco capítulos, que são eles: revisão bibliográfica, referencial teórico, metodologia, resultados e conclusão.

A revisão bibliográfica visa explicitar o estado da arte acerca de um determinado tema a partir da contribuição de pesquisas e resultados obtidos dentro do campo de pesquisa. Dado o objetivo do trabalho, a revisão terá o enfoque na utilização de literatura sobre os efeitos meteoceanográficos dentro do âmbito de navegação e sobre os conceitos e benefícios da aplicação de metodologias de avaliação de riscos de forma geral. Nessa seção é dada a preferência para seleção de periódicos acadêmicos e científicos recentes, para representar com maior fidelidade o atual estado da arte do tema.

O referencial teórico tem por objetivo selecionar os elementos de pesquisa (e.g. textos, livros, artigos) pertinentes à elaboração do trabalho para serem utilizados como forma de orientação para análise e interpretação dos dados discutidos ao longo do trabalho, visto que a sua análise deve ser interpretada à luz do referencial teórico. Este capítulo será subdividido em quatro seções, a primeira irá abordar sobre o procedimento de avaliação de riscos e conceitos inerentes, a segunda trata de fenômenos meteoceanográficos e suas peculiaridades, a terceira traz uma análise dos efeitos meteorológicos na manobrabilidade de embarcações, a última seção discorre brevemente sobre a praticagem e seu papel sob as embarcações em portos.

A metodologia irá conter a proposta do procedimento para avaliação de riscos de natureza meteoceanográficas, especificando os seus detalhes e aplicabilidade. Neste momento o processo será tratado de forma geral, sem a aplicação em um porto específico ou demonstração de resultados obtidos. Os procedimentos descritos nesta seção estarão sempre recorrendo ao referencial teórico descrito anteriormente, como forma de validar as ideias propostas.

O capítulo de resultados será o estudo de caso do trabalho, que irá aplicar a metodologia proposta no capítulo anterior para o caso do Porto de Suape. Esta parte do trabalho irá se basear em dados coletados nas proximidades do porto para criar gráficos e tabelas que tem por objetivo dar uma visão mais clara das peculiaridades do local, e como a metodologia se adequaria neste caso específico. No fim deste capítulo também será realizada uma breve análise da infraestrutura

do porto e, se aplicável, possíveis melhorias para integrar características meteorológicas da região com a segurança da estrutura portuária.

A conclusão tem por finalidade reforçar a importância do estudo realizado dentro do contexto em que ele foi aplicado, e destacar os principais resultados obtidos no decorrer da pesquisa, discutindo tanto as dificuldades e limitações quanto as oportunidades que foram assimiladas durante a pesquisa. Por fim serão apontadas possíveis melhorias na metodologia para futuros trabalhos, como forma de direcionamento sugerido para a continuidade da pesquisa.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No âmbito científico, a área de riscos, no seu sentido geral, possui extensa aplicabilidade, sendo um tema abordado em inúmeros campos do conhecimento. Apesar disso ser algo bastante valioso, revela também que um consenso geral dentro de riscos e suas vertentes não são bem estabelecidos, até mesmo nos conceitos mais fundamentais de riscos (e.g., probabilidade, evento, perigo, severidade) (AVEN, 2012; AVEN; ZIO, 2014; YELLMAN, 2015). Yellman (2015) considera ‘evento’ como o fator determinante de todos os outros conceitos de risco, no entanto, sua definição também não é universal, e isso ocorre, em grande parte, pelo fato do evento ser considerado um fenômeno dentro dos aspectos matemáticos, que por sua vez, assumem que todos os resultados de um experimento serão mutualmente distintos, criando-se elementos únicos. Esse fator cria uma noção dos conceitos de riscos demasiadamente complicada e consideravelmente limitada, sendo mais comum atualmente a utilização de definições realísticas e compreensivas construídas a partir da linguagem natural, algo mais intuitivo.

Junto com as definições, e os conceitos de riscos, que vem sendo atualizados com o passar dos tempos, avanços em metodologias de avaliação e gestão de riscos também vêm sofrendo grandes atualizações desde suas primeiras aplicações. O campo de riscos possui dois objetivos bem definidos: usar metodologias de avaliação e gestão de riscos para estudar e tratar os riscos de atividades específicas; e realizar pesquisas genéricas de risco de cunho científico com o objetivo de desenvolver metodologias, princípios e modelos. (AVEN, 2015; AVEN; ZIO, 2014). Entretanto, não significa que um não possa estar diretamente ligado ao outro, pois aplicações diretas também são capazes de trazer consideráveis contribuições ao estudo do risco. Atualmente, metodologias de avaliação de riscos estão bem estabelecidas em situações onde os dados são consideravelmente aplicáveis e os limites de usabilidade estão bem definidos. Contudo, situações emergenciais e de incerteza, que requerem uma tomada de decisão, são os maiores desafios no âmbito de riscos, e pedem por metodologias e ferramentas desenvolvidas diretamente para este propósito. Aven (2015) cita que abordagens probabilísticas (i.e., combinação da teoria da probabilidade com o método dedutivo para solução de problemas) mais tradicionais (e.g., Redes Bayesianas) não geram informações necessárias o bastante para o fim de tomada de decisão em casos específicos, mostrando que existe um potencial de desenvolvimento de metodologias capazes de integrar e lidar com sistemas mais complexos.

O estudo de riscos, seja a partir da utilização de metodologias de avaliação e gestão para a análise de risco, ou a partir de pesquisas de cunho científico com fins variados voltados ao tema, se mostra de grande aplicabilidade às áreas de conhecimento e atividades interligadas ao meio marítimo. O ambiente marinho é bastante explorado no que toca o esforço para o desenvolvimento de medidas com o intuito de aprimorar a segurança marítima, através de um melhor entendimento acerca do ambiente costeiro, avanço nas tecnologias de construção de embarcação e aparelhos de navegação mais sofisticados (LUO; SHIN, 2016). Luo e Shin (2016) citam que as pesquisas relacionadas a acidentes marítimos demonstraram um grande crescimento na última década, ainda que o transporte marítimo já venha sendo utilizado em larga escala muito antes. A Tabela 2 explicita a quantidade de pesquisas feitas na área desde 1965 até 2014, separadas em intervalos de 5 anos, enquanto que a Figura 5 demonstra a distribuição geográfica proveniente das pesquisas feitas com o passar dos anos, mostrando uma maior participação dos diferentes continentes, mas mostrando que a Europa e a Ásia são as maiores forças nessa área do conhecimento.

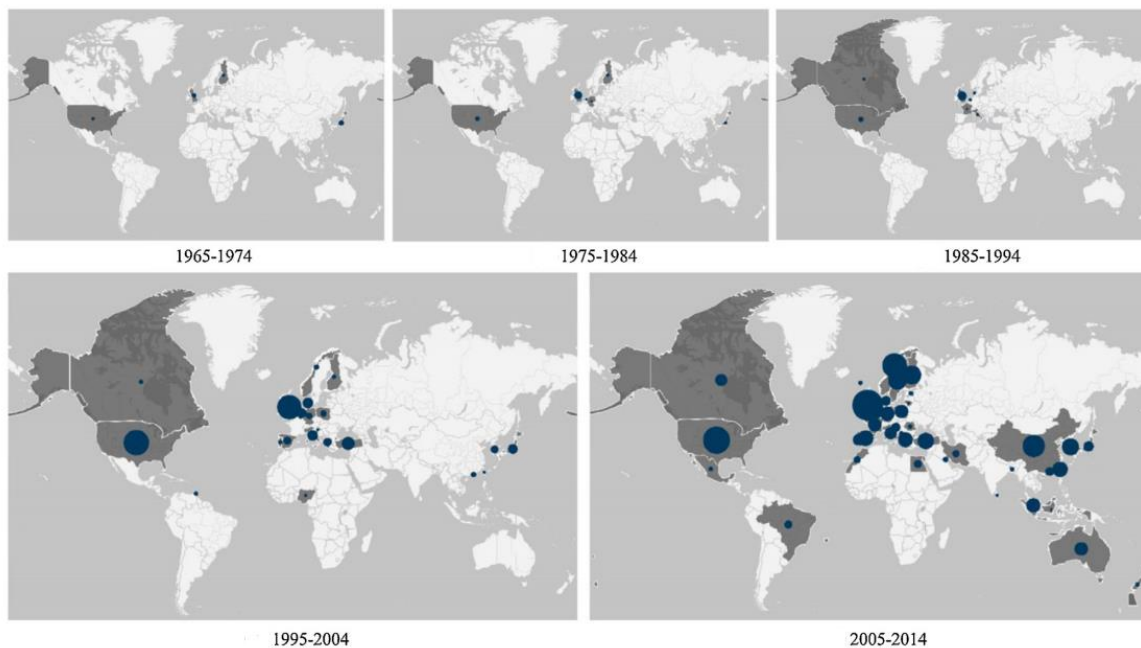
Um aspecto bastante interessante que Luo e Shin (2016) explicitam é a metodologia principal e os modelos utilizados nas pesquisas feitas em acidentes marítimos ao longo dos anos. Recentemente a utilização de Redes Bayesianas (BN) está sendo a metodologia mais utilizada como forma de análise de riscos e avaliação de segurança, que vem aos poucos substituindo a Análise de Árvore de Falhas (AAF) como método de classificação. Outra abordagem que vem sendo bastante utilizada é a combinação de métodos (e.g. matriz de riscos, lógica difusa), com o objetivo de obter melhores resultados. (LI; MENG; QU, 2012; LUO; SHIN, 2016)

Tabela 2 – Quantidade de artigos e periódicos sobre acidentes marítimos de 1965 a 2014

	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	Total
	-69	-74	-79	-84	-89	-94	-99	-04	-09	-14	
Artigos	4	12	6	15	5	10	44	105	163	208	572
Artigos por ano	0,8	2,4	1,2	3	1	2	8,8	21	32,6	41,6	11,4
Periódicos	1	3	2	7	5	9	28	41	55	53	125

Fonte: Luo e Shin (2016, traduzido pelo autor)

Figura 5 – Evolução da popularidade na pesquisa de acidente marinhos no globo nos últimos 50 anos



Fonte: Luo e Shin (2016)

Goerlandt e Montewka (2015) realizaram um estudo analisando 58 metodologias e aplicações utilizadas na análise de riscos em relação ao transporte marítimo presentes no período de 1970 a 2014, sendo observadas algumas questões que podem ser trabalhadas de modo a promover maior progresso ao campo de análise de riscos marítimos. Primeiramente, o conceito teórico de risco não é algo bastante claro na maioria das metodologias, muitas vezes sendo apresentado como se outras alternativas não existissem, sem entrar em muitos detalhes no porquê da definição utilizada. Apesar dessa questão ser algo que realmente não é tão simples de se abordar, é crucial para evitar o conflito na comunicação do risco. Em segundo lugar, Goerlandt e Montewka (2015) apresentam a necessidade de metodologias de análise de risco considerarem sistematicamente o fator da incerteza, onde apenas 3 dos 58 casos analisados tentaram quantificar esse fenômeno. Isso decorre do fato da maioria das metodologias abordarem uma análise mais probabilística, com foco em eventos ou consequências, e a minoria considera a possibilidade baseada em incertezas. (GOERLANDT; MONTEWKA, 2015)

Nesse mesmo quesito, segurança de instalações offshore é tradicionalmente feita com confiança nas diretrizes da IMO e sociedades classificadores, mas estas raramente são feitas a partir de análises de risco, sendo estabelecidas, em geral, de forma a sanar problemas ocorridos



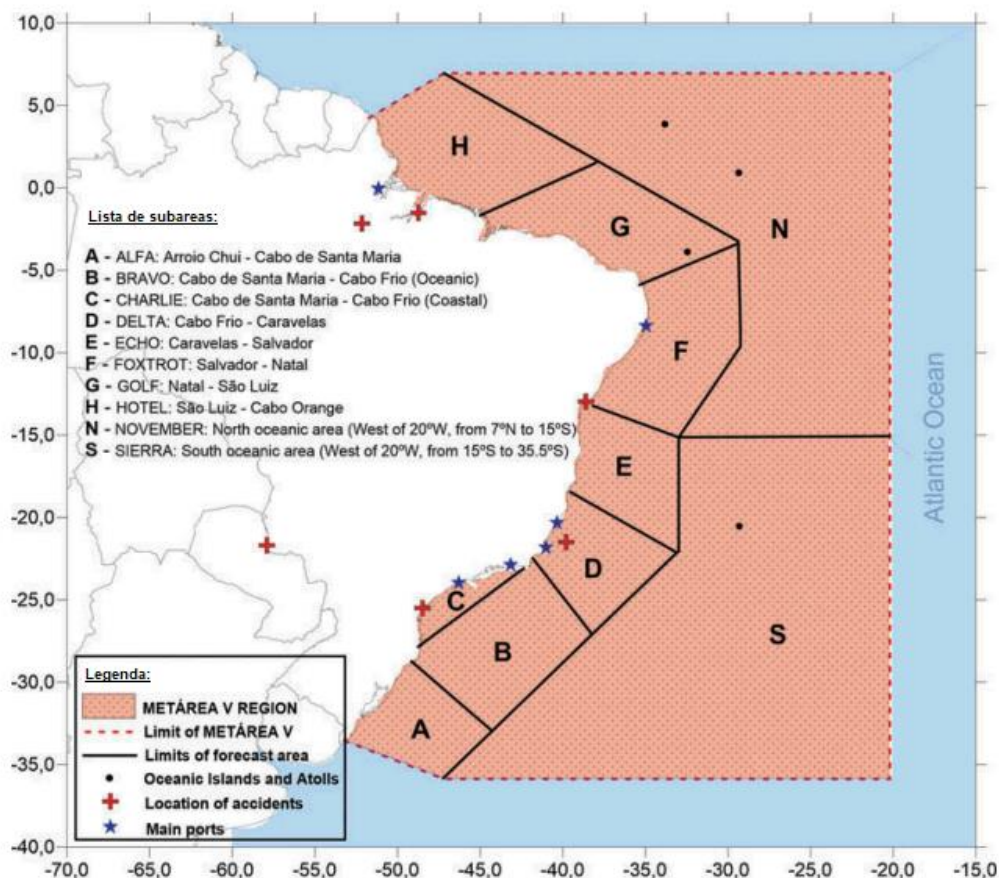
previamente, evitando entrar no mérito de novos possíveis riscos. Assim, a metodologia de avaliação de riscos preza, primeiramente, pela identificação dos perigos, que é um fator-chave para fornecer o entendimento do sistema, e auxiliar na tomada de decisões de grande importância, sendo atualmente bastante utilizado em diversas áreas, incluindo as indústrias marinhas e offshore. Entretanto, existe uma dicotomia muito presente no ambiente naval, pois ao mesmo tempo em que os empreendimentos são encorajados a realizar metodologias de avaliação de riscos, elas devem cumprir com regulamentos tradicionais, que por sua vez nem sempre contemplam a realidade específica de cada sistema. (MOUSAVI, 2017)

Apesar da avaliação de riscos marítimos ser um campo específico da análise de riscos em si, por si só ele oferece uma extensa gama de abordagens para metodologias de riscos, dado os diversos enfoques que a pesquisa possa desenvolver (e.g. diferentes áreas de navegação, tráfegos, condições de carga, tipos de navios), e com novas descobertas sendo feitas constantemente, o espaço para aprimoramento de metodologias antigas possui grande potencial. Um exemplo para o potencial que estudos na análise de riscos possuem se observa na pequena quantidade de estudos documentados no que se conhece por águas rasas e restritas, comumente encontradas em portos, canais, e zonas de tráfego costeiro (DUARTE et al., 2016). Duarte e Martins (2016) citam que embarcações em águas rasas e restritas possuem inúmeras variáveis atuando na sua manobrabilidade, sendo atualmente impossível abranger todos os efeitos com precisão, e nesse quesito é vital que seja aliada a prática com a teoria para prever questões como manobrabilidade e controle do navio, principalmente quando se leva em conta que dentro dos estudos realizados não existe um consenso geral acerca dos efeitos diretos na embarcação.

Em regiões como portos ou canais, outro aspecto que possui maior influência do que em mar aberto são as questões meteorológicas e sua interação com o oceano, isso ocorre principalmente pela menor velocidade de embarcações nestas áreas, o que faz o efeito de fenômenos oceano-atmosféricos causarem forças relativamente mais fortes na embarcação (AROUCHA et al., 2018). Aroucha et al. (2018) realizaram um estudo detalhado na costa brasileira, mais precisamente no que é conhecido por METAREA V indicada na Figura 6, onde foram considerados aspectos gerais de processos atmosféricos e oceânicos da região. Esse tipo de estudo tem influência bastante positiva na navegação, e apesar do tipo de pesquisa exigir um certo tempo e esforço para gerar dados proveitosos é de grande valia para a navegação, visto a impossibilidade de controle sob os

fenômenos oceano-atmosféricos. Assim, o ideal é lidar com as forças físicas referentes aos fenômenos de maneira proativa, utilizando-as em favor do prático sempre que possível, e quando não for possível, ter-se um planejamento robusto capaz de englobar os fenômenos meteorológicos da região, antecipando assim qualquer possibilidade real de risco (AROUCHA et al., 2018).

Figura 6 – METÁREA V e a costa brasileira



Fonte: Aroucha et al, (2018)

Um dos aspectos que torna árdua a inclusão da questão meteorológica em estudos de segurança de embarcações, seja em águas ou rasas ou profundas, é o seu caráter extremamente volátil, que impossibilita que dados coletados de uma região possam ser considerados constantes os próximos meses (ARAUJO et al., 2015; AUGUSTO et al., 2017). Outra vertente peculiar aos fatores meteorológicos é que do mesmo jeito que ele afeta a atividade dos oceanos, ele também pode ser afetado por eles, como no caso de chuvas e tempestades (ARAUJO et al., 2015). Araujo et al. (2015) realizaram um estudo para verificar a influência do Oceano Atlântico na variabilidade, anual e entre estações, de chuvas presentes ao longo da costa Nordeste do Brasil, que por sua vez

confirmou a expectativa que estas chuvas estão diretamente relacionadas com a temperatura da superfície do oceano. Enquanto isso, Augusto et al. (2017) realizaram um estudo de caracterização de correntes e massas de água em uma parte da plataforma continental brasileira, levando em consideração o seu caráter variável, principalmente entre estações do ano, tendo sido encontradas as maiores intensidades de correntes no inverno. As conclusões dos estudos de Araujo et al. (2015) e Augusto et al. (2017) trazem resultados importantes no quesito de antecipação dos efeitos meteorológicos da região, mas também demonstram que esse tipo de abordagem não é possível com uma base de dados que considere pelo menos as mudanças sofridas anualmente na região.

Apesar de todo o aspecto meteorológico ser de fundamental importância na análise de riscos em alto mar, muitas metodologias de avaliação de riscos ainda não o consideram com fator determinante em seu estudo. Gasparotti et al. (2012) realizaram um estudo seguindo diretrizes estruturadas pela IMO relativas à avaliação de riscos, com o intuito de medir o risco de poluição provenientes de diferentes tipos de embarcação ao Mar Negro. O estudo gera conclusões interessantes, pois considera diferentes tipos de embarcações com diferentes impactos potenciais, e também indica que pequenos riscos calculados não devem ser negligenciados, dada a severidade que quaisquer derrames de óleo podem trazer ao meio ambiente (GASPAROTTI et al., 2012). Entretanto, o estudo de Gasparotti et al. (2012) não apresenta menções a fatores meteorológicos e suas interações com o oceano, que mesmo em mar aberto também podem ser bastante percebidos, dependendo do seu grau.

Zhang et al. (2016) realizaram um estudo de avaliação de riscos no Porto de Tiajin, um dos maiores portos chineses, caracterizado principalmente pela movimentação de cargas e containers. Novamente as diretrizes de avaliação de riscos da IMO são mencionadas, entretanto, Zhang et al. (2016) leva em consideração diversas metodologias de avaliação de riscos (e.g. análise de árvore de falhas, análise de árvore de eventos (ETA), HAZOP) para escolher a aplicação da sistemática conhecida por 'Rede Bayseana', tendo sido bastante utilizada nos últimos anos para análises marítimas. As conclusões da pesquisa (ZHANG et al., 2016) foram embasadas em dados históricos e na experiência de profissionais, de forma a garantir que a metodologia aplicada pudesse abordar o risco e suas consequências com a devida seriedade. Nesta pesquisa (ZHANG et al., 2016), os dados históricos também englobaram aspectos meteorológicos no quesito da baixa visibilidade

proveniente da neblina durante um certo período do ano, o que é algo inestimável para o controle de uma embarcação, principalmente no período noturno.

Independentemente do local de aplicação de uma avaliação de riscos, é vital que o avaliador saiba das peculiaridades do local e os impactos gerados tanto nas estruturas principais quanto nos seus arredores. Ramos et al. (2014) realizou um estudo das consequências de derramamentos de gases liquefeitos em um possível terminal no Porto de Suape, entretanto tais gases também são comumente transportados em navios gaseiros, o que torna suas conclusões pertinentes também ao campo de riscos marítimos. No caso do Porto de Suape um fator decisivo na questão do impacto do risco é a sua alta densidade populacional, devido a quantidade de indústrias presentes na área que podem ser observadas na Figura 7, o que inviabilizaria terminais onshores, por outro lado, a flexibilidade do porto admitiria a instalação de um terminal offshore mais distante da costa, onde o seu risco à população teria menor escala.

Figura 7 – Vista de topo do Porto de Suape



Fonte: Ramos et al. (2014)

Além disso, para o caso de um porto marítimo, como o caso do Porto de Suape, é válido que se saibam as características gerais da infraestrutura de um porto e suas funções, que apesar de variarem entre portos possui operação comum até certo ponto. O estudo de John et al. (2016) discute metodologias de aprimoramento da resiliência de portos marítimos utilizando Redes Bayseanas (RB), que fornece informações úteis de conhecimento onde ocorrem as principais falhas em portos e como isso pode propagar em aspecto geral. Neste caso, a pesquisa (JOHN et al., 2016) leva em conta o risco separado em 5 fontes: operacional, segurança, técnico, organizacional, e da natureza; o objetivo disso é de tentar ordenar, de forma mais independente possível, as principais fontes que devem ser observadas para o bom funcionamento de um porto de forma geral, sendo um fator importante na tomada de decisão.

## 3 REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 Avaliação de riscos

O conceito de risco é bastante amplo, não existindo na literatura um consenso acerca de uma definição de risco ou de avaliação de riscos capaz de englobar todos os sentidos que essa palavra possa estar referenciando. (COVELLO; MERKHOFFER, 1993) Isso se deve, em grande parte, ao fato de diferentes áreas do conhecimento utilizarem definições limitadas à aplicação em sua área (e.g. economia, meio-ambiente, saúde). Para fins deste trabalho será considerada a definição de risco: “efeito da incerteza nos objetivos” (ISO, 2009a).

O efeito pode ser considerado como um desvio em relação ao resultado esperado, seja ele positivo ou negativo, enquanto que os objetivos variam dada a área de aplicação (e.g. metas financeiras, sanitárias, segurança). (ISO, 2009a; PURDY, 2010) Essa definição é bastante geral para que possa ser aplicada em diferentes campos sem perder coerência. O risco também pode ser considerado como a combinação de dois fatores: frequência e consequência (ABS, 2000), onde a frequência é o potencial de um evento indesejado acontecer, e a consequência o impacto que tal evento causaria.

Dentro do escopo de risco, existe algo conhecido por ‘avaliação de riscos’. De acordo com a ABS (2000), a avaliação de riscos é um processo de coleta de dados e síntese de informações, com o intuito de desenvolver um maior entendimento acerca de um ramo em particular. Para esse entendimento ser concebido é importante ser capaz de responder três perguntas básicas:

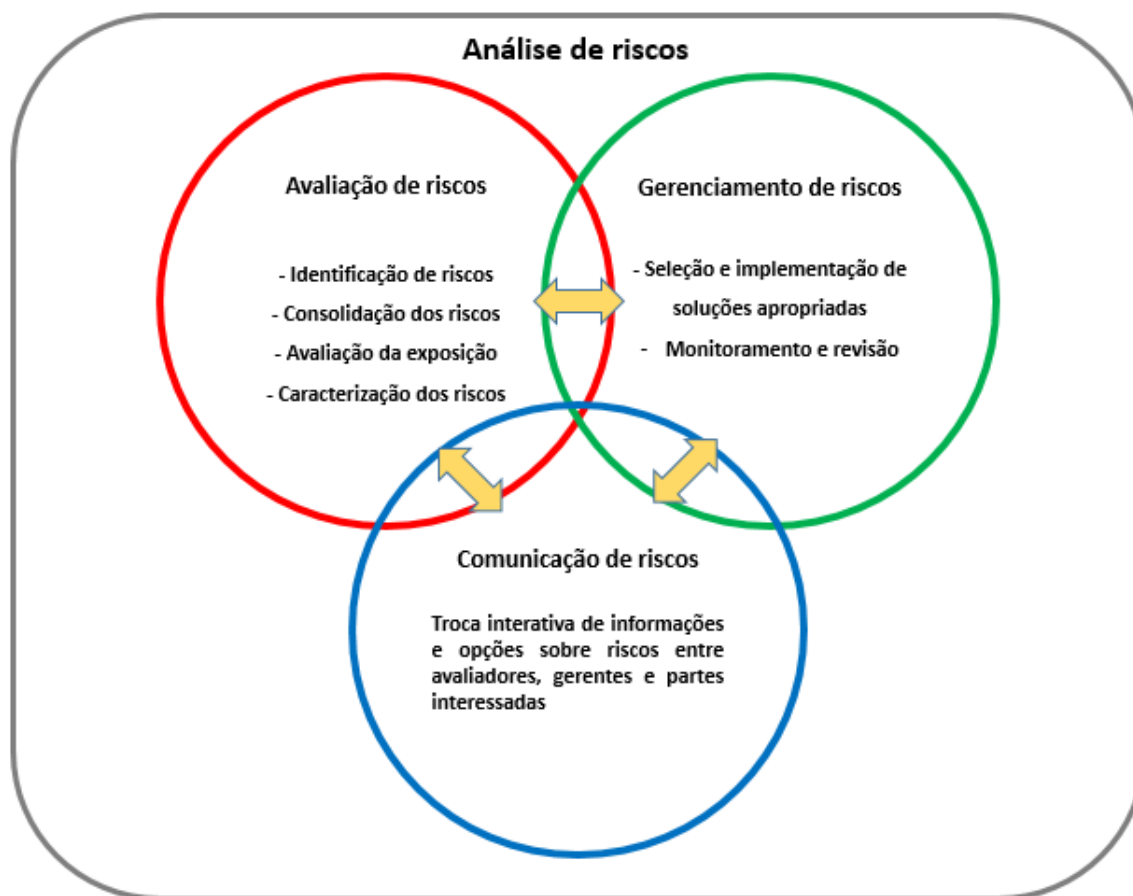
- O que pode acontecer de errado?
- Qual a probabilidade de o evento ocorrer?
- Quais seriam os seus impactos?

Entretanto, o processo de avaliação de riscos é algo que pode ser aplicado seguindo diversas abordagens. Segundo a DNV (2001) a avaliação pode ser qualitativa, semi quantitativa, e quantitativa, o que vai decidir a metodologia utilizada são os recursos presentes e a necessidade de uma avaliação mais minuciosa. Em geral, avaliações qualitativas são mais simples de se realizar, mas oferecem um menor grau compreensão do risco, porém são bastante importantes para uma visão inicial do sistema e como ele pode ser perturbado. Avaliações qualitativas oferecem um maior

grau de entendimento acerca dos riscos do sistema, entretanto necessitam de mais recursos e habilidades dos envolvidos.

A avaliação de riscos é uma das partes do processo de análise de riscos. (DUARTE, 2016). A Figura 8 exemplifica todo o processo de gestão de riscos e onde o processo de avaliação de riscos se encaixa dentro do escopo.

Figura 8 - Processo de análise de riscos esquematizado



Fonte: Duarte (2016, adaptado pelo autor)

É comum que diferentes métodos de avaliação de riscos não possuam a mesma nomenclatura apresentada na Figura 8, ou até variem a sua ordem, mas na essência todas possuem um objetivo em comum, que é realizado a partir de metodologias definidas pelo avaliador designado.

### 3.1.1 Identificação e consolidação de riscos

“Identificação de riscos é o processo de encontrar, reconhecer e registrar os riscos” (ISO, 2009b). Essa etapa tem o propósito de identificar quaisquer tipos de situações de risco que possam vir a interferir nos objetivos do sistema.

Estão inclusos nesse processo de identificação de riscos: identificar causas e fontes do risco, eventos, situações ou circunstâncias capazes de perturbar o objetivo e a natureza do impacto. (ISO, 2009b)

Dentre as metodologias mais utilizadas podem ser citadas:

- Metodologia baseada em evidência (e.g. revisão de dados históricos).
- Abordagem sistemática de equipes, onde usualmente uma equipe de especialistas conduz um processo sistemático para identificar riscos através de questionários estruturados.
- Técnicas de raciocínio indutivo (e.g. Estudo de Perigo e Operabilidade (HAZOP), e Análise Preliminar de Riscos (APR)).

De acordo com (ISO, 2009b) a consolidação de riscos envolve a consideração das causas e fontes dos riscos. É nesse momento que fatores que podem vir a afetar tanto a probabilidade quando à consequência devem ser considerados. Essa seção costuma ser a mais elaborada na maioria dos casos, podendo requerer mais de uma técnica para aplicações mais complexas.

### 3.1.2 Estimativas de frequência e consequência

Um risco pode ser dividido em dois fatores: a probabilidade e severidade (CETESB, 2000; IMO, 2013; PETROBRAS, 2015). Assim, são necessárias metodologias que tratem desses dois fenômenos, de forma que impacto de um risco não está diretamente ligado apenas à severidade dele ou a probabilidade, mas sim a combinação de ambos.

Em uma avaliação de riscos é comum existir uma espécie de estimativa das potenciais consequências provenientes de um evento, ligado à sua chance de ocorrência, para definir o nível de risco. Em casos que a chance de ocorrência é mínima, ou sua consequência seja insignificante é comum um único parâmetro para estabelecer a tomada de decisão.



A análise da severidade e consequência dos riscos determina a natureza e o tipo de impacto que pode ocorrer, supondo que um evento em particular seja desencadeado. (ISO, 2009b). Técnicas comuns para avaliação de consequência são:

- Modelagem computacional de efeitos físicos
- Modelagem de vulnerabilidade

A probabilidade é chance de um evento ocorrer, independente se fora definido qualitativamente ou quantitativamente. (ABNT, 2009) Técnicas comuns para avaliação de consequência são:

- AAF
- Análise de dados históricos
- RB

### 3.1.3 Caracterização dos riscos

“A avaliação de riscos envolve comparar níveis estimados de risco com o critério de risco estabelecido quando o contexto foi estabelecido, para determinar a significância do nível e tipo do risco”. (ISO, 2009b)

A metodologia de avaliação qualitativa de riscos define a caracterização de riscos por níveis de significância (e.g. alto, médio, baixo), onde devem ser levados em consideração parâmetros como probabilidade e consequência. Nesse caso, deve ser exposto claramente todos os termos utilizados e os critérios estabelecidos como base para registro da análise.

Essa etapa irá concluir o entendimento do risco observado na avaliação de riscos, e tornar possível a definição de métodos de tomada de decisões sobre ações futuras realizado pela parte de gestão de riscos em maiores detalhes. A tomada de decisão costuma levar em conta os seguinte fatores (ISO, 2009b): éticos, legais, econômicos, e percepção do risco em si.

A tomada de decisão pode incluir:

- Se o risco precisa ser tratado
- Prioridades de tratamento
- Se uma atividade deve ser realizada

## 3.2 Manobrabilidade e efeitos de correntes e ondas

Para entender o comportamento de embarcações diante de fatores meteoceanográficos é necessário primeiramente entender com precisão quais são todas as forças que influenciam na manobrabilidade e como eles podem agir.

De acordo com Crenshaw (1960), existem seis forças gerais que afetam uma embarcação sem a interação de outro navio. Elas podem ser divididas em:

- Propulsores
- Leme
- Cabos de amarração
- Âncoras
- Vento
- Corrente

As duas últimas forças são as únicas que o práctico e/ou tripulação não podem controlar, e que afetam a embarcação de forma mais imprevisível quando não se é feito um devido estudo de região. Entretanto, isso não significa que as quatro primeiras forças não devem ser consideradas, visto que elas podem ser utilizadas justamente para compensar o efeito que o vento e a corrente produzem para manter a manobrabilidade da embarcação.

Conforme escrito por Crenshaw (1960), as forças na água se manifestam na forma de diferença de pressão. Apesar de ser um líquido incompressível, quando aplicamos uma determinada força na água podemos atingir uma maior pressão em certa área do que a de seus arredores, o que vai causar o fluxo de água sair da região de maior pressão para a de menor pressão.

Para efeitos de organização estrutural, as seis forças mencionadas serão divididas entre forças controladas e não controladas. Lembrando que a presente pesquisa tem enfoque nos efeitos provenientes das forças não controláveis.

Mas antes de comentar sobre as forças, será descrito brevemente sobre o efeito do ponto pivô, um conceito bastante importante no controle de embarcações, principalmente em manobras quando os efeitos de meteoceanográficos atingem maiores proporções.

### 3.2.1 Ponto Pivô

A capacidade de uma embarcação realizar um giro irá atuar diretamente na localização do seu ponto pivô (HOUSE, 2007). A sua posição usualmente se encontra próxima ao centro de gravidade da embarcação, levando em conta fatores de projetos e considerando o navio estável em águas calmas. (ROWE, 2000)

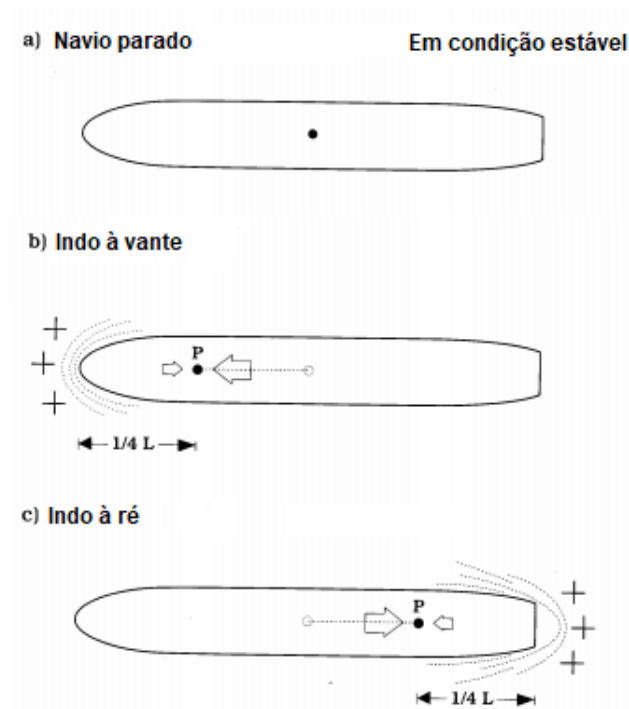
Entretanto, o ponto pivô nunca está fixo em um único referencial durante toda a jornada da embarcação, existem diversos fatores que podem levar o ponto a modificar de posição. Para efeitos de informação serão consideradas apenas a mudança do ponto pivô relativa ao comando de máquinas (i.e., máquinas à vante, ou máquinas à ré). Mas é importante saber que também existem outros aspectos que podem influenciar no deslocamento desse ponto (e.g., uso de rebocadores, uso de bow/stern thrusters, adernamento, velocidade).

Ao navio se mover em frente devido ao comando de máquinas à vante, o ponto pivô também será translado seguindo esse sentido devido ao momento da embarcação (HOUSE, 2007). Caso a água não gerasse nenhum tipo de resistência o ponto pivô se encontraria na região de proa, entretanto, o ponto pivô costuma assumir uma posição de aproximadamente  $\frac{1}{4}$  do comprimento da embarcação vindo da proa.

Analogamente, ao navio se mover para trás, o movimento da popa causaria o ponto pivô se deslocar para uma posição de aproximadamente  $\frac{1}{4}$  do comprimento da embarcação em relação à popa. (HOUSE, 2007)

O deslocamento do ponto pivô pode ser observado em maiores detalhes na Figura 9.

Figura 9 - O ponto pivô e seu deslocamento de acordo com movimento da embarcação



Fonte: Rowe (2000, adaptado pelo autor)

### 3.2.2 Forças controladas

Como o estudo minucioso das forças diretamente controladas não é parte do escopo desse trabalho, esta seção irá se limitar a comentar dos efeitos gerais do leme e do propulsor no quesito manobrabilidade da embarcação. Pois dentre as quatro forças controladas apresentadas são os mais presentes.

O leme, outras superfícies de controle, e dispositivos de controle, como bow thrusters, são funcionalidades de importância crítica para atingir a manobrabilidade prevista de uma embarcação. Apesar de outros dispositivos de controle poderem auxiliar na controlabilidade, o leme é quase sempre o mais proeminente. (LEWIS, 1989, v. 3, p. 364, tradução do autor)

Lemes são hidrofólios pivotando em eixo vertical, ou quase vertical. Eles são normalmente colocados na região de popa do navio, atrás do propulsor, para produzir força transversal e um momento direcional sobre o centro de gravidade da embarcação baseando-se na deflexão do fluxo de água para uma direção do plano. (VOLKER, 2000, p. 177, tradução do autor)

De acordo com Molland e Turnock (2007), para o leme mudar a direção da embarcação, ele deve ser capaz de colocar e manter a embarcação a um ângulo de ataque para o fluxo de água após o casco. Após isso as forças hidrodinâmicas então se desenvolvem no casco, que por sua vez mudam a orientação do navio. A quantidade de giro resultante irá levar em conta diversos fatores, como a geometria da embarcação ver como é por exemplo em latim.

A performance de manobrabilidade de uma embarcação é controlada pela performance de seu leme, e sendo assim é necessário ser capaz de estimar as formas do leme em qualquer estágio de manobra segundo Molland e Turnock (2007).

“Seguindo prática usual, a força total do leme é dividida em uma componente de sustentação perpendicular à corrente do fluido  $U_0$ , e uma componente de arrasto paralela a  $U_0$ . ” (MOLLAND; TURNOCK, 2007, p. 37, tradução do autor). Essas forças podem ser observadas na Figura 10. As componentes de forças são usualmente apresentadas em forma de coeficientes adimensionais para um dado ângulo de ataque  $\alpha$ , estes coeficientes podem ser calculados pelas equações (1) e (2).

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho A_L U_0^2} \quad (1)$$

$$C_D = \frac{d}{\frac{1}{2}\rho A_L U_0^2} \quad (2)$$

Onde:

$L$  = força de sustentação

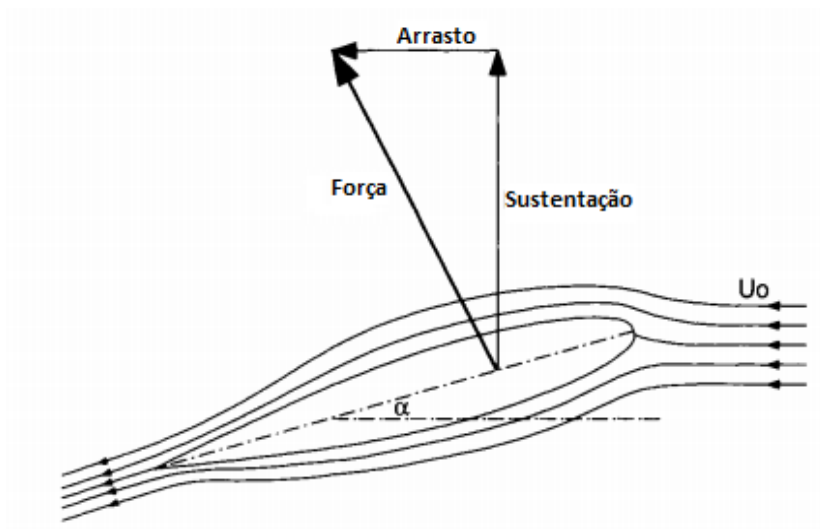
$d$  = força de arrasto

$\rho$  = densidade do fluido

$U_0$  = velocidade do fluxo incidente

$A_L$  = área lateral do leme

Figura 10 – Componentes de forças em um leme



Fonte: Molland e Turnock (2007, adaptado pelo autor)

Onde lemes devem ser projetados de forma a obter o máximo de sustentação com o mínimo de arrasto possível para fins de máxima eficiência em performance hidrodinâmica. (ZAOJIAN, 2006)

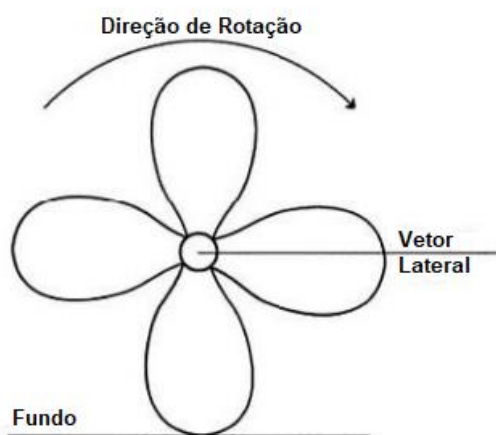
Uma das mais importantes fontes de força de uma embarcação é seu próprio propulsor. É de esperar que, como o propulsor é projetado para propeler a embarcação, que ao ligar o propulsor a vante iria causar a embarcação a se mover diretamente a frente, e ligá-lo na posição contrária faria a embarcação se mover diretamente a ré. Entretanto, esse não é necessariamente o caso, e o prático deve estudar a ação de propulsores para estar apto a prever a sua ação na embarcação. (CRENSHAW, 1960, p. 9, traduzido pelo autor)

De acordo com Barber (2005), além do impulso gerado a vante, ou a ré pelo hélice, o propulsor também gera uma força lateral. A quantidade de força lateral gerada irá depender de vários fatores (projeto do hélice, geometria da embarcação em águas vivas).

Essa força lateral do propulsor ocorre devido ao fato do propulsor não trabalhar como um dispositivo isolado, pois na sua proximidade existe o casco e a devida estrutura para o próprio propulsor. Sendo assim, o fluxo de água nunca chega paralelo ao eixo do propulsor, mas sim com uma certa inclinação em relação ao seu eixo. (CRENSHAW, 1960)

Em conformidade com Barber (2005), a direção da força lateral depende do sentido de rotação do propulsor, e pode ser visualizada considerando o hélice como uma espécie de roda descansando no fundo do mar. A Figura 11 mostra isso visualmente.

Figura 11 – Direção da força lateral proveniente da rotação do propulsor



Fonte: Barber (2005, adaptado pelo autor)

Para embarcações com mais de um hélice a análise é diferente e leva em conta mais fatores (e.g. interação do fluxo entre um hélice e o outro) que não serão abordados nessa seção pela sua complexidade, e pelo fato de não serem fatores necessários no estudo principal do trabalho.

### 3.2.3 Forças não controladas

“O prático enfrenta inúmeros problemas, mas não existe nenhum mais frequentemente experimentado e pouco entendido que o efeito do vento [...] Com ou sem a presença de rebocadores, se o problema não tiver sido considerado previamente, ou se não foi entendido como a embarcação se comporta na presença do vento, a operação pode fugir de controle extremamente rápido ” (ROWE, 2000, p.38, traduzido pelo autor)

“Apesar do vento usualmente ser um problema para práticos, ela também pode ser um auxílio bastante útil. Utilizando cuidadosamente o efeito do vento na embarcação nós podemos fazer coisas que seriam impossíveis pelo simples uso do motores e lemes.” (CRENSHAW, 1960)

“Embarcações variam muito quanto a sua resposta ao vento. Quanto maior a área que o vento pode atuar na embarcação, mais ele será afetada.” (BARBER, 2005) Isso significa que embarcações

como pequenos submarinos de alta profundidade serão bem menos afetados pelo vento do que embarcações rasas com grande área de vento, como o caso de alguns navios Roll-on Roll-off.

De acordo com Macelrevey (2004), baseando-se em testes com inúmeros tipos de embarcações com velocidades de manobra muito baixas é possível ter uma estimativa de quando o efeito do vento começa a afetar a embarcação. Para embarcações com grande área de vento, o efeito se torna notável quando o vento tem velocidade 3 vezes maior que a da embarcação, enquanto que para embarcações como navios- tanque carregados esse mesmo efeito só será pronunciado para uma velocidade de vento 5 vezes maior do que a da embarcação. Outros tipos de embarcações podem ser considerados entre esses dois fatores mencionados. O que demonstra que o vento é um fator muito mais importante em manobras de atracagem do que para navegação em alto mar.

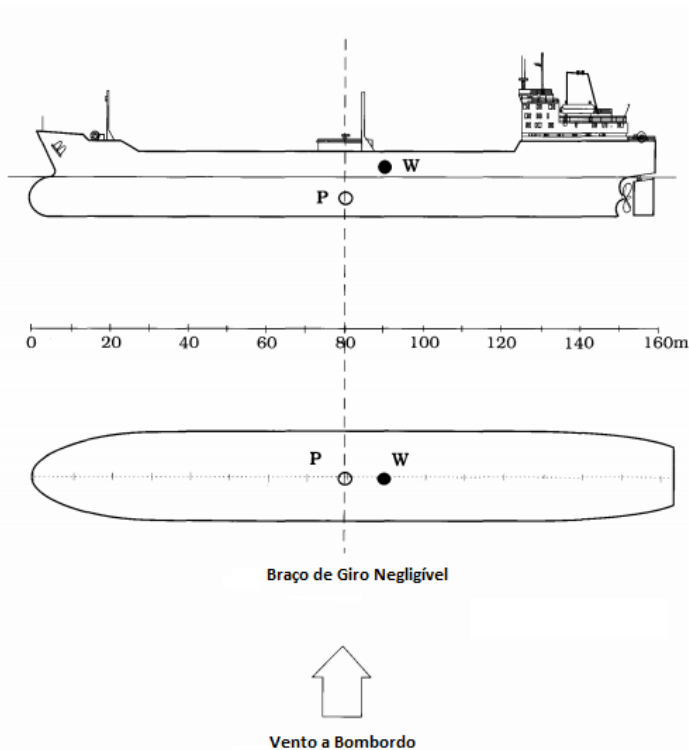
Em relação ao efeito que o vento provoca na embarcação serão discutidos três casos. A embarcação totalmente parada, indo a vante, e indo a ré. Independentemente da situação, o que vai ser levado em conta é o centro de aplicação do vento e o ponto pivô. O centro de aplicação do vento leva em conta a área de borda livre e da superestrutura, o que usualmente produz um centro de aplicação um pouco atrás da meia-nau, mas devido ao diferente projeto de embarcações isso nem sempre pode ser considerado como verdade universal, e o centro de aplicação do vento pode ir muito mais à frente do que o esperado (ROWE, 2000).

Para a embarcação totalmente parada o vento o ponto pivô estão bastante próximos, e assim não criam um momento significativo de giro. Apesar disso variar de navio para navio, de modo geral a maioria irá continuar parado com o vento apenas a vante ou a ré da meia-nau. (ROWE, 2000, p.38, traduzido pelo autor)



A Figura 12 exemplifica a situação mencionada por Rowe para o navio parado.

Figura 12 – Efeitos do vento em embarcação parada

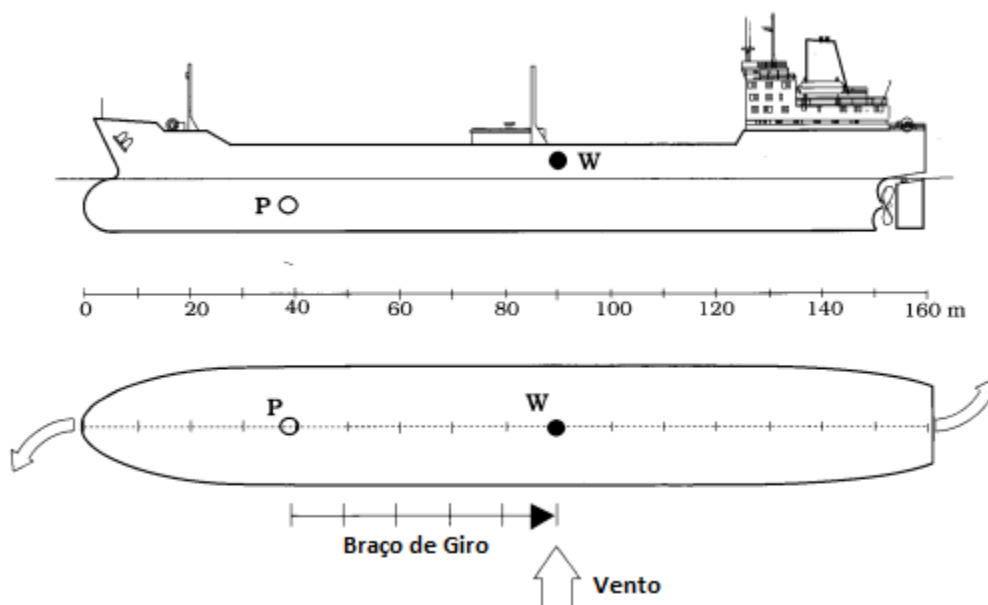


Fonte: Rowe (2000, adaptado pelo autor)

“Quando a mesma embarcação está indo a vante, a mudança do ponto pivô perturba o balanço anterior atingido quando parado”. (ROWE, 2000) Considerando novamente o vento de través, o centro de aplicação do vento não irá mudar de posição, entretanto, o ponto pivô irá transladar à vante. Dito isso, o braço de giro que antes era negligenciado, agora é bastante considerável, e dependendo da força do vento irá gerar um momento de guinada que aproxima a proa da linha (direção) do vento, i.e., “orçar”. A Figura 13 mostra essa situação

Quando, entretanto, se aproximando do berço de atracação ou de uma boia com o vento diretamente à vante, essa manobra se torna de muito mais fácil controle. Mesmo em velocidades muito baixas o navio se torna estável e desejará naturalmente ficar com o vento a vante até ser parado. (ROWE, 2000, p. 41, traduzido pelo autor)

Figura 13 – efeito do vento em embarcação movendo a vante

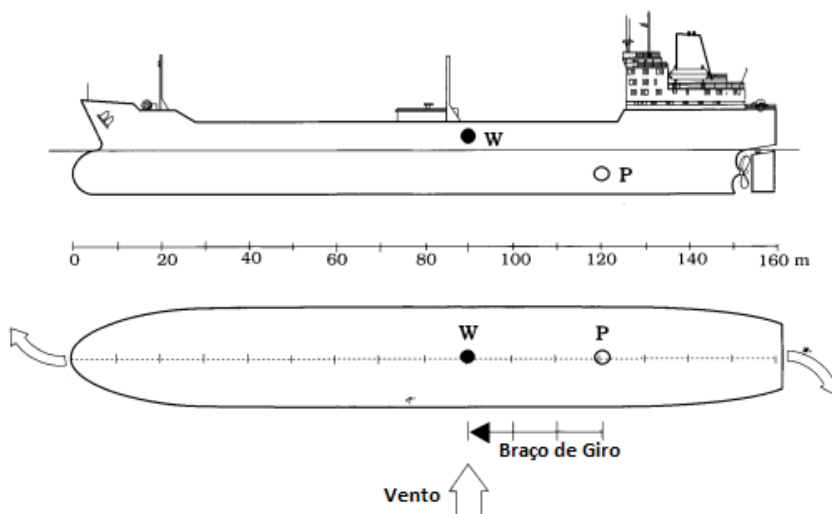


Fonte: Rowe (2000, adaptado pelo autor)

Para o caso da embarcação se movendo a ré é um pouco mais complicada a situação. Considerando novamente o vento de través em bombordo, o centro de aplicação do vento será o mesmo, mas dessa vez o ponto pivô irá se localizar próximo a popa da embarcação. Isso implica em uma mudança no sentido do braço de giro, que por sua vez irá criar um momento de guinada da popa contra o vento. É válido mencionar o efeito do giro normalmente é menor do que quando à vante, isso se dá pelo fato do centro de aplicação do vento ser usualmente localizado um pouco a ré da meia-nau, caso contrário, os efeitos seriam invertidos. (ROWE, 2000) O efeito pode ser observado na Figura 14.

Entretanto, existe outro fator que deve ser considerado, que é a força lateral devido ao propulsor. No caso mencionado, com o vento de través em bombordo, tudo indica que o vento e a força transversal devido ao propulsor irão se combinar para fazer com que a embarcação gire com a popa no sentido do vento. Entretanto, no caso do vento de través em boreste essas forças irão se opor, e o que indicará para qual sentido a embarcação gira é dependente da força do vento e da força do propulsor. (ROWE, 2000)

Figura 14 – efeito do vento em embarcação movendo a ré



Fonte: Rowe (2000, adaptado pelo autor)

Corrente é a água em movimento, e ela afeta nossa embarcação da mesma maneira que o vento o faz. Correntes podem ser geradas por marés, rios ou ventos predominantes. E para adicionar um grau de dificuldade ao prático, não é totalmente incomum para o vento e a corrente virem de diferentes direções (BARBER, 2005, p. 46, traduzido pelo autor).

Sabendo que a água do mar é aproximadamente 900 vezes mais densa do que o ar, teremos que para uma dada velocidade o vento terá efeito muito menor na embarcação do que uma corrente de mesma velocidade. A variação da velocidade, tanto do vento como da corrente, é observada no navio como forma de variação de pressão, que é proporcional ao quadrado dessa velocidade, como pode ser visto na equação (3) (MACELREVEY; MACELREVEY, 2004).

$$P = \frac{\rho V^2}{2g} \quad (3)$$

Onde:

P = pressão resultante

$\rho$  = densidade do fluido

V = velocidade do fluido

g = aceleração da gravidade

Assim, é comum utilizar-se a razão de que 30 nós de vento terão o mesmo efeito que 1 nó de corrente. Essa razão, apesar de servir como uma boa base para a maioria dos casos, pode variar quando se leva em conta aspectos como a área da superestrutura e a razão da borda livre pelo calado. (MACELREVEY; MACELREVEY, 2004)

Similar ao vento, uma corrente de través é mais difícil de se lidar do que uma corrente vinda de vante ou de ré, sendo a corrente vinda de vante a mais preferível por aumentar a eficiência do leme da embarcação. Mas independentemente, o prático deve saber o que esperar da corrente, nunca deve ser realizado uma manobra em águas restritas sem a devida observação da corrente. (BARBER, 2005)

De acordo com Crenshaw (1960) é impossível ter uma corrente relativa à embarcação se não as provenientes de vante ou de ré, exceto no caso onde existe a aplicação de formas externas ao navio. Assim, será discutido os dois primeiros casos de corrente mencionados.

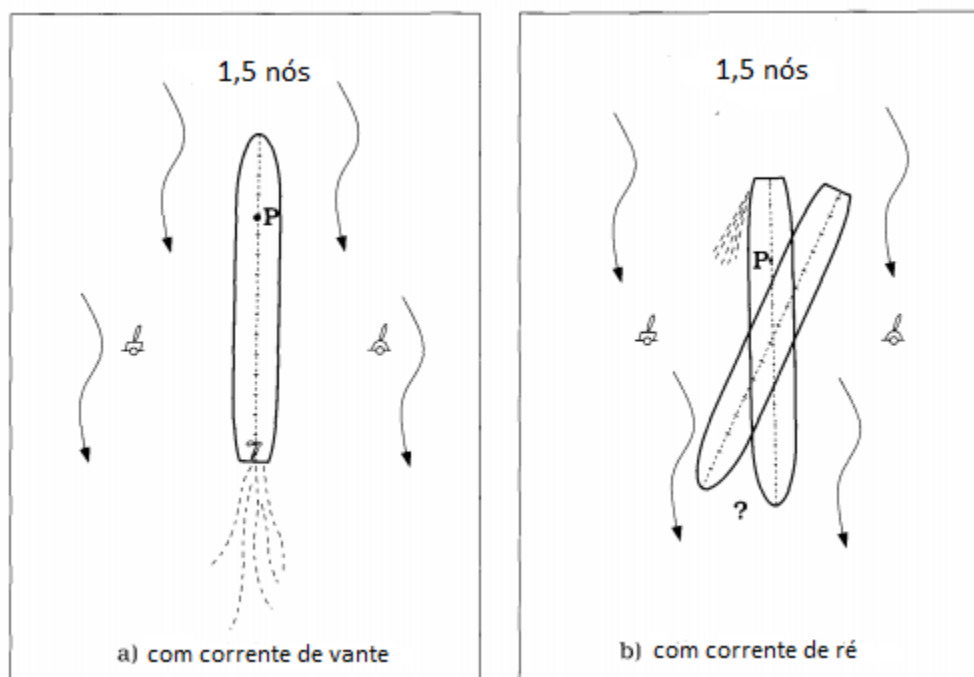
Quando a corrente vem da vante da embarcação, com a utilização de baixas rotações e pequenas utilizações de ‘kick ahead’ ou ‘paletadas’ (i.e., pequenas utilizações de máquinas a vante com o intuito de aumentar o fluxo de água no leme sem aumentar a velocidade do navio) é possível balancear o sentido da embarcação contra a corrente, mantendo o seu ponto pivô à vante, mesmo com a embarcação tendo velocidade extremamente baixa em relação ao referencial terrestre. Isso faz com que o navio possua um bom grau de manobrabilidade e controle positivo sob a embarcação, mas com uma velocidade muito menor do que seria considerado usual. (ROWE, 2000)

De acordo com Rowe (2000), nesse tipo de manobra é importante a utilização de referenciais fixos para garantir que a embarcação esteja seguindo a direção planejada, garantindo tanto a direção da proa quando o avanço na corrente. Pois caso a embarcação esteja sendo empurrada pela corrente pode significar que a embarcação está na verdade para, e o seu ponto pivô retornou para região de meia-nau, tornando o seu controle mais árduo até que a situação máquinas a vante seja retornada.

No caso da corrente vindo da ré da embarcação a situação é mais complicada, e não é considerada satisfatória devido a extrema dificuldade de controle. Pois para manter o ponto pivô a vante da embarcação seria necessário que a embarcação tivesse com velocidade em relação ao solo consideravelmente maior que a velocidade da corrente, que normalmente será rápido demais para manobras. (ROWE, 2000)

Segundo Rowe (2000), nessa situação é necessário utilizar máquinas a ré frequentemente ou por longos períodos de tempo. Isso fará com que o ponto pivô vá para a ré do navio, e ele esteja em função da força lateral do propulsor. A Figura 15 demonstra as duas situações comentadas.

Figura 15 – Diferentes correntes agindo na embarcação



Fonte: Rowe (2000, adaptado pelo autor)

### 3.3 Meteorologia e oceanografia

#### 3.3.1 Ventos

“A atmosfera e o oceano da Terra estão intimamente interligados, trocando livremente gases e água. Gases que entram na atmosfera a partir do oceano têm importantes efeitos no clima, e gases que entram no oceano a partir da atmosfera podem influenciar a deposição de sedimentos, a distribuição de vida e algumas das características físicas da própria água do mar.” (GARRISON, 2012, p.151, tradução do autor)

Para se entender como o vento funciona é importante entender primeiramente o conceito de pressão atmosférica. De acordo com Ahrens (2012) a pressão do ar é apenas a massa de ar que se encontra acima de um dado nível considerado, sendo assim, ao considerarmos um nível mais alto sempre encontraremos uma menor pressão atmosférica devido a menor quantidade de moléculas de ar acima do nível considerado.

De acordo com Lobo e Soares (2007), a tendência natural da atmosfera é que o ar mais denso (i.e., o ar mais frio) se posicione abaixo do ar mais denso (i.e., o ar mais quente), e a esse movimento se dá o nome de circulação direta. O conceito de estabilidade atmosférica é quando não existem condições favoráveis para que o movimento de circulação direta ocorra. Dos fenômenos mais importantes provenientes da circulação direta para navegantes tem-se as brisas e os ventos.

O vento é o deslocamento natural do ar em sua circulação livre e espontânea na atmosfera. Nesses movimentos variáveis em intensidade e direção, constata-se a observância das leis da física, da quantidade de movimento, da conservação da energia, da termodinâmica, da mecânica dos fluidos. (LOBO; SOARES, 2007, p.76)

Outro conceito importante ao se tratar de ventos é o de centros de pressão. De acordo com Lobo e Soares (2007) podem ser divididos em centros de baixa e de alta pressão. Os centros de baixa pressão são caracterizados por uma área onde ocorre uma depressão barométrica, sendo delimitado por uma série de isóbaras (i.e., linhas de mesma pressão atmosférica), onde as pressões atmosféricas decrescem dos seus arredores em direção ao centro. Enquanto que os centros de alta pressão são áreas igualmente delimitadas por isóbaras, mas que apresentam um aumento da pressão atmosférica dos seus arredores em direção ao centro.

Deslocamento dos centros de pressão são responsáveis por mudanças no estado do tempo (LOBO; SOARES, 2007). Assim, as condições de tempo observadas em um dado momento por um navegante, podem se modificar devido a esse movimento. Para tal é recomendado que o navegante se utilize de cartas sinóticas de pressão à superfície atualizadas, que é uma espécie de mapa simplificado onde se identifica centros de alta e baixa pressão com setas indicando a direção do vento (AHRENS, 2012), para se observar o posicionamento destes centros, além ser realizado acompanhamento de boletins meteorológicos para observar os seus deslocamentos.

Segundo Ahrens (2012) o vento é causado por uma união de forças que afetam o movimento horizontal do ar. Elas podem ser separadas em:

- Força de gradiente de pressão
- Força de Coriolis
- Força centrípeta
- Fricção

O gradiente de pressão é dado pela diferença de pressão atmosférica horizontal que pode ser observado (AHRENS, 2012). Quando esse tipo de diferença de pressão existe, é produzida uma força no ar, que é conhecida por força de gradiente de pressão. Essa força é direcionada de maiores valores de pressão atmosférica para menores pressões atmosféricas, onde a magnitude da força está diretamente ligada ao valor do gradiente de pressão, que é expresso segundo a equação (4).

A força de gradiente de pressão é a força que faz com que o vento sopra. Por causa desse fato, isobáricas pouco espaçadas em cartas sinóticas indicam gradientes de pressão íngremes, forças de alta magnitude e ventos fortes. Por outro lado, isobáricas muito espaçadas indicam gradientes de pressão suaves, forças de baixa de magnitude e ventos fracos. (AHRENS, 2012, p.159, tradução do autor)

$$\text{Gradiente de pressão} = \frac{\text{Diferença de pressão}}{\text{Distância}} \quad (4)$$

A força Coriolis, também conhecida como efeito Coriolis, descreve uma força aparente devido ao movimento rotativo da Terra (AHRENS, 2012). Simplificando, o efeito Coriolis é um desvio aparente do percurso de um objeto que se move dentro de um sistema de coordenadas rotativo. Na realidade o objeto não se desvia do caminho, mas o movimento do sistema de coordenadas faz com que isso pareça ocorrer, e isso também ocorre na Terra. Quaisquer objetos com movimento livre, como correntes oceânicas, aviões e moléculas de ar, parecem fugir de um percurso em linha reta pela rotação da Terra abaixo deles.

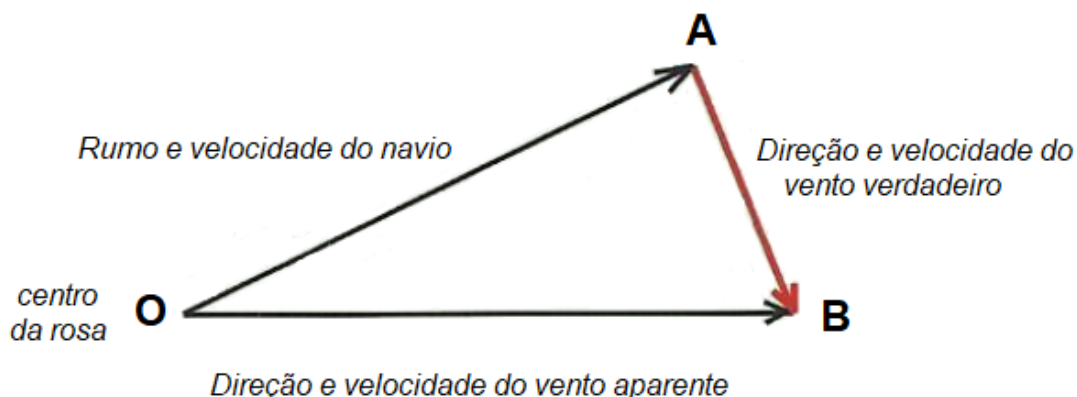
“A força Coriolis faz com que o vento se desvie para direita do seu caminho previsto no hemisfério norte, e para esquerda do seu caminho previsto no hemisfério sul” (AHRENS, 2012, p.158, tradução do autor). Além disso, quanto maior a velocidade do vento, maior o efeito Coriolis, ou seja, maior a deflexão do movimento. Também é importante considerar que a força Coriolis possui valor zero na linha do Equador, e máximo nos polos.

O vento é um vetor que será definido por uma grandeza, a velocidade ou a intensidade do vento, e uma direção, que é a direção de onde vem o vento. Diferentemente de quando se trata de embarcações, o rumo do vento é relacionado à sua origem, e não ao seu destino. (LOBO; SOARES, 2007)

Conforme a obra de Lobo e Soares (2007) aparelhos como anemômetros são bastante uteis para medir velocidade e intensidade do vento. Entretanto, o valor que esses tipos de instrumento

indicam são conhecidos como vento relativo, que é apenas uma das parcelas do vento verdadeiro a bordo da embarcação, como pode ser observado na Figura 16. Para o cálculo da direção e velocidade do vento verdadeiro deve ser levado em conta os valores de velocidade e direção do vento relativo, que pode ser retirado do anemômetro por exemplo, e também considerar o rumo verdadeiro da embarcação e sua respectiva velocidade.

Figura 16 - Triângulo do vento verdadeiro



Fonte: Lobo e Soares (2007, adaptado pelo autor)

### 3.3.2 Ondas

“Todas ondas começam como perturbações, e ondas oceânicas são formadas como resultado de uma força perturbadora. Uma pedra jogada em uma lagoa parada, por exemplo, cria uma perturbação que gera ondas radiando em todas direções. Ondas oceânicas são causadas por uma transferência de energia similar na superfície do oceano.” (TRUJILLO; THURMAN, 2017, p.245)

Segundo Trujillo e Thurman (2017) o vento que sopra através da superfície dos oceanos gera a maioria das ondas oceânicas (normalmente conhecidas apenas por ‘ondas’), entretanto, ondas também podem ser geradas a partir do movimento de fluidos com diferentes densidades. Além disso, a ação humana também pode causar a formação de ondas oceânicas, sendo mais comum quando embarcações ao navegarem no oceano deixam para trás o seu ‘wake’, que é uma forma de onda gerada por embarcações.

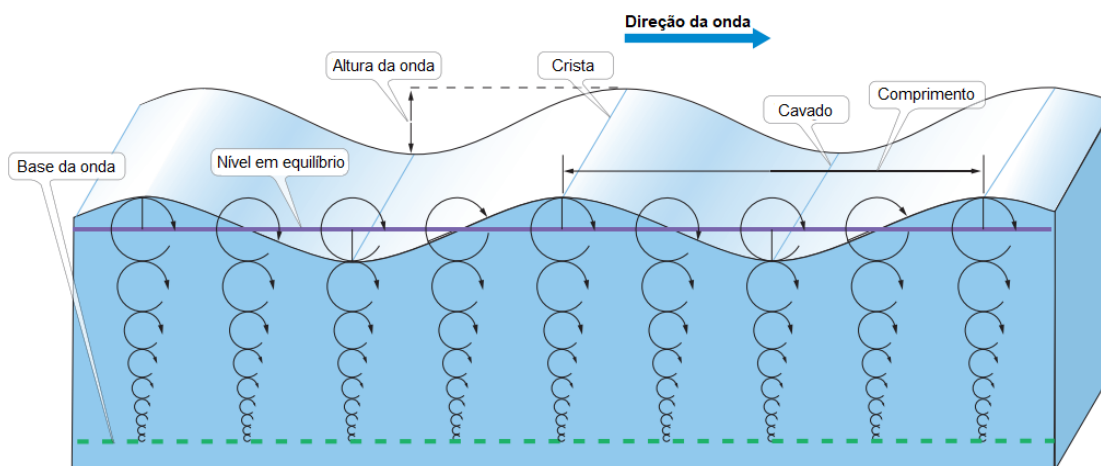
A energia que causa a formação de uma onda oceânica é chamada de força perturbadora. O vento soprando ao longo da superfície do oceano fornece a força perturbadora para ondas geradas pelo vento. A chegada de uma tempestade ou de uma onda marinha sísmica



a um porto ou uma baía fechados, ou uma alteração brusca da pressão atmosférica é a força perturbadora para o balanço ressonante de água conhecida como ‘seiche’. Deslizamentos de terra, erupções vulcânicas e falhas no leito marinho associadas a terremotos são forças perturbadoras para ondas sísmicas marinhas (como o tsunami) (GARRISON, 2012, p. 201, tradução pelo autor)

Na presente pesquisa o foco será feito em ondas geradas pelo vento, os outros tipos de ondas são serão abordados, mas é importante saber que o vento não é a única força perturbadora. A anatomia de uma onda pode ser separada em alguns aspectos (SVERDRUP; DUXBURY; DUXBURY, 2006) a parte maior da onda que é elevada acima do nível do mar em equilíbrio é conhecida por ‘crista’, enquanto que a parte mais abaixo do nível do mar é o ‘cavado’. A distância entre duas cristas sucessivas, ou dois cavados, é conhecido por comprimento de onda, enquanto que a distância vertical entre um cavado e uma crista é a altura de onda. Esses termos podem ser observados em maior detalhe na Figura 17.

Figura 17 – Vista esquemática de uma onda progressiva idealizada com terminologias explicitadas



Fonte: Trujillo e Thurman (2017, adaptado pelo autor)

O ciclo de vida de uma onda gerada pelo vento inclui a sua origem em uma região com ventania no oceano, o seu movimento ao longo de grandes extensões de mar aberto sem o subsequente auxílio do vento, e o seu término quando ela quebra e libera sua energia, seja em mar aberto ou contra a costa (TRUJILLO; THURMAN, 2017, p. 252, tradução pelo autor).

De acordo com Sverdrup, Keith; Duxbury, Alison; e Duxbury, Alyn (2006) existem três importantes fatores controladores da altura de ondas geradas pelo vento: a velocidade do vento, a

duração do vento, e a pista do vento (i.e. a distância sem interrupções que o vento sopra na mesma direção). Apenas quando esses três fatores se combinam que ondas de alta magnitude podem ser observadas, por exemplo, um vento com alta pista e duração, mas com baixa velocidade não será capaz de produzir ondas muito altas. Essa análise da energia é importante, pois a energia média de uma onda está diretamente relacionada ao quadrado da altura da onda. (SVERDRUP; DUXBURY; DUXBURY, 2006)

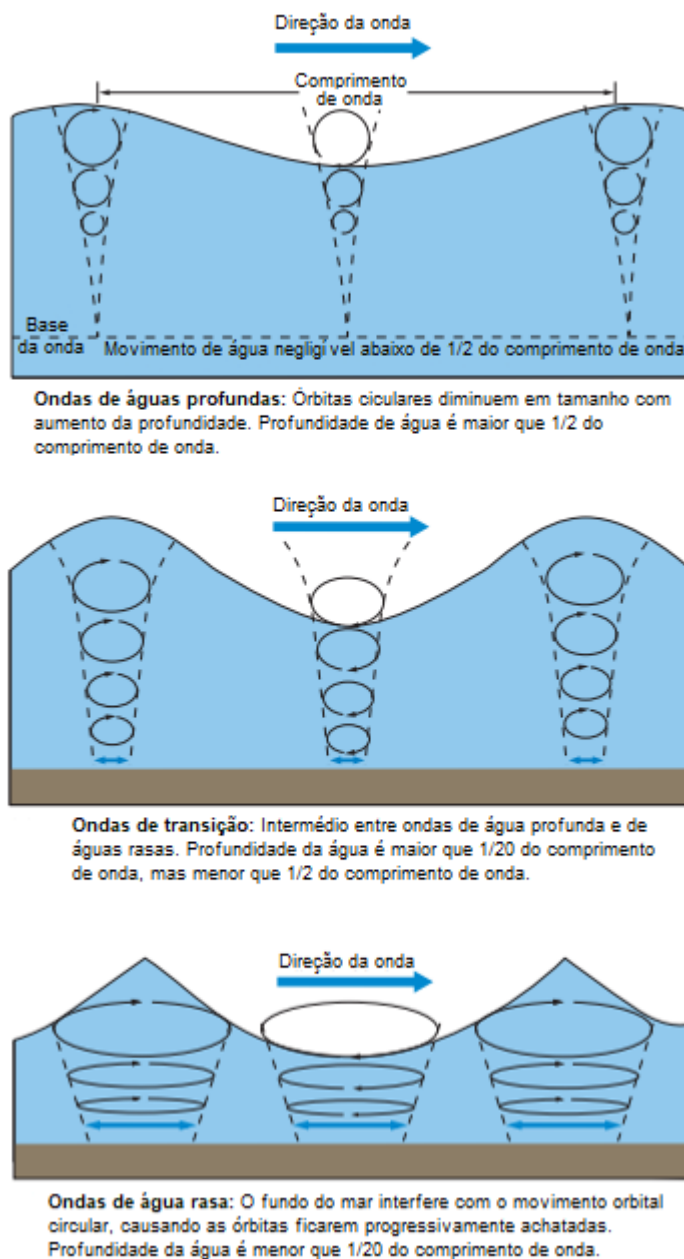
A altura de onda está diretamente relacionada a energia da onda. Altura de onda em áreas marítimas são usualmente menores do que 2 metros, mas ondas com alturas de 10 metros com períodos de 12 segundos não são raras. Ao ondas marítimas ganharem energia, sua inclinação aumenta, ao chegar em um limite de declividade de  $1/7$  a onda quebra (TRUJILLO; THURMAN, 2017, p. 253, tradução pelo autor).

Quando se está navegando outro dos fatores observados que irão agir diretamente no comportamento das ondas é a profundidade da região em que ela se encontra. De acordo com Lobo e Soares (2007) ondas se deslocando em águas profundas irão apresentar um comportamento diferente de quando penetram em regiões em águas rasas. Ou seja, além dos fatores de vento, a profundidade também irá impactar em como a onda gera.

Ondas de águas profundas são aquelas onde a profundidade da água é maior do que metade do comprimento da onda, enquanto que ondas de águas rasas são aquelas onde a profundidade da água é menor do que  $1/20$  do comprimento da onda, as ondas que se encontram entre esses valores são conhecidas como ondas de transição. (TRUJILLO; THURMAN, 2017)

De acordo com Gross (1993), em ondas de águas profundas, as partículas de água descrevem um movimento praticamente circular, com diâmetro igual a altura da onda na superfície, e diminuindo progressivamente com a profundidade, chegando a praticamente zero em um profundidade maior que metade do comprimento de onda. Isso acontece pela falta de interação entre essas órbitas de partícula de água com o fundo do mar. Enquanto que em ondas de águas rasas, onde a interação entre as órbitas de partículas de água e o fundo é mais perceptível, as orbitas antes circulares adquirem um formato similar a uma elipse, com o eixo paralelo ao fundo mais longo. Esse fenômeno pode ser observado em maior detalhe na Figura 18.

Figura 18 – Características de ondas de águas profundas, de transição e de águas rasas



Fonte: Trujillo e Thurman (2017, adaptado pelo autor)

No caso de ondas de águas rasas o seu comprimento deve diminuir, e a sua altura aumentar conforme a onda se aproxima da costa, e isso acontece até que o limite de declividade exceda o valor de  $1/7$  mencionado anteriormente. Quanto maior a altura da onda, maior o impacto e dissipação de energia na costa (LOBO; SOARES, 2007). Sendo assim, o navegante deve ter o máximo de cuidado nessa região, pois o mar fica mais agitado, principalmente quando existem

ondas de grande comprimento, pois elas têm tempo bastante para atingir uma altura significativa e afetar as embarcações navegando em águas rasas com maior significância.

O comportamento do navio com cada tipo de mar e característica da onda, está associado as suas próprias características; basicamente a relação entre comprimento do navio e o comprimento da onda. O estado do mar, o ângulo com que incide as ondas sobre o costado e o rumo do navio resultam em movimentos de translação e rotação sobre o navio. [...] Esses movimentos e vibrações do navio associados ao estado do mar poderão causar danos, avarias, embarque d'água, corrimento da carga, acidentes pessoais e perda da capacidade operativa em diversos tipos de atividades (LOBO; SOARES, 2007, p.278).

### 3.3.3 Marés

“As marés são mais conhecidas pela elevação e descida do mar ao redor da beira de terras. Em algumas áreas costeiras existe um padrão regular de uma maré alta e uma baixa durante o dia; isso é conhecida por maré diurna. Em outras áreas existem uma sequência cíclica de água alta e água baixa que é repetida duas vezes ao dia; conhecida por maré semi diurna. [...] A maré em que as marés altas regularmente alcançam diferentes alturas e as marés baixas caem regularmente para diferentes níveis são conhecidas por marés mistas.” (SVERDRUP; DUXBURY; DUXBURY, 2006, p. 195, tradução pelo autor)

De acordo com Gross (1993) as marés são causadas pela atração do Sol e da Lua agindo em águas oceânicas. Considerando a interação entre a Terra e a Lua sabemos que a atração gravitacional tende a puxá-los em direção ao outro, enquanto que a força centrífuga de rotação agindo na direção oposta os mantem distantes. Levando em conta o conceito de força gravitacional proposto por Isaac Newton na sua lei universal de gravitação, que indica que qualquer objeto no universo que possui massa será atraído por outro objeto de acordo com a equação (5), ao considerarmos a parcela da terra que está voltada para lua ela irá observar uma força gravitacional consideravelmente maior do que o seu lado oposto, devido a sua menor distância.

$$F_G = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \quad (5)$$

Onde:

$F_G$  = Força gravitacional

$m_1$  = massa do objeto 1

$m_2$  = massa do objeto 2

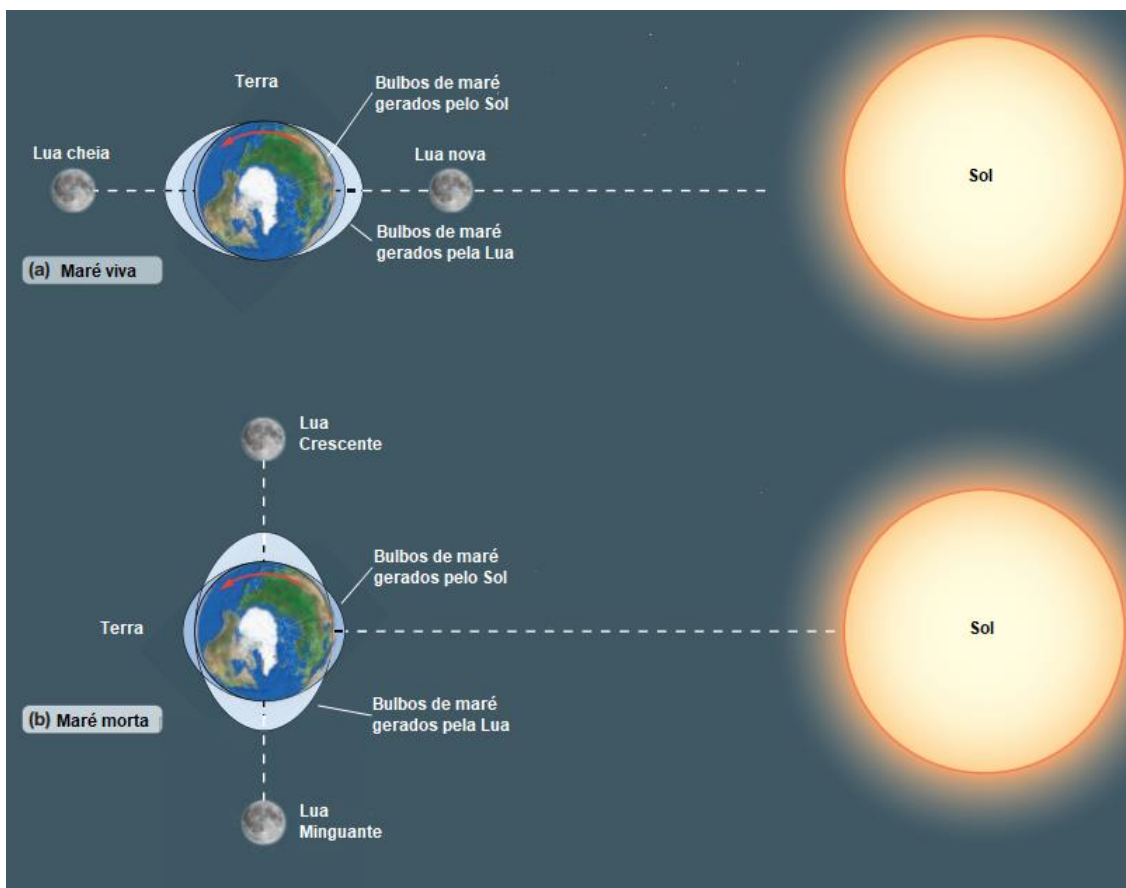
$r$  = distância entre os objetos

As forças centrífugas são constantes sobre a superfície da Terra (GROSS, 1993). No lado voltado para a lua a força gravitacional excede a força centrífuga da Terra, fazendo com que a água dos oceanos seja puxada em direção a Lua. Enquanto que no lado posto à Lua a força centrífuga da Terra é maior que a atração gravitacional, o que efetivamente faz com que a água seja empurrada para longe da Terra. Isso faz com que sejam criados dois bulbos de maré nas faces opostas da Terra.

Segundo Trujillo e Thurman (2017) o Sol é outro fator que também é um fator importante na formação de marés, no entanto, apesar de sua massa ser de aproximadamente 27 milhões de vezes maior do que a da Lua, as forças geradoras de maré são inversamente proporcionais ao cubo da distância entre os objetos. Ou seja, sendo o Sol 390 vezes mais distante do que a Lua em relação a Terra, a sua força geradora de marés é apenas em torno de 46% da proveniente da Lua. Isso torna o Sol uma forma de potencializar marés ou diminui-las dependendo da situação em que ele se encontra.

De acordo com Lobo e Soares (2007) as marés vivas, que são as marés onde o Sol e a Lua estão alinhando, formando os bulbos mais acentuados que podem ser observados, e as marés mortas, que são as marés onde a Lua e Sol formam ângulos retos formando bulbos mais baixos que o usual, devem ser bastante observados por navegantes que trafegam em áreas costeiras e necessitam de canais de acessos para portos. Esses dois tipos de marés podem ser observados na Figura 19.

Figura 19 – Efeito da posição relativa do Sol e da Lua na geração de marés na Terra



Fonte: Trujillo e Thurman (2017, adaptado pelo autor)

### 3.3.4 Correntes

Correntes oceânicas são massas de água do oceano que fluem de um local a outro. A quantidade de água pode ser grande ou pequena, correntes podem aparecer na superfície ou bastante profundo, e o fenômeno que forma as correntes pode ser simples ou bastante complexo. Simplificadamente, correntes são massas de água em movimento (TRUJILLO; THURMAN, 2017, p. 207, tradução do autor).

De acordo com Trujilo e Thurman (2017) as correntes oceânicas podem ser formadas pela diferença de densidade na água, ou pelo movimento do vento. As correntes formadas pela ação do vento movem a água horizontalmente, e ocorrem principalmente na superfície da água, sendo mais conhecidas como correntes de superfície. Por outro lado, as correntes provenientes da diferença de densidade movem a água verticalmente e são responsáveis pela mistura completa de grandes massas de água mais fundas, sendo mais conhecidas como correntes profundas.

Segundo Lobo e Soares (2007) a densidade atua na formação de correntes a partir de massas de água que possuem diferentes temperaturas e salinidade, sendo a temperatura o fator mais influente na mudança de densidade da água. Temperaturas extremamente baixas nas regiões polares fazem com que a densidade da água do mar nessas regiões seja bastante afetado, desencadeando o processo de correntes frias profundas, provocando o deslocamento de água superficial e quente para direções de alta latitude para suprir esse espaço liberado pelas correntes frias e profundas na direção das baixas latitudes.

As correntes são observadas em diferentes profundidades nos oceanos. Na superfície e nas camadas superiores do mar, encontramos correntes quentes – menos densas, enquanto que nas águas profundas encontramos correntes frias – mais densas. A rotação da Terra tem influência em suas trajetórias, desviando-as para a direita do hemisfério norte e para a esquerda no hemisfério sul, devido ao efeito da força Coriolis (LOBO; SOARES, 2007, p. 251).

Segundo Lobo e Soares (2007), na costa do Brasil podem ser observadas tanto correntes quentes quanto frias. A corrente oceânica ‘Sul Equatorial’ ao encontrar a costa norte/nordeste do Brasil se divide em duas: na corrente do Brasil na direção sul, e na corrente das Guianas na direção Norte. Ambas são consideradas correntes superficiais quentes, frequentemente observadas por navegantes. Na costa sul e sudeste do Brasil é possível observar pontos de surgimento de água fria e profunda provenientes da corrente das Malvinas, chegando até a região de Cabo Frio.

“As correntes oceânicas afetam a navegação, devendo o navegante consultar a publicação Cartas Piloto e observar os dados de velocidade e direção na corrente, na região em questão” (LOBO; SOARES, 2007, p.252)

As marés também são fontes geradoras de correntes. A oscilação proveniente do fenômeno das marés resulta em um movimento horizontal de massa de água. Esse movimento é denominado de correntes de maré. (LOBO; SOARES, 2007)

De acordo com Lobo e Soares (2007) as correntes de maré são de maior interesse para os navegantes em regiões de baías, enseadas e portos. Isso se deve pelo fato das correntes de maré estarem diretamente relacionadas com a geografia da região, o que resulta em diferentes direções e velocidades de corrente ao longo do canal de acesso ao porto. As características geográficas consideradas determinantes para maré são: profundidade do local; largura do canal; se o canal é

longo e sinuoso; e se existem pontas salientes no interior da baía. As informações devem ser constatadas pelo navegante em cartas de correntes de maré para o porto em estudo.

As correntes geradas pelo vento são formadas devido ao atrito entre o ar com a superfície da água, que gera um arrasto superficial conhecido por corrente de deriva (LOBO; SOARES, 2007). A corrente de deriva produzida pelo vento não produz um deslocamento de água na mesma direção do vento, na verdade a corrente de deriva observa uma direção defasa em 90° em direção ao vento para a esquerda no hemisfério sul, e para direita no hemisfério norte, que está diretamente relacionado ao efeito Coriolis.

### **3.4 Serviço de praticagem no Brasil**

No Brasil, assim como em todos países que possuem comércio internacional por via aquaviária, a Praticagem é a atividade que proporciona eficiência e garante a segurança das operações dos navios que trafegam em suas águas territoriais, seja ao longo da costa ou em águas interiores, tendo o Estado como seu único cliente e os navios como usuários deste serviço (CONAPRA, 2014).

De acordo com Pula (2010) o Serviço de Praticagem no Brasil é regulamento pelas Normas da Autoridade Marítima (NORMAM), onde a NORMAM-12 (DPC, 2011) tem o seu foco no serviço de praticagem. Também existindo a Lei Nº 9.357/97 (BRASIL, 1997) que é a lei que dispõe sobre a segurança do tráfego aquaviário em águas sob jurisdição nacional e de outras providências.

A Lei 9.357/97 (BRASIL, 1997) define o serviço de praticagem como “o conjunto de atividades profissionais de assessoria ao Comandante requeridas por força de peculiaridades locais que dificultem a livre e segura movimentação da embarcação. ”

### **3.5 Inquéritos administrativos sobre acidentes e fatos da navegação**

A DPC (2003) estabelece normas para instauração de IAFNs, competindo a ela a definição de acidentes e fatos de navegação, com o intuito de formalizar e padronizar a investigação de acidentes desde a sua ocorrência até sua tramitação ao Tribunal Marítimo.

Um acidente marítimo é considerado como um evento, ou uma sequência de eventos que, desencadeiam quaisquer das ocorrências a seguir, estando elas diretamente relacionadas com as operações de um navio (IMO, 2008a):



- Morte, ou lesões graves para uma pessoa
- A perda de pessoas de uma embarcação
- A perda, perda presumida ou abandono de uma embarcação
- Danos materiais a embarcação
- Encalhe ou incapacitação de um navio, ou envolvimento de um navio em uma colisão
- Dano material à infraestrutura marítima estranha a um navio, que possa colocar seriamente em perigo a segurança do navio, de um outro navio ou de uma pessoa
- Danos graves ao meio ambiente, ou uma possibilidade de danos graves ao meio ambiente, provocados pelos danos causados a um navio ou navios

As seguintes ocorrências são consideradas acidentes da navegação (DPC, 2003):

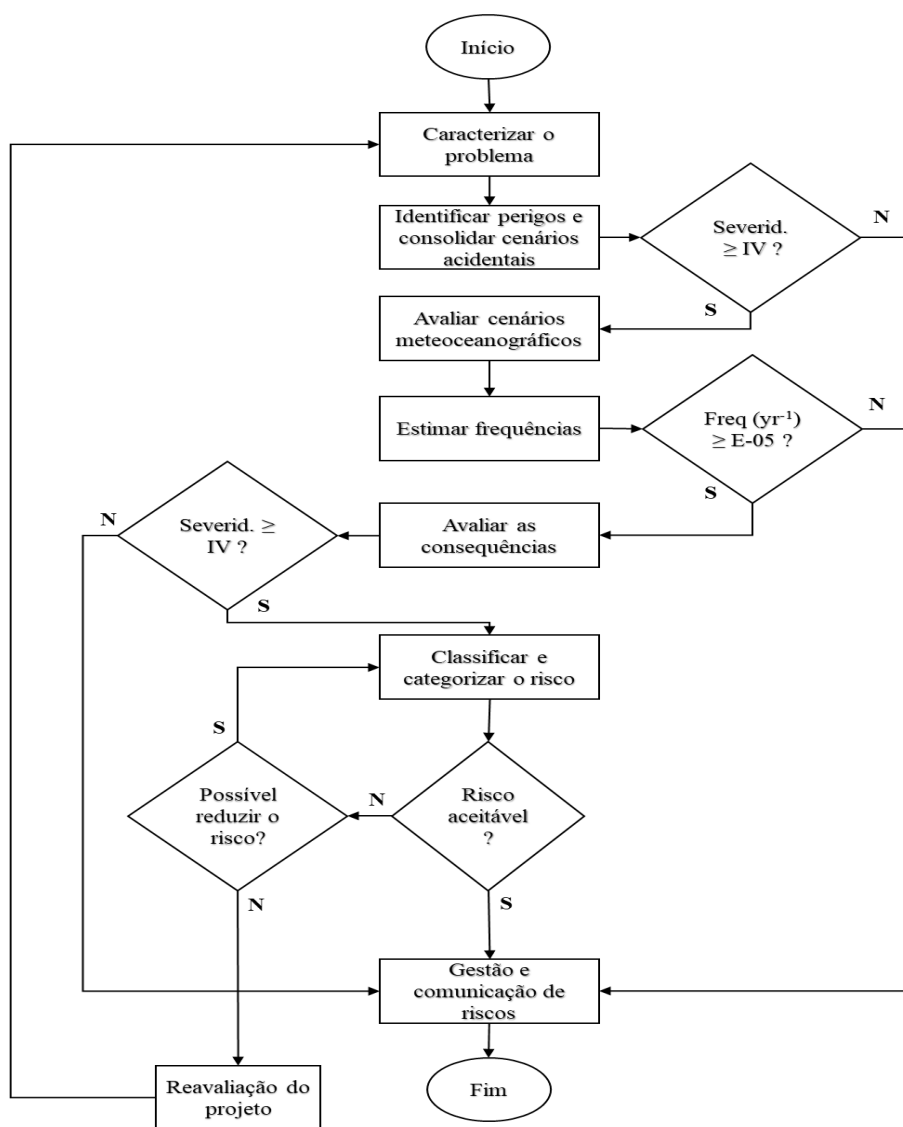
- Naufrágio: afundamento total ou parcial da embarcação por perda de flutuabilidade, decorrente do embarque de água em seus espaços internos devido a adernamento, emborcamento ou alagamento.
- Encalhe: contato das chamadas obras vivas da embarcação com o fundo, provocando resistências externas que dificultam ou impedem a movimentação da embarcação.
- Colisão: choque mecânico da embarcação e/ou seus apêndices e acessórios, contra qualquer objeto que não seja outra embarcação ou, ainda, contra pessoa (e.g., banhista, mergulhador). Assim, haverá colisão se a embarcação se chocar com um corpo fixo ou flutuante insusceptível de navegar ou manobrar (e.g., recife, cais, boia, cabo submarino)
- Abalroação ou abalroamento: choque mecânico entre embarcações ou seus pertences e acessórios
- Água aberta: ocorrência de abertura nas obras vivas que permita o ingresso descontrolado de água nos espaços internos, ou a descarga de líquidos dos tanques, por rombo no chapeamento, falhas no calafeto, ou nas costuras, por válvulas de fundo abertas ou mal vedadas, por defeitos nos engaxamentos dos eixos ou qualquer falha ou avaria que comprometa a estanqueidade da embarcação
- Explosão: Combustão brusca provocando a deflagração de ondas de pressão de grande intensidade

- Incêndio: Destruição provocada pela ação do fogo por: combustão dos materiais de bordo, ou sobre as águas, em decorrência de derramamento de combustível ou inflamável, curto-circuito elétrico, guarda ou manuseio incorretos de material inflamável ou explosivo.
- Varação: ato deliberado de fazer encalhar ou por em seco a embarcação, para evitar que evento mais danoso sobrevenha
- Arribada: fazer entrar a embarcação num porto ou lugar não previsto para a presente travessia, isto é, que não seja o porto ou local de escala programada ou de destino
- Alijamento: É o ato deliberado de lançar na água, no todo ou em parte, carga ou outros bens existentes a bordo, com a finalidade de salvar a embarcação, parte da carga ou outros bens

## 4 METODOLOGIA

A metodologia de ARM proposta neste trabalho é baseada em estudos de diferentes campos de avaliação de risco (e.g., acidentes industriais, riscos ecológicos e microbianos) (CETESB, 2000; CPR18E, 2005; DUARTE et al., 2013, 2014, 2019, DUARTE; DROGUETT, 2012, 2016). Apesar dos estudos não compartilharem a mesma temática de efeitos meteoceanográficos em portos, podem ser adaptados para o objetivo deste trabalho com os devidos ajustes. Os passos da metodologia são ilustrados na Figura 20 em forma de fluxograma.

Figura 20 – Fluxograma da metodologia de avaliação de riscos



Fonte: O autor

A metodologia traz uma forma de qualificar o risco proveniente de fatores meteorológicos em um porto. O principal propósito deste trabalho é gerar informações úteis para o gerenciamento de riscos em portos, e fornecer aos praticos e capitão do porto resultados úteis para auxílio na tomada de decisão relacionados a: limites meteorológicos para execução de manobras; cenários mais importantes para serem treinados por praticos em simuladores de manobras (e.g., Simulador Marítimo Hidroviário da Universidade de São Paulo (USP) (TANNURI et al., 2014), e Full Mission Bridge Simulator da Universidade da Tasmânia (UTAS) (ORLANDI; BROOKS; BOWLES, 2014)); e a necessidade de melhoria na infraestrutura do porto. Os seguintes subcapítulos desta seção apresentam os passos da metodologia proposta, que visa flexibilidade para aplicação em qualquer porto no mundo.

#### **4.1 Caracterização do problema**

A primeira etapa para a avaliação de risco deve ser uma caracterização do empreendimento e da região ao seu redor (i.e., o porto e seus arredores). Esta etapa é essencial para o decorrer da aplicação da metodologia, visto que o risco necessita de clareza para ser avaliado, e cada caso terá suas peculiaridades quando comparado em um âmbito geral.

Deve ser possível definir aspectos geográficos da estrutura do porto e da região de interesse, bem como seus limites operacionais; tipos de embarcações que serão avaliadas durante a metodologia; trajetória executada pela embarcação escolhida; e caracterizar o clima local.

Alguns documentos úteis para a realização dessa etapa são: normas e procedimentos da capitania dos portos, arranjo geral da embarcação, plano mestre do porto, cartas náuticas, piloto, e sinóticas. Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do porto e empreendimentos anexos ao complexo portuário também devem ser consultados ao longo da aplicação de avaliação de riscos.

##### **4.1.1 Características geográficas da região e da estrutura portuária**

Nesse momento devem ser coletadas informações técnicas que possam caracterizar o empreendimento em relação a sua estrutura física e movimentação de carga para se ter uma melhor noção dos riscos que o determinado porto pode estar suscetível.

Aqui devem ser feitas delimitações do porto baseando-se na necessidade da avaliação e dos recursos disponíveis para realiza-la, pois é comum que nem todas regiões possuam o mesmo grau

de risco que outras (e.g. canais estreitos são regiões de maior cuidado). Essa decisão deve ser realizada pelo avaliador de riscos baseado em conhecimento prévio e em discussões com a equipe portuária para consenso geral, caso haja a necessidade de ater-se a áreas específicas.

Para o porto em estudo, é ideal que o avaliador de riscos seja capaz de coletar as seguintes características acerca do sistema:

- Descrição física e geográfica do porto
- Localização dos cais de atracação de interesse e suas características específicas (e.g. profundidade, calado máximo permitido, tipos de embarcações que possam atracar)
- Descrição de embarcações e cargas comumente movimentadas nas dependências do porto

#### 4.1.2 Tipo de embarcação avaliada

De acordo com a delimitação específica no item 4.1.1 o tipo de embarcação deve ser escolhido de forma a representar a realidade do porto, tanto em relação às cargas movimentadas, quanto às dimensões dos navios manipuladas pelo porto.

O avaliador deve ser capaz de definir as principais características do navio:

- Dimensões principais (e.g., Comprimento Total (LOA), Boca (B), Calado (T), Pontal (D), Deslocamento ( $\Delta$ ), e área vélica)
- Porte bruto, e carga movimentada
- Tipo de propulsão e leme

#### 4.1.3 Trajetória de interesse

Estabelecidos o porto e a embarcação avaliada, é importante delimitar uma trajetória que será avaliada durante a aplicação da metodologia. Essa definição deve ser preferencialmente discutida com práticos e autoridade portuária para refletir a realidade do porto, sabendo que certos berços de atracação possuem capacidades diferentes e não recebem todos tipos de embarcação.

O avaliador deve definir:

- Ponto de início e fim do trajeto
- Manobras realizadas (e.g., giro na bacia de evolução, aproximação ao cais, desatracação)
- Interação com rebocadores, se aplicável

#### 4.1.4 Características climáticas e meteorológicas da região

Um dos objetivos posteriores da metodologia de avaliação de risco será uma análise mais aprofundada das condições meteorológicas das proximidades do porto. Entretanto, antes de chegar nesse ponto, é necessário ter uma noção das características climáticas gerais da região para se ter um perfil preliminar mais completo possível para o estudo.

Sendo assim, devem ser observadas as condições características registradas da região em relação a aspectos climáticos e meteorológicos. É preferível que essas informações sejam observadas levando em conta a interferência da sazonalidade nas medições feitas, para uma reprodução fiel do ambiente.

Para o porto em estudo, é ideal que o avaliador de riscos seja capaz de coletar as seguintes características acerca do sistema:

- Índice pluviométrico mensal
- Classificação das marés
- Ventos predominantes

## 4.2 Identificação e consolidação de cenários de risco

A identificação de riscos é uma das etapas da avaliação de riscos, responsável por identificar aspectos pertinentes ao estudo (e.g. fontes de risco, áreas de impacto, causas e consequências).

Durante essa etapa o principal objetivo é que seja realizada uma identificação de caráter abrangente, pois um risco que não for considerado nessa etapa não será incluído no estudo posterior (ABNT, 2009). Assim, para manter critérios conservadores, nessa etapa os riscos identificados serão considerados de forma não condicional, tratando-o diretamente com a sua severidade.

A ARM utiliza Análise Preliminar de Risco (APR), uma técnica comum para identificação de Cenários Acidentais (CA). Isso se deve pela abrangência em sua aplicabilidade, principalmente em estágios preliminares, podendo ser utilizada de qualquer tipo de sistema (ERICSON, 2005).

A APR deve conter informações pertinentes ao sistema em estudo e os objetivos da análise de risco. É importante que o avaliador seja capaz de considerar as particularidades que devem ser aprofundadas na realização da APR.

Para o presente estudo, a Tabela 3 apresenta o modelo de planilha de APR a ser utilizado para identificação dos CAs com suas respectivas informações características.

Tabela 3 – Modelo de Análise Preliminar de Riscos a ser utilizado no trabalho

Análise Preliminar de Riscos em Portos							
(1) Unidade:		(3) Embarcação:			(5) Analista:		
(2) Trecho:		(4) Carga:			(6) Data:		
(7) N°	(8) Categoria do acidente	(9) Detalhes do risco	(10) Efeitos esperados	(11) Grau de Freq.	(12) Grau de Sev.	(13) Classificação	(14) Ações Recomendadas / Observações

Fonte: O autor

Abaixo estão definidos os itens a serem preenchidos na planilha de APR elaborada acima:

1. Unidade: Identifica o Porto em que se está realizando o estudo.
2. Trecho: É delimitado o local de análise do risco (e.g. berçõs de atracação, canais de acesso, píers).
3. Embarcação: Tipo de embarcação (e.g., petroleiro suezmax, porta-container panamax) estudada na ARM.
4. Carga: Principal tipo de carga transportada pela embarcação (e.g., petróleo bruto, automóveis, passageiros)
5. Analista: Responsável por realizar a análise do APR para o perigo em questão.
6. Data: Dia, mês e ano em que foi finalizada a APR, onde quaisquer revisões devem modificar a data.
7. Número: Identificação designada ao perigo identificado, servindo para futuras referências.
8. Categoria do acidente: Categoria do acidente de acordo com as definições da DPC (2003) para acidentes de navegação, aquelas que não encaixarem serão consideradas como ‘outros’
9. Detalhes do perigo: Essa coluna explicita o perigo a ser analisado e avaliado, mesmo que posteriormente seja considerado como um risco inofensivo.
10. Efeitos esperados: Prováveis consequências deparadas na ocorrência do evento detalhado.

11. Grau de Frequência: Classificação do perigo em relação a sua frequência, os graus utilizados são definidos na Tabela 4.
12. Grau de Severidade: Classificação do perigo em relação a sua severidade, os graus utilizados são definidos na Tabela 5.
13. Classificação do risco: Medida qualitativa para classificar o risco em estudo, considerando fatores de frequência e severidade. As classificações podem ser observadas na Tabela 6.
14. Ações recomendadas e observações: Recomendações preventivas acerca do perigo em estudo, ou registrar informações pertinentes ao processo de prevenção do risco.

Todos os CAs devem ser identificados e elencados de forma a selecionar os que serão considerados de maior importância para o estudo com maior detalhamento no prosseguimento da avaliação de riscos. De acordo com Duarte (2016), o critério estabelecido para considerar a relevância do cenário acidental deve ser estabelecido de forma clara, neste trabalho será adotada uma abordagem crítica, utilizando como base as categorias de severidades e risco. Na ARM serão considerados como relevantes os cenários acidentais com classe de severidade IV ou V, estes deverão ser selecionados para prosseguir com a metodologia.

Tabela 4 – Categorias de frequência

Categoria	Descrição
A Extremamente remota	Conceitualmente possível, mas extremamente improvável na vida útil do porto.
B Remota	Não esperado ocorrer durante a vida útil do porto, apesar de haver referências históricas.
C Pouco provável	Possível de ocorrer até uma vez durante a vida útil do porto.
D Provável	Esperado de ocorrer mais de uma vez durante a vida útil do porto.
E Frequente	Esperado de ocorrer muitas vezes durante a vida útil do porto.

Fonte: Petrobras (2015, adaptado pelo autor)



Tabela 5 – Categorias de Severidade

Categorias	Descrição / Características		
	Segurança Pessoal	Propriedade	Meio Ambiente
I Desprezível	Sem lesões, ou no máximo casos de primeiros socorros	Danos leves a estrutura do porto ou de embarcações sem comprometimento da continuidade operacional	Danos insignificantes
II Marginal	Lesões leves	Danos leves a estrutura do porto ou de embarcações	Danos Leves
III Média	Lesões graves intramuros ou lesões leves extramuros	Danos moderados a estrutura porto ou de embarcações	Danos moderados
IV Crítica	Fatalidade intramuros, ou lesões graves extramuros	Danos severos a estrutura porto ou de embarcações, podendo levar à perda de embarcações	Danos severos com efeito localizado
V Catastrófica	Múltiplas fatalidades intramuros ou fatalidade extramuros	Danos catastróficos, podendo levar à paralisação indefinida de atividades do porto	Danos severos em áreas sensíveis ou se estendendo para outros locais

Fonte: Petrobras (2015, adaptado pelo autor)

Ao fim desta etapa espera-se que o avaliador tenha uma determinada quantidade de CAs incondicionais  $\{CA_i\}$ , em que ‘i’ é um CA com categoria de severidade IV ou acima, e incondicional significa que o cenário ainda não considera as condições meteoceanográficas. Estes CAs serão estudados em maiores detalhes nas próximas etapas. É importante mencionar que os cenários que não foram considerados dentro da abordagem de severidade mencionada, não serão considerados posteriormente, por isso é recomendável que haja um bom conhecimento no momento de classificação dos cenários de risco.

Tabela 6 – Matriz de risco

		Categorias de Frequência				
		A	B	C	D	E
Categorias de Severidade	V	M	M	NT	NT	NT
	IV	T	M	M	NT	NT
	III	T	T	M	M	NT
	II	T	T	T	M	M
	I	T	T	T	T	M

Fonte: Petrobras (2015)

### 4.3 Consolidação de cenários meteoceanográficos

Nesta seção os cenários meteoceanográficos são divididos em duas etapas. Na primeira são elaborados critérios preliminares para considerar a adoção ou não de determinados fatores meteoceanográficos, enquanto que na segunda etapa os cenários meteoceanográficos são propriamente definidos considerando os resultados anteriores.

#### 4.3.1 Avaliação preliminar de fatores meteoceanográficos

Dadas as condições geográficas de um determinado porto, certos fatores meteorológicos podem atingir a navegação de embarcações com menor magnitude. Sabendo disso, torna-se interessante uma avaliação objetiva para determinar a que ponto os parâmetros devem ser considerados de forma a evitar esforços desnecessários em situações com impactos improváveis.

Essa seção estipula diferentes critérios conservadores adaptados de várias fontes (BARBER, 2005; CRENSHAW, 1960; LOBO; SOARES, 2007; MACELREVEY; MACELREVEY, 2004; ROWE, 2000) para avaliar a necessidade de adoção dos diferentes parâmetros meteoceanográficos (i.e., ondas, ventos, correntes e maré) nos cenários analisados na avaliação de riscos. Os dados comparativos utilizados nessa etapa devem ser preferencialmente comparados de Atlas de Cartas Piloto, ou de documentos publicados por fontes reconhecidas no âmbito de processamento de dados meteoceanográficos, tais como Centro de Hidrografia da Marinha (CHM).

- Ventos

O mesmo vento pode ter efeitos drasticamente distintos em diferentes embarcações. Os fatores determinantes mais importantes a serem considerados são a área vélica (i.e. qualquer área exposta ao vento) e a velocidade (MACELREVEY; MACELREVEY, 2004). Aspectos como a relação de calado por área vélica, e geometria do casco também são fatores que podem afetar o desempenho do navio quando exposto ao vento. (BARBER, 2005)

Uma regra empírica bastante utilizada para determinar quando o vento começa a se tornar um fator importante é utilizada por diversos práticos como forma de avaliação inicial (MACELREVEY; MACELREVEY, 2004). A equação (6) explicita esta regra:

$$V_V \geq C V_{NV} \quad (6)$$

Onde:

$V_V$  = velocidade do vento em nós

$C$  = constante adimensional representando o tipo de embarcação

$V_{NV}$  = velocidade do navio em nós

$V_V$  deve ser considerada como a maior velocidade do vento documentada;  $V_{NV}$  deve ser a menor velocidade estimada da embarcação no trecho de interesse ao estudo. Para esta metodologia será considerada  $V_{NV} = 0$  nós para manobras de atracação/desatracação, enquanto que navegação em canais devem considerar  $V_{NV} = 3$  nós, que é um critério bastante conservador, visto que navegação em águas rasas ( $UKC < 1,5$  m) é usualmente realizada com 6 nós (MACELREVEY; MACELREVEY, 2004) e muitos navios a diesel possuem um dead slow (i.e., menor velocidade sem perder manobrabilidade) de 5 a 8 nós (MACELREVEY; MACELREVEY, 2004); e  $C = 5$  para grandes navios cargueiros ou  $C = 3$  para navios de passageiros e containers.

Essa regra é baseada em conhecimento empírico que para embarcações navegando em velocidades muito baixas (o que ocorre principalmente em regiões próximas aos portos), o navio irá passar a considerar o vento quando ele estiver três vezes maior que a velocidade da embarcação para porta containers e embarcação de passageiros, e cinco vezes para navios fortemente carregados (e.g., petroleiros) (MACELREVEY; MACELREVEY, 2004).

- Correntes

Para a consideração da corrente será feito um comparativo do efeito do vento e o da corrente na manobrabilidade da embarcação. De acordo com AIT (2018) o ar é aproximadamente 850 vezes menos denso do que a água do mar. Segundo Macelrevey (2004), o efeito tanto da corrente quanto do vento irá aumentar na embarcação conforme o quadrado da velocidade. A relação é dada em forma de pressão expressa anteriormente na equação (3):

$$P = \frac{\rho V^2}{2g} \quad (3)$$

Assim, adotando o mesmo valor de pressão para onda e o vento, e considerando que a gravidade irá permanecer constante, tem-se que o efeito do vento necessitaria de uma velocidade aproximadamente 30 vezes maior do que a corrente para igualar seu efeito na embarcação.

Portanto, seguindo metodologia análoga ao critério do vento, a expressão (7) indica o critério de correntes estabelecido:

$$V_{CR} \geq \frac{C V_{NV}}{30} \quad (7)$$

Onde:

$V_{CR}$  = velocidade da corrente em nós

$C$  = constante adimensional representando o tipo de embarcação

$V_{NV}$  = velocidade do navio em nós

Em que  $V_{CR}$  deve ser a maior velocidade de corrente documentada, enquanto que os outros parâmetros são análogos ao critério do vento detalhado anteriormente.

- Marés

Em locais próximos de costa o efeito de marés deve ser observado com ainda mais cuidado, pois dada a sua origem, são nas costas onde ocorrem as maiores variações do nível do mar, devido a maior altura dos picos de marés (TIERNEY; KANTHA; BORN, 2002). Uma das grandezas bastante utilizada para verificação de segurança em áreas de navegação é a razão entre a Folga Abaixo da Quilha (UKC) (i.e., o comprimento entre o ponto mais abaixo da embarcação e o fundo

do mar) com o calado do navio. São sugeridos os seguintes valores para diferentes tipos de situações (DUARTE et al., 2016):

- Áreas oceânicas abertas: para embarcações nesse estado deve-se ter um valor de UKC de pelo menos 20% do calado.
- Canais de acesso: o valor de UKC deve ser no mínimo próximo de 15% do calado nessa situação.
- Áreas de manobra e berçoes de atracação: embarcações expostas nessas condições devem possuir UKC entre 10% a 15% do seu calado.
- Áreas de manobra e berçoes de atracação protegidos: nesse caso é considerado um valor mínimo de 7% de UKC em relação ao seu calado.

A UKC será calculada segundo a equação (8)

$$UKC = h + m_{min} - CMA \quad (8)$$

Onde:

$h$  = menor profundidade do mar na região selecionada do porto em metros

$m_{min}$  = menor pico de maré previsto no ano em metros

$T$  = calado em determinada condição (e.g., carregado, lastro)

O valor de UKC calculado é feito de forma a considerar as águas mais rasas possíveis, assim, é possível que dessa forma valores negativos poderiam ser encontrados, o que significaria que dentro das condições estabelecidas o porto não poderia receber a embarcação até que a maré subisse o bastante para tornar a UKC dentro de limites aceitáveis.

Dito isso, caso o valor de UKC seja positivo, ainda é necessário certificar se ele estaria em limites recomendados no valor mínimo de maré considerada. Para o critério será adotado comparativos conservadores, fixando-se na recomendação para águas oceânicas, onde  $(UKC/T)$  deve ser maior que 0,2 (DUARTE et al., 2016).

Dito isso, para negligenciar critério de correntes, a expressão (9) deve ser verdadeira:

$$\frac{UKC}{T} \geq 0,2 \quad (9)$$

- Ondas

O critério de ondas é feito baseado em rebocadores, dada as suas dimensões e o efeito que o estado do mar pode causar na eficiência operacional destas embarcações. A altura significativa de onda estabelece um limite máximo operacional de 1,5 – 1,8 metros para rebocadores convencionais e de 2 metros para rebocadores trator (HENSEN, 2003). Para esse trabalho será fixado o valor máximo de ondas para manobras seguras como 1,5 metros a fim de manter critério conservador. A equação (10) exemplifica a situação.

$$H_s \geq 1,5 \text{ m} \quad (10)$$

#### 4.3.2 Definição dos cenários meteoceanográficos

Feita a consideração dos fenômenos meteoceanográficos que irão ser adotados na aplicação da avaliação de riscos é o momento de definir os Cenários Meteoceanográficos (CM) que serão levantados. O que é feito a partir da combinação de diferentes condições dos parâmetros que estão sendo abordados. A quantidade e o ponto de especificidade dos cenários não são fixados, dependendo do objetivo do porto com a avaliação de riscos, entretanto é importante que o avaliador defina CMs plausíveis (i.e., cenários com combinações meteoceanográficas que já ocorreram ao menos uma vez no passado) e negligencie CMs não observados. Por exemplo, se não há indícios de um vento vindo de Norte ocorrendo em conjunto com uma corrente com direção Sul, não existe a necessidade desse cenário ser avaliado.

No entanto, mesmo que não sejam as mais frequentes, é recomendado que os cenários estabelecidos contenham também condições mais severas, desde que estas estejam dentro dos limites de praticabilidade do porto, pois são elas que podem surpreender práticos. Isso intensifica a recomendação para um estudo prévio da região, e o trabalho em conjunto com a equipe portuária sempre que cabível. Além disso, é bastante recomendado a depender da trajetória pontos diferentes sejam avaliados com cenários diferentes (e.g., áreas protegidas do porto podem negligenciar certas direções de onda, mas áreas desprotegidas devem considerar).

Na metodologia do presente trabalho recomenda no mínimo os seguintes parâmetros:

- Vento: direção (graus) e intensidade (nós)
- Maré: nível do mar (metros)
- Correntes: direção (graus) e intensidade (nós)
- Onda: altura (metros), período (segundos) e direção de pico (graus).

Assim, ao fim desta etapa, o avaliador deve ter um conjunto de Cenários Meteoclimatológicos {MS<sub>j</sub>} compostos da combinação de parâmetros relevantes para a ARM. Esses CMs serão considerados nas próximas etapas da metodologia.

#### 4.4 Estimativa de frequência

Para este trabalho, a frequência é dividida em duas vertentes: a frequência de ocorrência do acidente, e a frequência do CM definido. Os graus de frequência estão definidos na Tabela 7, que representa a frequência total como a combinação entre a frequência do acidente por ano, que é dividida em 5 classes, representando a probabilidade incondicional de ocorrência do acidente  $P(AS_i)$ ; e a frequência do CM<sub>j</sub> dividida em 0 a 50% e 51 a 100% do tempo da amostragem. A combinação destes dois fatores de acordo com a Tabela 7 resulta na estimativa de frequência anual do CA *i* em um dado CM *j*,  $F(AS_{ij})$ .

Tabela 7 – Categorias de frequência

		Frequências de acidentes (acidentes/ano)				
		E-05	E-04	E-03	E-02	E-01
Frequência de cenário meteo.	0 – 50%	E-06	E-05	E-04	E-03	E-02
	51 – 100%	E-05	E-04	E-03	E-02	E-01

Fonte: O autor

A razão para adotar a estimativa de frequências dentro do intervalo estabelecido vem de estudos no campo de revisão de avaliação de riscos marítimos em canais (LI; MENG; QU, 2012), avaliação de segurança com análise de confiabilidade humana utilizando metodologia de FTA (MARTINS; MATURANA, 2010), e relatório de análise de dados históricos para diversos tipos

de embarcações de 1990 até 2007 (IMO, 2007a, 2007b, 2008b, 2008c, 2008d). Essas fontes forneceram diferentes categorias de acidentes variando dentro de E-04 e E-02, e para metodologia do trabalho foram adicionadas duas classes no limite superior e inferior para considerar incertezas na estimativa.

CAs com frequência resultante em valores  $F(AS_{ij}) \geq E-05$  prosseguirão com a avaliação de risco, enquanto que acidentes categorizados com menor frequência são considerados como toleráveis, e deverão ser informados para a comunicação e gerenciamento de riscos. O restante dessa seção entra em detalhes de como é realizado o procedimento de cada um dos parâmetros de frequência. Ao fim desta etapa o avaliado deve ter uma série de  $F(AS_{ij})$  com frequência superior a E-05.

#### 4.4.1 Frequência meteoceanográfica

A coleta dos dados meteoceanográficos não possui um padrão estabelecido para sua aquisição, no entanto, estações de coleta *in situ* são preferíveis devido ao maior grau de confiabilidade no manuseio dos dados sempre que for de possível aplicabilidade. Instrumentos comumente utilizados para medição das condições meteoceanográficas são anemômetros (i.e., instrumento medidor de direção e velocidade do fluido) para ventos, marégrafos sem contato com água (i.e., instrumento emissor de ondas radares para obter resposta do nível do mar) para maré, boias de fundeio (i.e., boias fixas no fundo do mar equipada com sensores de medição rastreados por satélite) para medição de parâmetros de onda, e perfilador acústico (i.e., instrumento emissor de ondas sonoras para obtenção do perfil de velocidade e direção das partículas de água) para correntes.

Outra forma de coleta de dados que também pode ser considerada na ARM são conjunto de dados de reanálises meteorológicas, que fornecem medidas instantâneas de determinados parâmetros em intervalos regulares durante longos períodos de tempo, usualmente anos ou décadas. As medições de reanálises são feitas a partir de assimilação de dados (i.e., processo que depende tanto de observação e modelos de previsão para estimar condições), alguns conjunto de dados reconhecidos mundialmente são ERA-Interim (BERRISFORD et al., 2009) e ERA5 (OLAUSON, 2018). Para maiores detalhes sobre as particularidades de reanálises meteorológicas o leitor é referenciado a Parker (2016).



Feita a escolha do método mais conveniente para registro dos dados meteoceanográficos nas proximidades do porto, deve ser feito o processamento dos dados coletados. Esta etapa visa obter o máximo de informações relevantes das medidas registradas. No mínimo devem ser apontados frequências de ocorrência e frequências de ocorrências conjuntas estabelecidas nos cenários meteoceanográficos por meio de inferência estatística (COX, 2006), mas também é recomendado a verificação de outras grandezas (e.g., médias, modas, amplitudes) que auxiliem na visão geral do sistema.

É importante que a exposição de informações seja feita de forma a comunicar os dados adquiridos de maneira simples e direta, para evitar esforço e confusão para os interessados nos resultados. Recomenda-se a utilização de gráficos e tabelas que destaquem os parâmetros relevantes com maior clareza.

#### 4.4.2 Frequência de acidentes

Nessa etapa é realizada uma análise de frequência de acidentes marítimos (e.g., colisão, encalhe, explosão, abalroamento, naufrágio) sob a condição dos CMs. A frequência é definida em quantidade de acidentes por ano, de preferência para um tipo de embarcação (e.g., petroleiro, porta-container, passageiros) estabelecido, pois diferentes tipos de embarcação estão suscetíveis a diferentes frequências acidentais, dado os aspectos operacionais distintos (e.g., cargas perigosas, falta de casco duplo, menor manobrabilidade).

A frequência de acidentes pode ser estimada de forma geral através de dados históricos (e.g., (IMO, 2007b, 2008b, 2008c, 2008d)) e, se possível, revisadas em conjunto com práticos do porto. Alternativamente técnicas de inferência probabilística podem fornecer resultados mais precisos e específicos do local em relação a estimativa de frequência, e.g.: ETA, FTA e BBN em conjunto com simuladores de manobras aliados à opinião de especialistas (neste caso, os práticos do porto).

#### 4.5 Estimativa das consequências

A ARM refina a categorização da severidade ambiental dos CAs de acordo com a respectiva CM em um potencial acidente de derramamento de óleo. Isso é necessário em razão que condições de mar estão diretamente ligadas ao transporte e o destino do óleo nos oceanos (BLUMBERG; MELLOR, 1987; CAMPOS, 2001; EZER, 2005) e, por conseguinte, quanto impactante as consequências do CA realmente são.

CAs que apresentam o risco de derramamento de óleo devem ser avaliados com maior detalhamento, preferivelmente com o suporte de modelos de transporte e destino de óleo que descrevam a dispersão de óleo no oceano, em conjunto com EIA e RIMA para reconhecer áreas de maior risco ambiental. Se os resultados mostrarem que plumas de óleo alcançam importantes ecossistemas, a severidade definida previamente no capítulo 4.2 deve ser ajustada para a maior classe (i.e., V). Na carência de recursos para construir e simular modelos de transporte e dispersão de óleo, ou na ausência de resultados de tal modelo, as severidades dos CAs devem permanecer iguais às definidas previamente na etapa de identificação e consolidação de cenários de riscos.

Assim, ao fim desta etapa o avaliador deve ter a categorização de severidade  $S(CA_{ij})$  de CAs ambientalmente perigosos substituindo a  $S(A_i)$  de incondicional CAs da etapa de identificação e consolidação de cenários de risco. As categorias de severidade são mantidas de acordo com a Tabela 5, e apenas ASs classificados com severidade crítica ou catastrófica prosseguirão para a última etapa da metodologia.

#### **4.6 Avaliação de riscos**

A última etapa de ARM visa finalmente classificar, elencar e priorizar os riscos de cada CA sendo considerado até esta etapa. Essa categorização envolve a discussão da tolerabilidade do risco, que era tratada de forma subjetiva até o momento da ARM e, portanto, requer padronização, como é indicado nesta seção. A metodologia de ARM proposta utiliza uma matriz de risco (i.e., método para definir níveis de risco baseado na probabilidade e consequência de um CA) adaptada de Petrobras (2015).

A Tabela 8 expressa a matriz de tolerabilidade de riscos para a ARM com os graus de frequência e severidade definidos para cada CA anteriormente. Riscos Toleráveis (T) não requerem medidas adicionais, apenas o monitoramento contínuo das atividades para controle do sistema. Riscos Médios (M) devem ser avaliados com um pouco mais de detalhes em relação a implantação de medidas adicionais de contenção de riscos, caso aplicável. Riscos Não-toleráveis (NT) requerem ações imediatas para redução da frequência ou severidade do perigo, com o objetivo de diminuir sua categoria para tolerável ou Tão Baixo Quanto Razoavelmente Exequível (ALARP) (i.e., balanceamento de medidas de redução de risco e recursos necessários (e.g., tempo, dinheiro e energia)).

Tabela 8 – Matriz de tolerabilidade de riscos

		Categorias de Frequência				
		E-05	E-04	E-03	E-02	E-01
Categorias de Severidade	V	M	M	NT	NT	NT
	IV	T	M	M	NT	NT
	III	T	T	M	M	NT
	II	T	T	T	M	M
	I	T	T	T	T	M

Fonte: Petrobras (2015, adaptado pelo autor)

Finalmente, ao fim desta etapa o avaliador deve ter o risco de todos os CAs condicionais devidamente categorizado  $R(AS_{ij})$ .

A metodologia de avaliação de riscos é concluída com a comunicação dos resultados obtidos para a área de gerenciamento de riscos, que deve verificar a necessidade de implementação de medidas de redução do risco onde aplicável. Apesar da etapa de medidas integrar o escopo de gerenciamento de riscos, a equipe de avaliação pode entrar com sugestões, incentivando maior integração entre as partes.

## 5 RESULTADOS

Nessa seção a metodologia proposta é exemplificada sistematicamente com a aplicação de um estudo de caso no Porto de Suape. Esta porção do trabalho ilustra o processo de aplicação com o intuito de esclarecer ao leitor sobre sua prática e os principais resultados previstos.

### 5.1 Caracterização do sistema de estudo

#### 5.1.1 Características geográficas da região e da estrutura portuária

O sistema selecionado para aplicação da metodologia de avaliação de riscos foi o Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros, o Porto de Suape. Posicionado geograficamente nas coordenadas: latitude  $08^{\circ} 23' 50''$  S e longitude  $34^{\circ} 57' 30''$  O, o Porto de Suape situa-se no extremo ocidental da costa brasileira, aproximadamente 25 milhas ao Sul de Recife (PETROBRAS, 2006). A Figura 21 demonstra a localização geográfica do porto.

Figura 21 – Georreferenciamento do Porto de Suape



Fonte: O autor

A escolha pelo Porto de Suape se deu baseado na sua localização privilegiada, que é um dos grandes fatores na movimentação de carga no Brasil, e além disso a proximidade com Áreas de Proteção Ambiental (APA) aliadas a pequenos valores de UKC tanto no canal de acesso quando em áreas abrigadas para embarcação trafegando diariamente tornam de grande importante a aplicação de ARM no porto.

O Porto de Suape é dividido entre externo e interno. O canal de acesso ao porto externo tem 5000 metros de extensão, 300 metros de largura, profundidade mínima de 16,5 metros e um calado máximo permitido de 14,5 metros na preamar. O acesso ao porto interno, por sua vez, é dado em uma abertura nos arrecifes, com 300 metros de largura.

O porto interno é formado atualmente por 1.600 metros de cais, com cinco berços de atracação em atividade, todos com profundidade de 15,5 metros (SUAPE, 2017a).

- Cais 1: Público, com 275 metros de extensão, usado predominantemente para movimentação de contêineres, carga geral, veículos no sistema ro-ro, e açúcar em sacos
- Cais 2 e 3: Privados, com 660 metros de extensão.
- Cais 4: Público, com 350 metros de extensão, atualmente utilizado para movimentação de carga geral, produtos siderúrgicos, trigo a granel e veículos no sistema ro-ro.
- Cais 5: Público, com 343 metros de extensão, o berço opera carga geral e granéis sólidos.

O porto externo abriga 4 píeres de granéis líquidos, e um Cais de Múltiplo Uso (SUAPE, 2017a).

- Píer de Granéis Líquidos – PGL 1: Possui 330 metros de extensão, com dois berços para navios de 200 metros de comprimento. Possui 12,7 metros de profundidade no berço Leste, e 12,9 metros no berço Oeste, utilizados para atracação de navios de 45 mil toneladas por porte bruto (TPB)
- Píer de Granéis Líquidos – PGL 2: Possui 390 metros de extensão, com dois berços para navios. Possui 12,6 metros de profundidade no berço Leste e 13,5 metros no berço Oeste, comportando navios de até 90 mil TPB.
- Píer de Granéis Líquidos – PGL 3A: Atende navios petroleiros de até 110 mil TPB, tendo 12,7 metros de profundidade e bacia de evolução com 20 metros de profundidade em alguns pontos.

- Píer de Granéis Líquidos – PGL 3B: Atende navios petroleiros de até 170 mil TPB, tendo 17,7 metros de profundidade e bacia de evolução com 20 metros de profundidade em alguns pontos.
- Cais de Múltiplos Usos – CMU: Atende navios de até 80 mil toneladas TPB. Possui profundidade de 10,2 metros no seu berço Oeste e 14,0 metros no berço Leste.

A Figura 22 ilustra com mais detalhes o porto e os cais de atracação e píeres mencionados anteriormente.

Figura 22 – Vista aérea do Porto de Suape



Fonte: Google (2018, adaptado pelo autor)

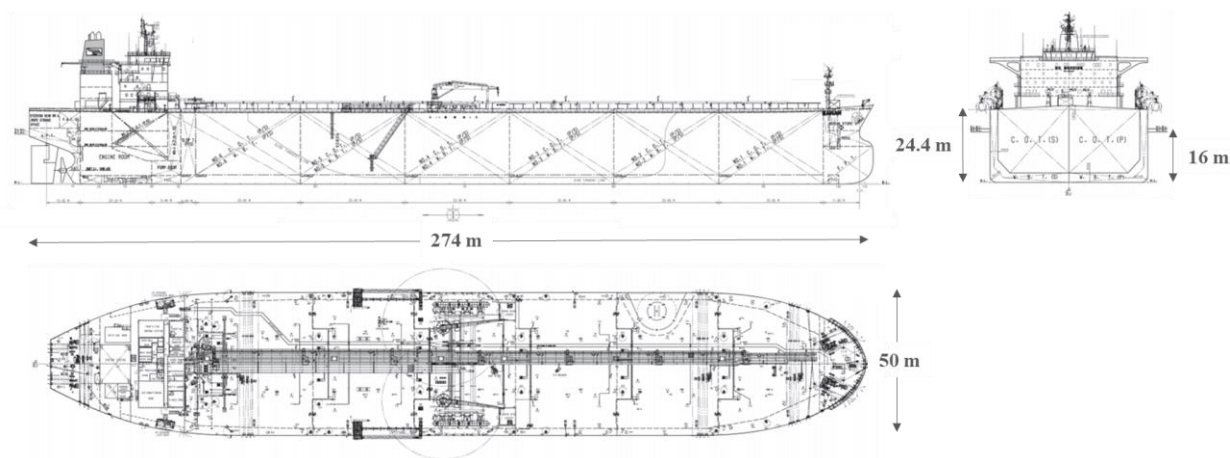
### 5.1.2 Tipo de embarcação avaliada

A embarcação escolhida para ser conduzida na aplicação da avaliação de riscos é um navio da classe Suezmax (i.e., navio petroleiro de médio porte variando de 120.000 a 200.000 DWT). O navio foi selecionado através de comunicação direta com um prático do Porto de Suape, que indicou alguns motivos para a preferência dessa embarcação em um ARM. Os principais motivos podem ser sumarizados em: (1) derramamentos de óleo estão entre as maiores ameaças para o meio ambiente mundialmente, assim, navios petroleiros apresentam maior perigo ao meio em acidentes,

com potencial de riscos irreparáveis para ecossistemas e atividades humanas (HOFER, 1998; WALKER et al., 2018); (2) granéis líquidos (i.e., óleo, combustível e outros derivados de petróleo) ocupam a maior movimentação de carga no Porto de Suape, com um total de 17,5 milhões de toneladas (74% do total de carga) em 2017 (SUAPE, 2017b); e (3) maiores embarcações representam maiores restrições (e.g., menor espaço para manobras, menor UKC, maior deslocamento e inércia, menor relação potência-deslocamento) que fazem sua operação mais delicada em águas restritas.

A Figura 23 ilustra o navio escolhido e suas principais dimensões (i.e., LOA = 274 m, B = 50 m, D = 24,4 m, T = 16 m e  $\Delta = 151.890$  t).

Figura 23 – Petroleiro Suezmax



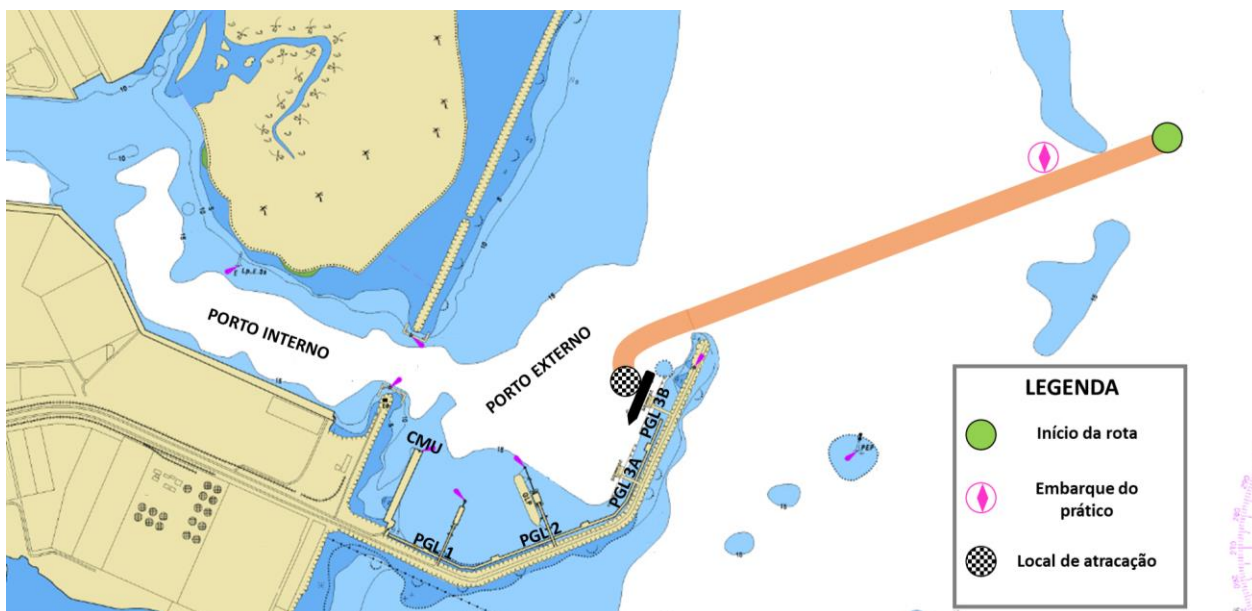
Fonte: RINA (2009, adaptado pelo autor)

### 5.1.3 Trajetória de interesse

A trajetória de interesse da embarcação avaliada nas próximas etapas pode ser observada na Figura 23. Ela inicia momentos antes do embarque do práctico no seu ponto de espera definido pela Carta Náutica do porto (DHN, 2017). Então, o navio procede ao longo do canal de acesso sem assistência de rebocadores até as proximidades do porto externo. Nessa região, a embarcação manobra com o auxílio de dois navios rebocadores na bacia de evolução, finalizando com a sua atracação no PGL 3B onde ela será descarregada. O processo reverso também será avaliado, em razão da partida do navio.



Figura 24 – Rota de estudo



Fonte: DHN (2017, adaptado pelo autor)

#### 5.1.4 Características climáticas e meteorológicas da região

Os ventos predominantes na região têm direção leste para sudeste (E-SE), mas podem ser encontrados frequentemente ventos na direção nordeste (NE) (DHN, 1993). Enquanto isso, as ondas presentes na área de fundeio são resultantes de forças provenientes dos ventos dominantes, sendo usualmente diretamente ligadas à sua direção e duração, com altura média das ondas costumam variando de 1m e 1,5m (LABTRANS, 2012).

O porto de Suape possui visibilidade considerada de boa a excelente, entretanto ela pode ser reduzida consideravelmente nos períodos de chuvas, em que chuviscos fortes podem reduzir a visibilidade para menos de 500 metros (LOBO; SOARES, 2007). O período de chuvas da região apresenta sua maior concentração nos meses de março a junho, dado como o inverno da região, atingindo precipitação máxima de aproximadamente 390mm/mês em junho.

A costa pernambucana apresenta um regime de marés semi-diurno (i.e., apresentam duas preamares e duas baixa-mares a cada dia). As variações médias das marés em sizígia e quadratura são de 2,04 metros e 0,91 metros, respectivamente (CHM, 2018).



## 5.2 Identificação e consolidação de cenários de risco

Esta etapa de identificação e consolidação dos cenários de risco é realizada utilizando-se a metodologia da APR mencionada na seção 4.2. A aplicação desta análise foi capaz de enumerar 37 CAs espalhados ao longo da rota estabelecida em chegada e partida no porto.

Os cenários de risco e seus respectivos detalhes (i.e., severidade, frequência e risco) foram preenchidos no modelo de APR definido na Tabela 3, limitando-se à área de estudo mencionada na seção 5.1.1, estando todos eles dispostos nos anexos deste trabalho, agrupados de acordo com o local do possível risco. Dito isso, os cenários categorizados com severidade IV ou superior de chegada (i.e., CA<sub>1</sub> = encalhe com derramamento no canal de acesso; CA<sub>2</sub> = abalroamento com pequenas embarcações no canal de acesso; CA<sub>3</sub> = abalroamento frontal com embarcação no porto externo; CA<sub>4</sub> = naufrágio de navio rebocador durante atracação; CA<sub>5</sub> = colisão com equipamentos no PGL 3B) e de partida (i.e., CA<sub>6</sub> = abalroamento de popa com petroleiro atracado em PGL 3A, CA<sub>7</sub> = abalroamento com pequenas embarcações no canal de acesso}, que não foram classificados como toleráveis de acordo com a definição estabelecida na Tabela 5 e Tabela 6 foram considerados para as próximas etapas da avaliação de riscos, onde será feita estimativas das frequências e consequências com um maior grau de detalhamento.

## 5.3 Consolidação de cenários meteoceanográficos

### 5.3.1 Avaliação preliminar de fatores meteoceanográficos

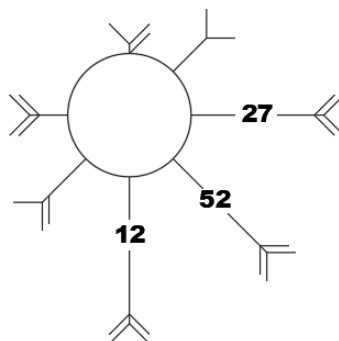
Nessa seção do trabalho serão analisados se os parâmetros meteoceanográficos mencionados possuem significância mínima para aplicação dentro da metodologia de avaliação de riscos proposta. Essa análise preliminar foi realizada segundo os métodos propostos na seção 4.3.2.

- Ventos

Com o Atlas de Cartas Piloto (DHN, 1993) considerando as proximidades da costa de Pernambuco, foi escolhido um mês específico (o documento divide as informações meteoceanográficas em meses), no caso do trabalho foi considerado o mês de julho, por estar compreendido na estação de inverno, e ser este o período que requer maior observação no porto. É válido mencionar que se o critério de vento for negligenciado durante esse mês, deverá ser feita outra análise com o restante dos meses para assegurar o resultado.

A Figura 25 representa a rosa dos ventos da carta piloto na região considerada. Para a análise do trabalho interessa a velocidade média dos ventos, que é representada pela quantidade de traços das bifurcações, baseando-se na Escala Beaufort, a sua interpretação pode ser baseada na Tabela 9.

Figura 25 - Rosa dos ventos da carta piloto



Fonte: DHN (1993, adaptado pelo autor)

Tabela 9 – Interpretação da rosa dos ventos

Direção	Frequência (%)	Força Beaufort	Vvento (nós)
Norte	1	3	7 a 10
Nordeste	4	2	4 a 6
Leste	27	4	11 a 16
Sudeste	52	4	11 a 16
Sul	12	4	11 a 16
Sudoeste	5	3	7 a 10
Oeste	2	4	11 a 16
Noroeste	-	-	-

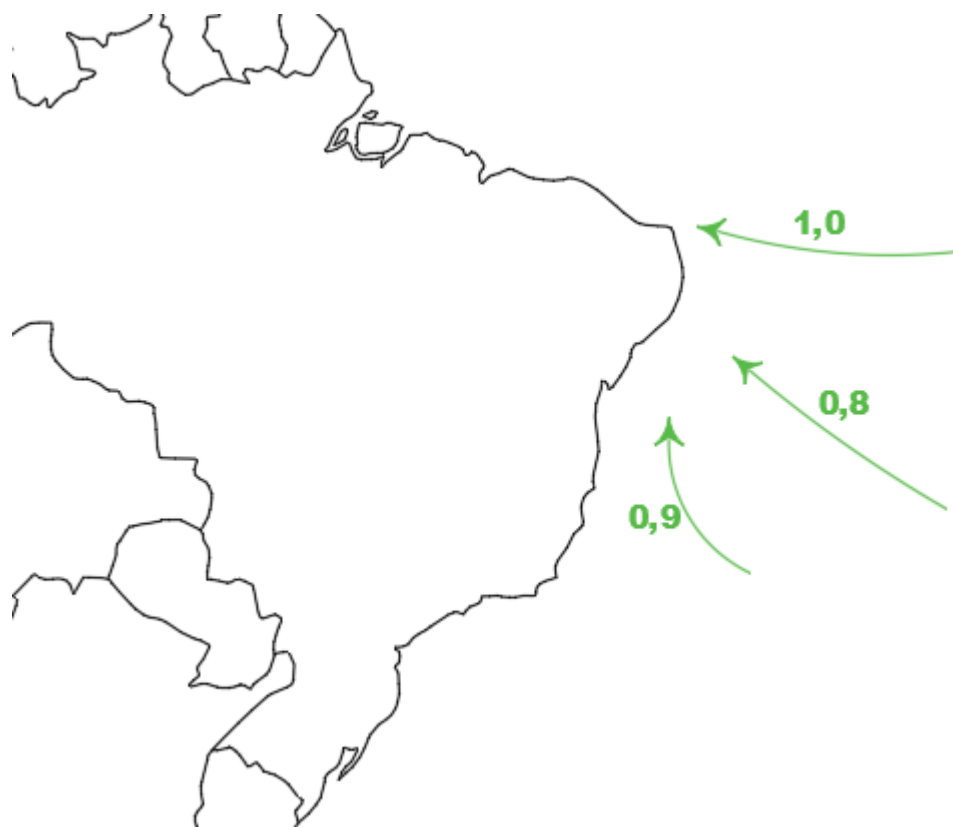
Fonte: O autor

Considerando que o navio Suezmax na condição de lastro apresenta uma área vélica consideravelmente alta (i.e., aproximadamente 4500 m<sup>2</sup>), e que o trecho definido contempla a manobra de atracação e desatracação, em que o navio tem uma velocidade resultante praticamente zero, sendo operado apenas com o auxílio de rebocadores, um nível 4 (i.e., 11 a 16 nós) na escala Beaufort não poderia ser desconsiderado dentro da avaliação de riscos.

- Correntes

Analogamente a análise do efeito dos ventos, o efeito das correntes também foi avaliado com o auxílio do Atlas de Cartas Piloto (DHN, 1993). A Figura 26 faz uma representação dos valores médios de velocidade e direção das correntes, sendo a direção das setas verdes a direção média, e os valores próximos a respectiva velocidade em nós.

Figura 26 – Representação em setas da velocidade e direção das correntes próximas à costa pernambucana



Fonte: DHN (1993, adaptado pelo autor)

Como fora considerado para seção dos ventos, a embarcação pode ficar com velocidade próxima a zero, movimentando-se apenas com o uso de rebocadores em manobra de atracação e desatracação. Assim, os valores de velocidade de corrente médio apresentados na Figura 26 não podem ser desprezados, principalmente considerando o maior efeito de correntes na manobrabilidade comentado na seção 4.3.2.

- Marés

De acordo com os dados de maré do Porto de Suape, é esperado momentos com maré-baixa com valores nulos, sendo assim a UKC para análise levaria em conta apenas a profundidade do trecho considerado. Para manter critérios conservadores será considerada a menor profundidade dentro da trajetória estipulada na seção 5.1.3, que ocorre no canal de acesso com 16,5 metros. Assim, para o Suezmax carregado (i.e., calado = 16 metros) teremos:

$$UKC = 0,5 \text{ m}$$

Com o valor de UKC estipulado verifica-se se a razão entre este com o calado considerado apresenta condições mínimas para negligenciar o efeito das marés

$$\frac{UKC}{T} = 0,03$$

Como pode se observar, os valores da razão da folga abaixo da quilha pelo valor do calado se encontra abaixo dos 20% recomendados na seção 4.3.2, o que indica de forma preliminar que o efeito da maré não poderia ser desconsiderado na metodologia.

- Ondas

O Atlas de Cartas Piloto Internacional trata de alturas de ondas em forma de frequência, baseando-se na ocorrência de ondas superiores a 12 pés (3,65 metros) de altura em uma dada região. Análogo às análises feitas com o Atlas de Cartas Piloto nacional, foi escolhido o mês de julho para verificação das condições de onda.

A carta piloto mostra que a frequência de ondas superiores a 3,65 metros de altura ocorre com uma frequência aproximada de 10% a uma distância de aproximadamente 300 milhas náuticas da costa pernambucana. Apesar desse valor não representar com total fidelidade o que deve ser encontrada nas proximidades do porto, é o bastante para não negligenciar o efeito de ondas, visto que ondas desse nível possuem valor bastante superior ao recomendado na seção 4.3.2, sendo preocupante para eficiência de navios rebocadores.

### 5.3.2 Definição dos cenários meteoceanográficos

A seção 5.3.1 mostrou que avaliando os critérios preliminares para a consolidação dos cenários de risco, nenhum dos fatores meteoceanográficos considerados pode ser negligenciado.

Isso indica que os cenários definidos nesta aplicação no Porto de Suape devem conter uma combinação de todos os fenômenos meteorológicos adotados.

O critério de escolha tentou levar em consideração a mistura de parâmetros para gerar cenários complicados (i.e., com maior dificuldade na manobrabilidade), cenários fortes (i.e., com maior intensidade meteorológica) e cenários frequentes (i.e., mais comuns de serem encontrados no porto), desde que estes representem as práticas no porto. Por exemplo, apesar de ventos com velocidade de 30 nós não serem inusitados no Porto de Suape, a autoridade portuária emite sinais de impraticabilidade para ventos acima de 20 nós para navios Suezmax, o que descarta a necessidade de abordar esse tipo de situação na presente ARM.

O trabalho definiu 5 cenários meteorológicos para a avaliação dos riscos, em que alguns destes serão considerados apenas após entrada no porto externo (i.e., CM<sub>1</sub>, CM<sub>2</sub>, CM<sub>3</sub>), enquanto outros na parte exterior ao porto (i.e., CM<sub>1</sub>, CM<sub>2</sub>, CM<sub>3</sub>, CM<sub>4</sub>, CM<sub>5</sub>). Essa divisão é feita devido ao fato de que: correntes oceânicas perto da costa são mais heterogêneas, em que o fluxo de água resultante é um produto de diversos tipos de correntes (e.g., correntes induzidas pelo vento, correntes de maré, e correntes de retorno); e ondas também devem ser bastante diferentes ao levar em conta o molhe de proteção instalado no porto entre o ponto de início e fim da manobra, que resulta em efeitos severamente reduzidos para ondas vindas da direção leste a sudeste dentro do porto. Os cenários adotados são detalhados na Tabela 10.

Tabela 10 – Cenários meteorológicos

		CM <sub>1</sub>	CM <sub>2</sub>	CM <sub>3</sub>	CM <sub>4</sub>	CM <sub>5</sub>
Ventos	Direção	N - L ou S - L	N - L	S - O	S - L	S - L
	Vel. (kn)	7 - 16	11 - 27	< 6	7 - 16	11 - 21
Corrente	Direção	S - L ou O - N	S - L	O - N	S - L	N - O
	Vel. (kn)	< 0,4	0,4 - 0,8	> 0,3	0,2 - 0,5	> 0,3
Maré	Classe	Sizígia	Quadratura	Sizígia	Quadratura	Sizígia
	Tipo	Preamar	Baixa-mar	Baixa-mar	Preamar	Baixa-mar
Onda	Direção	N-L ou S - L	N - L	N - L	S - L	S - L
	Altura (m)	< 2,6	< 2,2	< 1,8	1,4 - 2,2	> 2,2
	Período (s)	6 - 9	> 7	< 8	6 - 7	> 8

Fonte: O autor

## 5.4 Estimativa de frequência

### 5.4.1 Frequência meteoceanográfica

O registro dos dados meteoceanográficos no Porto de Suape abrange um período de 14 meses, de setembro de 2016 a novembro de 2017. O processamento dos dados meteoceanográficos foi realizado com suporte no estudo realizado por Galvão et al., (2018), neste trabalho os dados utilizados foram aplicados de forma a desenvolver gráficos e análises pertinentes ao objetivo do estudo em questão.

Uma estação meteorológica com capacidade de leitura de dados de vento e nível do mar posicionado em um píer no Porto de Suape com latitude  $08^{\circ}23'36,78''S$  e longitude  $34^{\circ}57'33,10''O$  gerou os dados utilizados no trabalho durante os seus primeiros 14 meses de séries temporais (GALVÃO et al., 2018). A variação do nível do mar foi feita a partir de um sensor marégrafo do tipo radar *WaterLOG*, enquanto que os dados de velocidade e direção do vento foram capturados por uma torre telescópica de 9 m de altura, onde no topo encontra-se instalado um anemômetro.

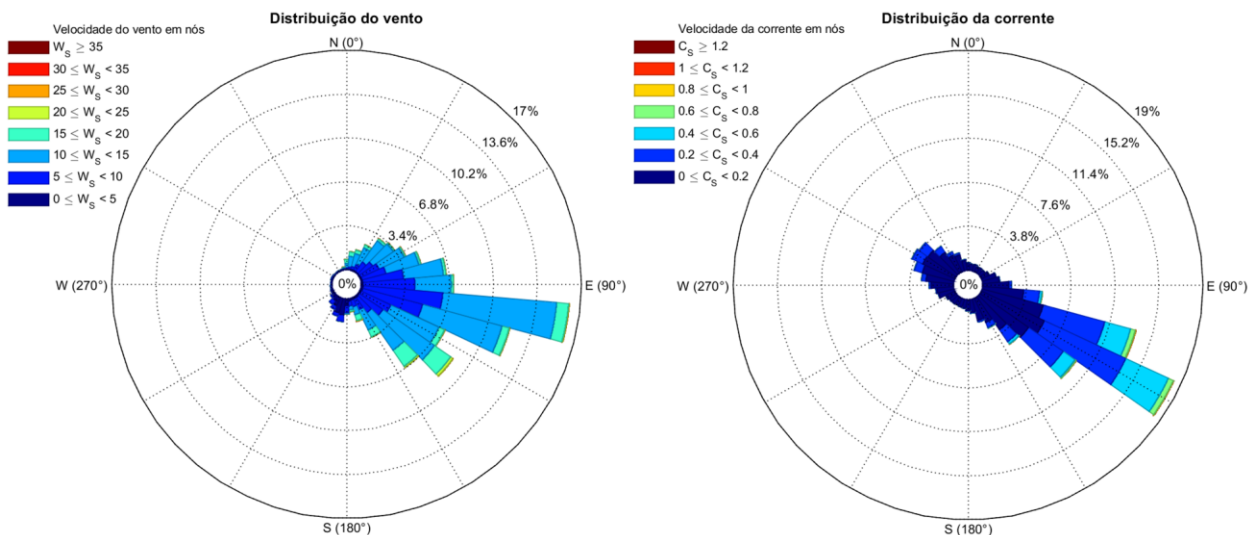
Posicionado em  $08^{\circ}23'42'' S$  e  $34^{\circ}56'12'' O$ , a 17 metros de profundidade também esteve instalado um ondógrafo do tipo *Waverider SG* não direcional, responsável pela medição e registro da movimentação da superfície do mar, gerando os dados altura e período de ondas. (GALVÃO et al., 2018).

A direção de ondas foi considerada no arquivo ERA-Interim, uma reanálise da atmosfera global que aborda dados desde 1979, sendo continuamente atualizada (BERRISFORD et al., 2009). Foram aproveitados os parâmetros de altura, período de pico e direção de ondas, que foram comparados com os coletados pelo ondógrafo para assegurar fidelidade de dados.

Os dados analisados compreendem um período de 14 meses, localizados de setembro de 2016 a novembro de 2017. A seguir são apresentados os dados finais na forma de gráficos e tabelas para maior entendimento acerca das condições meteoceanográficas.

A Figura 27 mostra o gráfico de rosa de ventos para os dados de ventos e correntes processados nos 14 meses da direita para esquerda, respectivamente.

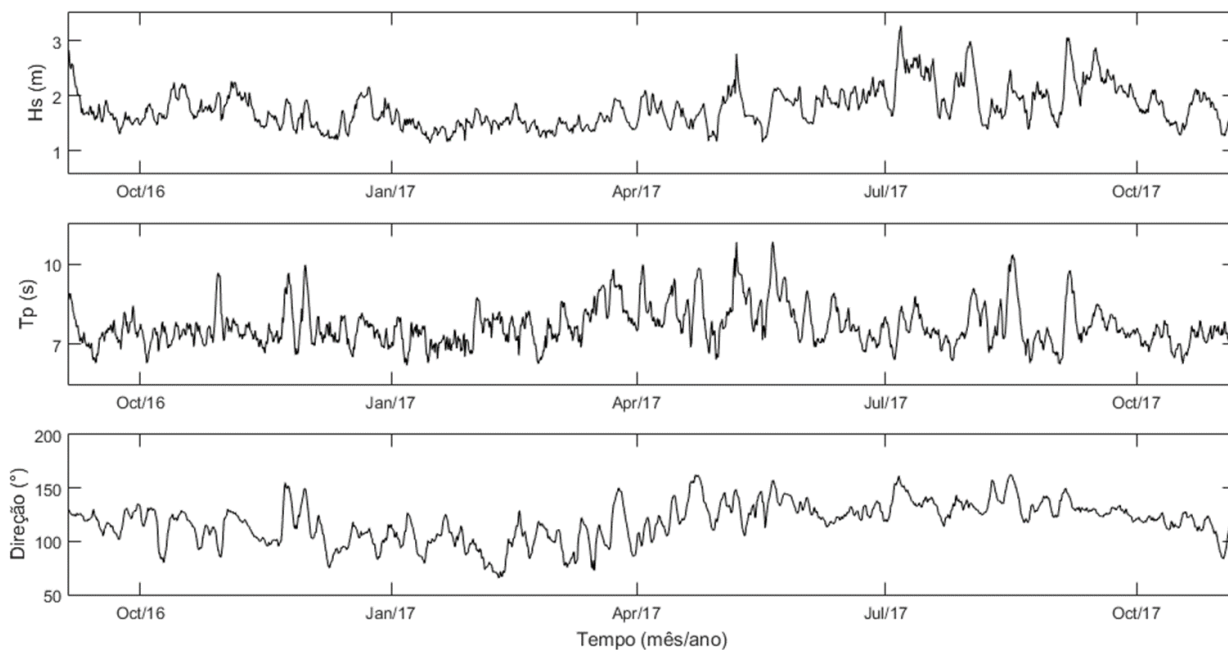
Figura 27 - Distribuição de direção e velocidade do vento durante monitoramento em diagrama de rosa de ventos



Fonte: O autor

A Figura 28 apresenta os valores de altura, período, e direção de onda no período de 14 meses de coleta de dados, enquanto que a Figura 28 exibe os valores de direção de onda ligado a altura da onda nesse mesmo espaço de tempo.

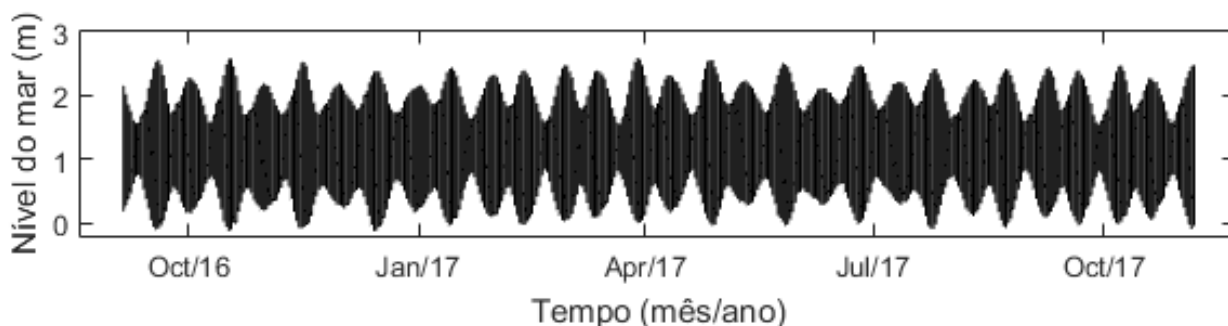
Figura 28 – Variação da altura e período de pico de ondas durante monitoramento



Fonte: O autor

A Figura 29 aponta os valores de variação do nível de mar registrados.

Figura 29 – Variação do nível do mar durante o monitoramento



Fonte: O autor

A frequência dos parâmetros meteoceanográficos estabelecidos foi utilizada para cálculo das frequências dos CMs, e é explicitada em maiores detalhes no apêndice deste trabalho.

#### 5.4.2 Frequência de acidentes

Dada a indisponibilidade de simuladores de manobras para o presente estudo, a frequência de categorias de acidentes foi estimada a partir da opinião de profissionais especializados (i.e., oficial de náutica com seis anos de experiência em navegação, e um pesquisador e PhD em engenharia, especialista na teoria de manobrabilidade em águas rasas e restritas) em conjunto com trabalhos prévios na área de frequência de acidentes marítimos. Estudos de análise de dados históricos (IMO, 2008b), revisão de modelos de avaliação de risco quantitativa em canais marinhos (LI; MENG; QU, 2012) e FTA (MARTINS; MATURANA, 2010) foram levados em consideração, preferindo sempre informações focadas em navios petroleiros, para obter dados com melhor aplicabilidade na presente ARM.

A aplicação desta etapa em conjunto com o procedimento da seção 5.4.1 resultou em uma série de estimativa de frequências relevantes para cada CA  $i$  em um dado CM  $j$   $\{F(CA_{12}) = E-04; F(CA_{13}) = E-05; F(CA_{15}) = E-03; F(CA_{22}) = E-05; F(CA_{24}) = E-05; F(CA_{25}) = E-04; F(CA_{31}) = E-05; F(CA_{32}) = E-04; (CA_{33}) = E-05; F(CA_{42}) = E-05; F(CA_{51}) = E-04; F(CA_{52}) = E-04; F(CA_{61}) = E-04; F(CA_{62}) = E-04; F(CA_{71}) = E-04; F(CA_{72}) = E-04; F(CA_{73}) = E-05; F(CA_{74}) = E-05; F(CA_{75}) = E-04\}$ .

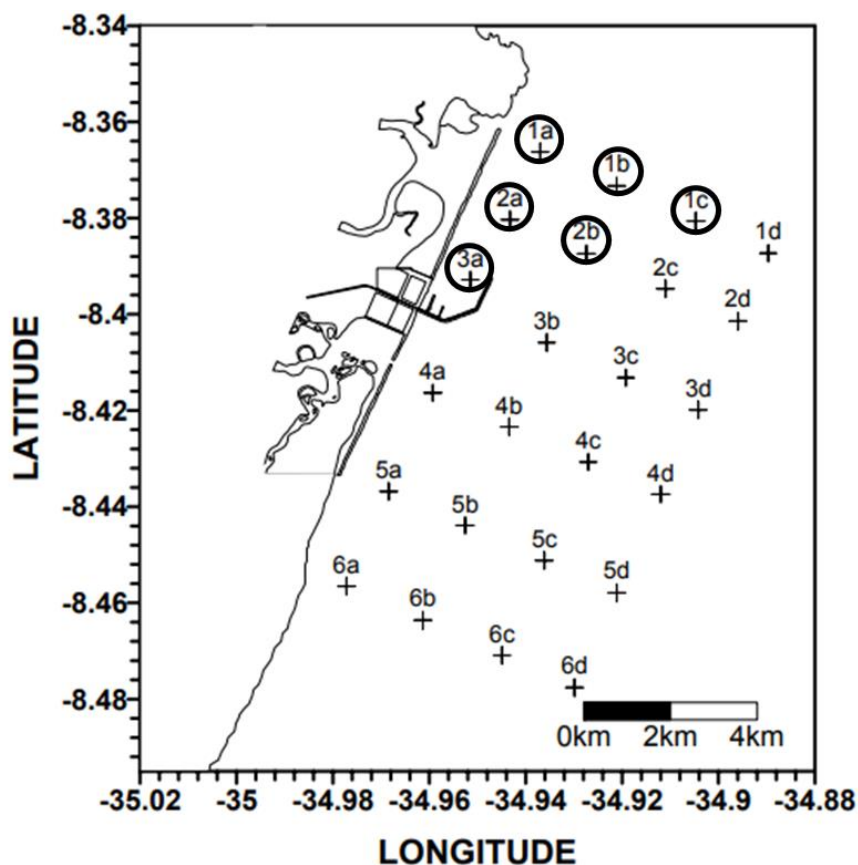


## 5.5 Estimativa das consequências

A estimativa do impacto ambiental dos acidentes geradores de derramamento de óleo associada às condições meteoceanográficas é refinada nessa etapa com o auxílio de um estudo que utiliza modelos de transporte e destino para simular a dispersão de uma pluma de óleo na região costeira do Porto de Suape após um derramamento de óleo acidental. Para maiores detalhes de como o Modelo Oceânico de Princeton (POM) foi utilizado para conduzir a aplicação, os leitores são referenciados a (ARAUJO et al., 2005; DUARTE, 2014; DUARTE et al., 2013; SILVA, 2004).

Figura 30 apresenta os 24 pontos de derramamento de óleo avaliados pelo estudo (ARAUJO et al., 2015; DUARTE, 2014; DUARTE et al., 2013; SILVA, 2004), em que os pontos circulados (i.e., 1<sup>a</sup>, 1b, 1c, 2a, 2b, e 3a) representam as áreas de interesse para o ARM, dada a trajetória definida anteriormente.

Figura 30 – Pontos de derramamento de óleo de interesse ao estudo

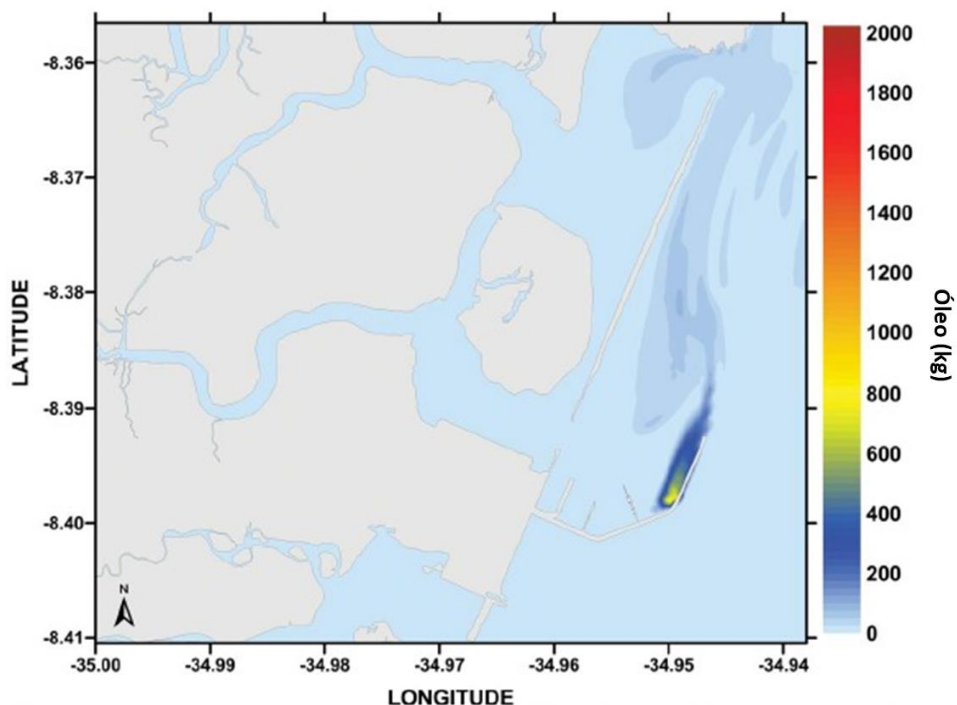


Fonte: Duarte et al., (2013, adaptado pelo autor)

Quando refinamos as consequências ambientais é preciso reconhecer que a costa pernambucana possui um ambiente extremamente rico ecologicamente, constituído por variados ecossistemas (e.g, estuários, recifes de corais, mangues) (DUARTE, 2014; DUARTE et al., 2013), e grandes volumes de óleo podem causar um impacto significativo no meio. Existem duas importantes áreas ambientais que, em um caso de alcance da pluma de óleo, devem ser consideradas como catastróficas, elas são: APA de Serrambi (20 km ao sul do Porto de Suape) e da Costa dos Corais (50 km sul do Porto de Suape) (CPRH, 2017).

Baseado em tais estudos (ARAUJO et al., 2005; DUARTE, 2014; DUARTE et al., 2013; SILVA, 2004), nenhum dos derramamentos de óleo apresentaram grande perigo para APAs na vizinhança do porto mencionadas. Acontece que a pluma de óleo tende a se dispersar com sentido ao norte. Entretanto, para alguns CAs a dispersão de poluentes se mostrou bastante capaz de expandir para ilhas e praias ao norte do porto, afetando populações de peixes e atividades humanas drasticamente. CAs que apresentam esta situação foram ajustados para a maior categoria de severidade V, eles são: CA<sub>12</sub>, CA<sub>13</sub>, CA<sub>31</sub>, CA<sub>32</sub>, CA<sub>33</sub>. A Figura 31 apresenta o modelamento da dispersão da pluma de óleo proveniente do derramamento acidental de óleo no ponto 3a após 19 horas em condições de inverno e maré de sizígia. Fica claro que mesmo dentro das propriedades do porto, caso não existam formas rápidas de mitigação da dispersão de poluentes seu efeito pode atingir regiões próximas com efeito considerável

Figura 31 – Dispersão da pluma de óleo nas condições de Inverno/sizígia após 19h no ponto 3a



Fonte: Duarte et al., (2013)

## 5.6 Avaliação de riscos

A etapa final da ARM classifica os riscos dos CAs de acordo com a Tabela 8, que resulta em uma série de CAs com o risco  $R(CA_{ij})$  devidamente categorizado. A Tabela 11 sumariza os resultados obtidos, em que as colunas representam os CAs incondicionais definidos na seção 5.2, e as linhas os CMs ilustrados na Tabela 10. O resultado da combinação de cada um deles faz referência a classificação do respectivo  $CA_{ij}$ .

Tabela 11 – Cenários acidentais com risco classificados em paralelo às condições meteoceanográficas

	CA <sub>1</sub>	CA <sub>2</sub>	CA <sub>3</sub>	CA <sub>4</sub>	CA <sub>5</sub>	CA <sub>6</sub>	CA <sub>7</sub>
CM <sub>1</sub>	-	-	M	T	M	M	M
CM <sub>2</sub>	T	T	M	T	M	M	M
CM <sub>3</sub>	M	-	M	-	-	-	T
CM <sub>4</sub>	-	T	-	-	-	-	T
CM <sub>5</sub>	M	T	-	-	-	-	M

Fonte: O autor

A tolerabilidade do risco definida é comunicada à gestão de riscos para investigação profunda na necessidade de implementação de medidas de controle de risco. Os resultados adquiridos são uteis para tomada de decisão em diversos aspectos (e.g., planejamento de rota, treinamento em simuladores de manobras, pontos de perigo, práticas de segurança).

## 6 CONCLUSÃO

Esse trabalho propôs uma metodologia de ARM em portos devido a condições meteoceanográficas, validando a sua aplicação através de um estudo de caso no Porto de Suape. Esta seção pretende cobrir pensamentos e críticas de aspectos como infraestrutura e arranjo do porto, principais condições meteoceanográficas e medidas de controle de risco em luz aos resultados adquiridos.

O trabalho resultou em APRs (Apêndice A) que fornecem informação útil para gestão dos riscos de todos 37 cenários de risco identificados na entrada e saída do navio Suezmax no Porto de Suape. Os práticos e autoridade portuária do Porto de Suape podem usar estes documentos para reconhecer as principais fontes de risco, levando em conta não só os cenários de risco médio, mas também os cenários de risco tolerável, de forma que todos os riscos sejam de conhecimento das partes interessadas. As APRs fornecem uma base importante para auxílio de tomada de decisão de práticos e criação de medidas de controle de risco.

O molhe de proteção do Porto de Suape possui posicionamento bastante satisfatório, dado que as direções mais comuns de ondas (i.e., 91%) e ventos (i.e., 62%) ocorre vindo de sul ao leste (S – L) com direção média de  $118^\circ$  e  $122^\circ$  respectivamente, abrigando embarcações dentro do porto com bons resultados de mitigação. Entretanto, ondas vindas de norte ao leste (N – L) não são incomuns, com ondas maiores de 1 metro representando quase 10% das ondas fora do porto, e essas ondas não são mitigadas de nenhuma forma, o que pode se tornar preocupante para práticos dependendo de sua magnitude.

Profundidades no Porto de Suape são satisfatórias na manobrabilidade e atracação para maioria de embarcações de médio porte, entretanto navios com calado mais significativo (e.g., Suezmax = 16 m) podem encontrar valores muito pequenos de UKC, em que a combinação de maré baixas com ondas de grandes alturas podem induzir a acidentes de encalhe ou efeitos de águas rasas indesejados. Isso é verdade especialmente quando se observa que, durante baixa-mar de sizígia, a maré no Porto de Suape é praticamente zero, o que resultaria em  $UKC = 0,5$  m em certos pontos do canal de acesso para o Suezmax, explicando um dos motivos da autoridade portuária não permitir passagem de Suezmax e outros navios de grande porte em marés muito baixas, pois apesar da passagem ser teoricamente possível, na prática poderá ocorrer encalhes devido ao efeito squat e

balanço do navio com as ondas. Por isso, uma UKC de 0,5 m é considerada extremamente pequena. Adicionando também o fato que ondas acima de 2 metros fora do porto apresentam mais que 23% dos dados monitorados, acidentes de encalhe não devem ser descartados.

Correntes registradas no interior do porto não apresentam grande perigo ao práctico, com velocidade menor do que 0,5 nós cobrindo mais de 95% de toda amostragem. Entretanto, as suas principais direções (i.e., S – E (média de 122°), e O – N (média de 306°)) podem resultar em correntes de través em determinados trechos (e.g., canal de acesso), e aliado ao fato de em portos embarcações experimentarem valores de UKC baixíssimos, a força da corrente pode alcançar proporções inesperadas, até 5 vezes maior que em mar aberto. No entanto a combinação de velocidade de corrente com sua direção não foi explorada com grande detalhamento no trabalho, sendo recomendado estudar as medidas mais comuns que prácticos utilizam em situações (e.g., kick-ahead, uso de único de leme) para estimar a sua dificuldade e frequência do risco, sendo uma limitação do trabalho dado que através de comunicação direta com práctico do Porto de Suape essa é uma das preocupações mais importantes durante manobra.

A ARM não categorizou nenhum dos riscos como não-tolerável, o que indica que as práticas realizadas pelo Porto de Suape são adequadas na maioria dos casos em relação à mitigação de riscos. Entretanto, riscos médios também devem ser objetos de uma análise mais aprofundada, cenários acidentais  $CA_{ij}$  que intuitivamente de destacam do resto são  $CA_{13}$  (i.e., encalhe no canal de acesso durante chegada em  $CM_3$ ),  $CA_{15}$  (encalhe no canal de acesso durante chegada em  $CM_5$ ),  $CA_{72}$  (colisão com pequenas embarcações no canal de acesso durante partida em  $CM_2$ ), e  $CA_{75}$  (i.e., colisão com pequenas embarcação no canal de acesso durante partida em  $CM_5$ ) (Cenários meteocanográficos detalhados na Tabela 10.

O  $CA_{13}$  (i.e., encalhe no canal de acesso durante chegada em  $CM_3$ ) e  $CA_{15}$  (i.e., encalhe no canal de acesso durante chegada em  $CM_5$ ) possuem alguns motivos: a embarcação navega com maior velocidade nos canais de acesso do que durante as manobras de atracação, o que gera um aumento no efeito squat (i.e., redução da UKC devido ao movimento a vante do navio) resultante; e é possível que hajam imperceptíveis transportes de sedimentos (e.g., areia e lama) que modifiquem a profundidade de diferentes trechos do porto, como o canal de acesso, caso não haja monitoração contínua. Entretanto, as consequência desse CAs não se mostraram muito severas dado que: navios petroleiros (e.g., Suezmax) são padronizados com estrutura de casco duplo

(MARPOL, 1973), reduzindo a possibilidade de derramamentos provenientes de encalhes; e os sedimentos do fundo do Porto de Suape são formados de areia e lama (SUAPE, 2016), que não apresentam grande ameaça no quesito de rompimento do casco e vazamento de carga em um potencial encalhe.

Os CA<sub>72</sub> (i.e., colisão com pequenas embarcações no canal de acesso durante partida em CM<sub>2</sub>) e CA<sub>75</sub> (i.e., colisão com pequenas embarcações no canal de acesso durante partida em CM<sub>2</sub>), apesar de ser ambientalmente mais segura, devido ao descarregamento da carga, resulta em uma maior área vélica na embarcação, que combinado com comprometimento na visibilidade, e a falta de Sistema de Identificação Automática (AIS) (i.e., sistema de rastreamento que transmite o posicionamento de embarcações próximas através de Frequências Muito Altas (VHF)) em diversas pequenas embarcação na circunvizinhança podem apresentar um risco a se considerar. Mas através de comunicação pessoal com um prático do Porto de Suape, foi reconhecido que a autoridade portuária declara impraticabilidade para ventos acima de 20 nós para Suezmax, o que diminui consideravelmente o risco desse CA, porém não o negligencia.

O foco do trabalho é em avaliação de riscos, sem abordar a parte de gestão de riscos em si. Medidas de controle de risco são preferivelmente avaliadas por um estudo aprofundado realizado pela equipe de gestão de risco, mas algumas ideias incluem: uso obrigatório combinado de AIS e refletor-radar em pequenas embarcações para evitar a não-detecção de navios; comunicação contínua de condições de tempo e visibilidade para planejamento seguro de rotas e ultrapassagens; utilização de rebocadores de escolta, que são capazes de providenciar assistência no canal de acesso quando ondas e correntes comprometem a manobrabilidade; e agendar movimentação de embarcações de acordo com previsões de ondas e marés para evitar quaisquer efeitos de águas rasas.

Os CMs identificados também devem ser objeto de grande interesse para simuladores de manobras, com o objetivo de minimizar o erro humano nos acidentes, reduzindo assim a frequência proveniente deste fator. No caso do Porto de Suape, CM<sub>2</sub> (i.e., vento vindo de direção N – L de 11 a 21 nós; corrente com direção S – E entre 0,4 e 0,8 nós; maré baixa de quadratura; ondas vindo de direção N – L, altura menor que 2,2 metros e período maior que 7 segundos) e CM<sub>5</sub> (i.e., vento vindo de direção S – L de 11 a 21 nós; corrente com direção O – N maior que 0,3 nós; maré baixa de sizígia; ondas vindo de direção S - E, altura maior que 2,2 metros e período maior que 8

segundos) foram os mais desfavoráveis cenários estipulados para maioria das manobras, o que indica que estas condições devem ser treinadas por práticos antecipadamente em simuladores para diminuir o fator surpresa destes potenciais cenários. Sugere-se que simulações não sejam realizadas apenas sob condições de operações usuais, mas também em condições de falhas mecânicas (e.g., perda de um motor, mau funcionamento do propulsor, mecanismo de manobra com resposta comprometida) para praticar como evitar acidentes em condições extremamente desfavoráveis.

## **6.1 Trabalhos futuros**

Com base nos resultados obtidos ao longo da elaboração deste estudo, seguem recomendações para trabalhos futuros.

- Estruturação de metodologia de estimativa de frequências de acidentes a partir de RB em conjunto com opinião de especialistas da área (e.g., práticos) aliado a simuladores de manobras.
- Envolver práticos e autoridades portuárias em todas etapas da metodologia para assegurar que o problema proposto representa a realidade e contempla práticas usuais do porto.
- Utilizar uma maior quantidade de instrumentos de medição e monitoramento de condições meteoceanográficas em diferentes partes do porto (e.g., canal de acesso, porto externo, porto interno) em um maior período, para amenizar fatores de interação geográfica e sazonalidade nas medidas, respectivamente.
- Estudar com maior detalhamento o efeito conjunto dos efeitos meteoceanográficos, ao invés do efeito de cada aspecto separadamente na manobrabilidade, para gerar resultados mais aprofundados.



## BIBLIOGRAFIA

- ABNT. ABNT NBR ISO 31000 Gestão de Riscos - Princípios e diretrizes .pdf. p. 32, 2009.
- ABS. Guidance notes on risk assessment applications for the marine and offshore oil and gas industries. n. June, p. 1–144, 2000.
- AHRENS, C. D. **Essentials of Meteorology An Invitation to the Atmosphere**. Sixth ed. Belmont: Cengage Learning, 2012.
- AIT. **Densities Chart**. Disponível em: <<https://www.a-i-t.com/cnc-machining-services/densities-chart>>. Acesso em: 20 dez. 2018.
- ARAUJO, M. et al. Tidal Turbulence and Eddy-Viscosity in Coastal Waters at Northeastern Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 211, n. 211, p. 18–27, 2005.
- ARAUJO, M. et al. Tropical Atlantic Contributions to Strong Rainfall Variability Along the Northeast Brazilian Coast. v. 2015, 2015.
- AROUCHA, L. C. et al. Practical aspects of meteorology and oceanography for mariners: A guide for the perplexed. **Cogent Engineering**, n. 1, p. 23, 2018.
- AUGUSTO, C. et al. Seasonal variability of water masses and currents at the eastern Brazilian continental shelf ( 7 . 5 – 9 ° S ). **Regional Studies in Marine Science**, v. 16, p. 131–144, 2017.
- AVEN, T. The risk concept — historical and recent development trends. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 99, n. 951, p. 33–44, 2012.
- AVEN, T. Risk assessment and risk management: review of recent advances on their foundation. **European Journal of Operational Research**, 2015.
- AVEN, T.; ZIO, E. Foundational Issues in Risk Assessment and Risk Management. **Risk Analysis**, v. 34, n. 7, p. 1164–1172, 2014.
- BARBER, J. A. **Naval Shiphandler’s Guide**. First ed. Annapolis: Naval Institute Press, 2005.
- BENNY, D. J. **Maritime Security: Protection of Marinas, Ports, Small watercrafts, Yachts and Ships**. 1st. ed. Boca Raton: CRC Press, 2016.
- BERRISFORD, P. et al. The ERA-Interim Archive. **ERA report series**, 2009.
- BLUMBERG, A. F.; MELLOR, G. L. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. **Three Dimensional Coastal Ocean Models**, v. 4, p. 1–16, 1987.
- BRASIL. Lei N° 9.357, de 11 de Dezembro de 1997. 1997.
- CAMPOS, E. J. D. A modelagem matemática da dispersão de poluentes em regiões costeiras e estuarinas. In: EDUC (Ed.). . **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: [s.n.]. p. 205–217.
- CETESB. **Manual de orientação para elaboração de estudos de análise de riscos**, 2000.
- CHM. **Tabuas de Maré**. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>>. Acesso em: 5 nov. 2018.
- CIA. **The World Factbook**. Disponível em: <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2060.html>>. Acesso em: 12 ago. 2018.
- CNT. **Boletim Estatístico - Maio 2018**. [s.l: s.n.].
- CONAPRA. **Perguntas e respostas sobre a praticagem no Brasil**. Disponível em: <<https://www.praticagemdobrasil.org.br/cartilha-da-praticagem>>. Acesso em: 27 jun. 2018.
- COSTANORTE. **Marinha alerta para mar agitado e possibilidade de ressaca**. Disponível em: <<http://d.costanorte.com.br/geral/21852/marinha-alerta-para-mar-agitado-e-possibilidade-de-ressaca>>. Acesso em: 20 dez. 2018.
- COVELLO, V. T.; MERKHOFFER, M. W. **Risk Assessment Methods: Approaches for assessing health and environmental risks**. 1st. ed. New York: Springer Scienc+Business Media, 1993.

- COX, D. R. **Principles of statistical inference**. New York: Cambridge University Press, 2006.
- CPR18E. **Purple Book - Guidelines for Quantitative risk assessment**. 3. ed. [s.l.: s.n.].
- CPRH. **Projeto de Criação da Área de Proteção Ambiental Marinha Recifes Serrambi**. Recife: [s.n.].
- CRENSHAW, R. S. **Naval Shiphandling**. Second ed. Annapolis: United States Naval Institute, 1960.
- DET NORSKE VERITAS. Marine Risk Assessment. **Offshore Technology Report**, v. 2001/063, p. 1–68, 2001.
- DHN. **Atlas de cartas piloto**, 1993.
- DHN. **Carta Náutica - Porto de Suape**, 2017.
- DPC. NORMAM-09 Normas da Autoridade Marítima para Inquéritos Administrativos sobre Acidentes e Fatos da Navegação. **Marinha do Brasil, Diretoria de Portos e Costas (DPC)**, p. 37, 2003.
- DPC. NORMAM-12 - Normas da Autoridade Marítima para o Serviço de Praticagem. **Marinha do Brasil, Diretoria de Portos e Costas (DPC)**, 2011.
- DPC. Inquéritos Administrativos sobre Acidentes e Fatos da Navegação (IAFNs) - Quadros Estatísticos de IAFNs. p. 1–54, 2018.
- DUARTE, H. et al. Review of practical aspects of shallow water and bank effects. n. December, 2016.
- DUARTE, H. DE O. et al. Quantitative Ecological Risk Assessment of Industrial Accidents: The Case of Oil Ship Transportation in the Coastal Tropical Area of Northeastern Brazil. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 1, 2013.
- DUARTE, H. DE O. et al. An ecological model for quantitative risk assessment for schistosomiasis: The case of a patchy environment in the coastal tropical area of Northeastern Brazil. **Risk Analysis**, v. 34, n. 5, p. 831–846, 2014.
- DUARTE, H. DE O. **Quantitative Ecological Risk Assessment of Industrial Accidents: Overview, methods and application to oil spills**. 1. ed. [s.l.] LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014.
- DUARTE, H. DE O. et al. A novel quantitative ecological and microbial risk assessment methodology: theory and practice. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 0, n. 0, p. 1–24, 2019.
- DUARTE, H. DE O.; DROGUETT, E. A. Análise quantitativa de risco de uma unidade de recuperação de enxofre de uma refinaria de petróleo. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 7, p. 23–38, 2012.
- DUARTE, H. O. **A novel quantitative ecological and microbial risk assessment methodology: theory and applications**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2016.
- DUARTE, H. O.; DROGUETT, E. L. Quantitative ecological risk assessment of accidental oil spills on ship routes nearby a marine national park in Brazil. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 22, n. 2, p. 350–368, 2016.
- ERICSON, C. A. **Hazard Analysis Techniques for System Safety**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.
- EZER, T. Entrainment, diapycnal mixing and transport in three-dimensional bottom gravity current simulations using the Mellor-Yamada turbulence scheme. **Ocean Modelling**, v. 9, n. 2, p. 151–168, 2005.
- GALVÃO, D. B. et al. **Avaliação qualitativa do monitoramento meteoceanográfico do Porto de Suape, litoral sul do estado de Pernambuco**. Anais do XX Congresso Brasileiro de Meteorologia. Anais...Maceió: 2018
- GARRISON, T. **Essentials of oceanography**. Sixth ed. Belmont: Cengage Learning, 2012.
- GASPAROTTI, C. et al. Methods for the risk assessment in maritime transportation in the Black Sea basin METHODS FOR THE RISK ASSESSMENT IN MARITIME. n. January, 2012.
- GAZETAONLINE. **Marinha alerta para ondas de até 4 metros e ventos de 75 km/h no ES**. Disponível em: <<https://www.gazetaonline.com.br/noticias/cidades/2018/10/marinha-alerta-para->

- ondas-de-ate-4-metros-e-ventos-de-75-km-h-no-es-1014153506.html>. Acesso em: 20 dez. 2018.
- GEERLINGS, H. et al. **Ports and Networks: strategies, operations and perspectives**. 1st. ed. Abingdon: Routledge, 2018.
- GLOBO. **Marinha alerta para ressaca e ondas de até 2,5 metros entre o RN e o Maranhão**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2018/11/17/marinha-alerta-para-ressaca-e-ondas-de-ate-25-metros-entre-o-rn-e-o-maranhao.ghtml>>. Acesso em: 20 dez. 2018.
- GMDSS. Global Maritime Distress and Safety System. 1988.
- GOERLANDT, F.; MONTEWKA, J. Maritime transportation risk analysis : Review and analysis in light of some foundational issues. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 138, p. 115–134, 2015.
- GROSS, M. G. **Oceanography: A View of Earth**. Sixth ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1993.
- HENSEN, H. **Tug use in port, a practical guide (2nd edition)**. 2. ed. London: The Nautical Institute, 2003.
- HOFER, T. Tankships in the marine environment - Part II - Environmental and health effects resulting from marine bulk liquid transport. **Environmental Science & Pollution Research**, 1998.
- HOUSE, D. J. **Ship Handling Theory and Practice**. First ed. Oxford: Elsevier Ltd, 2007.
- IMO. **Formal Safety Assessment FSA - Liquefied Natural Gas (LNG) Carriers****The International Journal of Marine and Coastal Law**London, 2007a.
- IMO. **Formal Safety Assessment FSA - Container Vessels**London: **International Maritime Organization, Document No.: MSC83/INF.8, July 3**.London, 2007b.
- IMO. Code of International Standards and Recommended Practices for a Safety Investigation into a Marine Casualty or Marine Incident (Casualty Investigation Code). **International Maritime Organization (IMO)**, v. 255, p. 1–24, 2008a.
- IMO. Formal Safety Assessment FSA - Crude Oil Tankers. **Marine Environment Protection Committee, Mepc 58/Inf.2**, v. 3, n. 3, p. 235–245, 2008b.
- IMO. **Formal Safety Assessment FSA - Cruise Ships**London: **International Maritime Organization, Document No.: MSC85/INF.2, July 21**.London, 2008c.
- IMO. **Formal Safety Assessment FSA - RoPax Ships**.London: **International Maritime Organization, Document No.: MSC85/INF.3, July 21**.London, 2008d.
- IMO. Guidelines for Formal Safety Assessment for use in the IMO rule-making process. v. 44, n. 0, 2013.
- IMO. **International Maritime Organization**. Disponível em: <<https://www.imo.org>>.
- ISO. ISO Guide 73 Risk Management—Vocabulary. **International Standards Organization**, 2009a.
- ISO. ISO/IEC 31010:2009 Risk management - Risk assessment techniques. **International Standards Organization**, p. 92, 2009b.
- ISPS CODE. **International Ship and Port Facility Security Code**. [s.l: s.n.].
- JOHN, A. et al. A risk assessment approach to improve the resilience of a seaport system using Bayesian networks. **Ocean Engineering**, v. 111, p. 136–147, 2016.
- LABTRANS. **Plano Mestre: Porto de Suape****Pesquisa e Estudos para Logística Portuária e Desenvolvimento de Instrumentos de Apoio ao Planejamento Portuário**, 2012.
- LEWIS, E. V. **The Principles of Naval Architecture Series Motions in Waves and Controllability**. Third ed. Jersey City: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1989. v. III
- LI, S.; MENG, Q.; QU, X. An Overview of Maritime Waterway Quantitative Risk Assessment Models. v. 32, n. 3, p. 496–512, 2012.
- LIGTERINGEN, H. **Ports and Terminals**. 2nd. ed. Delft: Delft Academic Press, 2017.
- LOBO, P. R. V.; SOARES, C. A. **Meteorologia e Oceanografia: Usuário Navegante**. 2. ed. Rio de

- Janeiro: DHN, 2007.
- LUO, M.; SHIN, S. Half-century research developments in maritime accidents: Future directions. **Accident Analysis and Prevention**, 2016.
- MACELREVEY, D. H.; MACELREVEY, D. E. **Shiphandling for the Mariner**. Fourth ed. Centreville: Cornell Maritime Press, 2004.
- MARPOL. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships. 1973.
- MARTINS, M. R.; MATURANA, M. C. Human error contribution in collision and grounding of oil tankers. **Risk Analysis**, v. 30, n. 4, p. 674–698, 2010.
- MOLLAND, A.; TURNOCK, S. **Marine Rudders and Control Surfaces - Principles, Data, Design and Applications**. First ed. Oxford: Elsevier Ltd, 2007.
- MOUSAVI, M. Risk Assessment in the Maritime Industry. v. 7, n. 1, p. 1377–1381, 2017.
- NEVES, D. R. et al. Aplicação ao Porto de Sines ( Portugal ) de uma nova Metodologia de Avaliação do Risco para a Navegação Portuária utilizando o Sistema de Informação Geográfica Guiomar \* Application to the Port of Sines ( Portugal ) of a new Tool for Risk Assessment in Po. **Journal of Integrated Coastal Zone Management/ Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 10, n. 4, p. 483–504, 2010.
- OLAUSON, J. ERA5: The new champion of wind power modelling? **Renewable energy**, p. 322–331, 2018.
- ORLANDI, L.; BROOKS, B.; BOWLES, M. **The development of a shiphandling assessment tool (SAT): a methodology and an integrated approach to assess manoeuvring expertise in a full mission bridge simulator**. IAMU AGA 15 Looking Ahead Innovation in Maritime Education, Training and Research. **Anais...2014**
- PARKER, W. S. Reanalyses and Observations: What's the Difference? **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 97, n. 9, p. 1565–1572, 2016.
- PETROBRAS. **Informações portuárias**. Ipojuca: [s.n.].
- PETROBRAS. **N-2782 Técnicas aplicáveis à análise de riscos industriais**. [s.l: s.n.].
- PINDER, D.; SLACK, B. **Shipping and Ports in the Twenty-first Century**. 1st. ed. London: Routledge, 2004.
- POMPERMAYER, F.; CAMPOS NETO, C. Á. DA S. C.; DE PAULA, J. M. P. **Hidroviás no Brasil: Perspectiva histórica, custos e institucionalidade**Rio de Janeiro, 2014.
- PULA, C. M. **Do serviço de praticagem no Brasil**. Disponível em: <[http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n\\_link=revista\\_artigos\\_leitura&artigo\\_id=8527](http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=8527)>. Acesso em: 27 jun. 2018.
- PURDY, G. ISO 31000:2009 - Setting a new standard for risk management: Perspective. **Risk Analysis**, v. 30, n. 6, p. 881–886, 2010.
- RAMOS, M. et al. Comparison of Possible Consequences of LNG Leakages in Offshore and Onshore Terminals : the Case of the Port of Suape. n. January 2015, 2014.
- RINA. Significant Ships of 2008. **The Royal Institution of Naval Architects**, p. 104, 2009.
- ROWE, R. W. **The Shiphandler's Guide for Masters and Navigating Officers, Pilots and Tug Masters**. Second ed. London: The Nautical Institute, 2000.
- SANTOS, M. G. F. DOS. Análise De Acidentes Com Embarcações Em Águas Sob Jurisdição Brasileira – Uma Abordagem Preventiva. p. 232, 2013.
- SILVA, M. A. **Modelagem matemática da circulação e da dispersão de poluentes na região costeira do Porto de Suape - PE, Brasil**. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2004.
- SOLAS. International conference on safety of life at sea. 1974.
- STCW. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers. 1978.

- STOPFORD, M. **Maritime Economics**. 3rd. ed. Abin: Routledge, 2009.
- SUAPE. **Regulamento de Exploração do Porto de Suape**Ipojuca, 2016.
- SUAPE. **Guia Portuário**. Disponível em: <<http://www.suape.pe.gov.br/pt/porto/infraestrutura-portuaria/guia-portuario>>. Acesso em: 20 dez. 2018a.
- SUAPE. **Relatório de Sustentabilidade**. Ipojuca: [s.n.].
- SVERDRUP, K. A.; DUXBURY, A. B.; DUXBURY, A. C. **Fundamentals of Oceanography**. Fifth ed. New York: McGraw-Hill, 2006.
- TANNURI, E. A. et al. **Modular Mathematical Model for a Low-Speed Maneuvering Simulator**. Proceedings of the 33th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2014. **Anais...**2014
- TIERNEY, C. C.; KANTHA, L. H.; BORN, G. H. Shallow and deep water global ocean tides from altimetry and numerical modeling. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 105, n. C5, p. 11259–11277, 2002.
- TRUJILLO, A.; THURMAN, H. V. **Essentials of Oceanography**. Twelfth ed. Bonston: Pearson, 2017.
- UNCTAD. **Review of maritime transport 2017**, 2017.
- VOLKER, B. **Practical Ship Hydrodynamics**. First ed. Woburn: Elsevier Ltd, 2000.
- WALKER, T. R. et al. Environmental Effects of Marine Transportation. In: **World Seas: an Environmental Evaluation**. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 505–530.
- YELLMAN, T. W. The Event : An Underexamined Risk Concept. **Risk Analysis**, 2015.
- ZAOJIAN, Z. **Ship Manoeuvring and Seakeeping - Lecture Notes**. Shangai: Shangai Jiao Tong University, 2006.
- ZHANG, J. et al. Maritime Transportation Risk Assessment of Tianjin Port ^ . 2016.

## APÊNDICE A – PLANILHAS DE ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO (CENÁRIOS INCONDICIONAIS)

Análise Preliminar de Riscos em Portos							
Unidade: Porto de Suape			Embarcação: Suezmax (carregado)			Analista: --	
Trecho: Embarque do práctico			Carga principal: Petróleo bruto			Data: --/--/--	
Nº	Cat.	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Freq.	Sev.	Risco	Obs.
1	Abalroação	Abalroamento com a lancha do práctico durante a aproximação	Lesões leves ao práctico ou tripulação da lancha; danos leves a estrutura da lancha; danos insignificantes ao meio ambiente	B	II	M	
2	Outros	Queda do práctico da escada de acesso no mar	Lesões graves ao práctico	C	III	M	
3	Outros	Queda do práctico da escada de acesso ao navio na lancha	Fatalidade intramuros ou lesões graves intramuros	A	IV	T	
4	Naufração	Afundamento total ou parcial da lancha do práctico	Lesões graves intramuros; danos insignificantes ao meio ambiente	A	III	T	
5	Naufração	Afundamento total ou parcial da lancha do práctico	Lesões graves intramuros; danos insignificantes ao meio ambiente	B	III	T	

Análise Preliminar de Riscos em Portos							
Unidade: Porto de Suape			Embarcação: Suezmax (carregado)			Analista: --	
Trecho: Canal de acesso			Carga principal: Petróleo bruto			Data: --/--/--	
Nº	Cat.	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Freq.	Sev.	Risco	Obs.
6	Colisão	Colisão com o molhe de proteção do porto durante chegada	Sem lesões, ou no máximo casos de primeiros socorros; danos leves à estrutura do molhe de proteção	E	II	M	

7	Encalhe	Encalhe com derramamento de óleo no canal de acesso do porto externo	Sem lesões a tripulação, ou máximo casos de primeiros socorros; danos leves ao casco da embarcação; danos severos ao meio ambiente com efeitos localizados	B	IV	M	
8	Encalhe	Encalhe sem derramamento de óleo no canal de acesso do porto externo	Sem lesões a tripulação, ou máximo casos de primeiros socorros; danos leves ao fundo do petroleiro; danos insignificantes ao meio ambiente	D	II	T	
9	Abalroação	Leve abalroamento com pequenas embarcações na vizinhança	Lesões graves intramuros; danos leves ao petroleiro; danos leves ao meio ambiente	C	III	M	
10	Abalroação	Forte abalroamento com pequenas embarcações na vizinhança	Fatalidades intramuros; danos leves ao petroleiro; danos leves ao meio ambiente	B	IV	M	
11	Abalroação	Abalroamento frontal com embarcação em sentido contrário no canal	Lesões leves a tripulação do petroleiro; danos catastróficos à estrutura da embarcação, podendo levar à perda do petroleiro; danos severos ao meio ambiente com efeito localizado	A	V	M	Porto de Suape não permite passagem dupla no canal de acesso
12	Abalroação	Abalroamento frontal com embarcação em sentido contrário no canal	Lesões leves a tripulação do petroleiro; danos catastróficos à estrutura da embarcação, podendo levar à perda do petroleiro; danos severos ao meio ambiente com efeito localizado	A	V	M	Porto de Suape não permite passagem dupla no canal de acesso

Análise Preliminar de Riscos em Portos							
Unidade: Porto de Suape			Embarcação: Suezmax (carregado)			Analista: --	
Trecho: Bacia de evolução			Carga principal: Petróleo bruto			Data: --/--/--	
Nº	Cat.	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Freq.	Sev.	Risco	Obs.
13	Abalroação	Abalroamento com embarcação em sentido contrário	Lesões leves; danos severos à estrutura da embarcação; danos severos ao meio ambiente com efeito localizado	B	IV	M	
14	Abalroação	Abalroamento com navio rebocador durante manobra de atracagem	Lesões leves a tripulação do rebocador; danos leves ao petroleiro sem comprometimento da continuidade operacional, danos leves ao rebocador	C	II	T	
15	Encalhe	Encalhe com derramamento próximo às regiões de águas rasas	Sem lesões a tripulação, ou máximo casos de primeiros socorros; danos leves ao fundo do petroleiro; danos insignificantes ao meio ambiente	D	II	T	
16	Encalhe	Encalhe com derramamento próximo às regiões de águas rasas	Sem lesões a tripulação, ou máximo casos de primeiros socorros; danos leves ao casco da embarcação; danos severos ao meio ambiente com efeitos localizados	A	IV	T	
17	Colisão	Colisão com molhe de proteção após perda de controle ao ser ultrapassado por embarcação	Danos leves ao costado da embarcação; danos moderados ao molhe de proteção do porto, danos leves ao casco do petroleiro	B	III	T	
18	Naufrágio	Afundamento total ou parcial de navios rebocadores	Fatalidade intramuros; danos severos ao rebocador; danos leves ao meio ambiente	B	IV	M	



19	Outros	Queda de tripulante ao movimentar-se para fixar cabo de ligação do rebocador	Fatalidade intramuros	A	IV	T	
----	--------	--	-----------------------	---	----	---	--

Análise Preliminar de Riscos em Portos							
Unidade: Porto de Suape			Embarcação: Suezmax (carregado)			Analista: --	
Trecho: PGL 3B			Carga principal: Petróleo bruto			Data: --/--/--	
Nº	Cat.	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Freq.	Sev.	Risco	Obs.
20	Colisão	Colisão com equipamento do PGL 3B durante atracação	Múltiplas fatalidades intramuros para operários do porto; danos severos a equipamentos do porto; danos severos ao meio ambiente com efeito com efeito localizado	B	V	M	
21	Colisão	Colisão com defensas do PGL 3B durante atracação	Sem lesões, ou no máximo, casos de primeiros socorros; danos leves a estrutura do porto	D	I	T	
22	Outros	Complicações na amarração da embarcação no pier	Lesões leves	D	II	M	

Análise Preliminar de Riscos em Portos							
Unidade: Porto de Suape			Embarcação: Suezmax (lastro)			Analista: --	
Trecho: Bacia de evolução			Carga principal: Petróleo bruto			Data: --/--/--	
Nº	Cat.	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Freq.	Sev.	Risco	Obs.
23	Abalroação	Abalroamento com rebocador durante manobra de giro	Pequenos danos ao rebocador/proa da embarcação	C	II	T	

24	Abalroação	Abalroamento com embarcação atracada no PGL 3A	Lesões leves; danos severos a embarcação (reparação lenta); danos severos ao meio ambiente com efeito localizado	B	IV	M	
25	Encalhe	Encalhe próximo às regiões de águas rasas sem derramamento	Sem lesões a tripulação, ou máximo casos de primeiros socorros; danos leves ao fundo do petroleiro; danos insignificantes ao meio ambiente	D	II	T	
26	Encalhe	Encalhe com derramamento próximo às regiões de menor profundidade	Sem lesões a tripulação, ou máximo casos de primeiros socorros; danos leves ao casco da embarcação; danos severos ao meio ambiente com efeitos localizados	A	IV	T	
27	Abalroação	Abalroamento com embarcação em sentido contrário	Lesões leves; danos severos à estrutura da embarcação; danos severos ao meio ambiente com efeito localizado	B	IV	M	
28	Colisão	Colisão com molhe de proteção após perda de controle ao ser ultrapassado	Danos leves ao costado da embarcação; danos moderados ao molhe de proteção do porto	B	III	T	

### Análise Preliminar de Riscos em Portos

Unidade: Porto de Suape			Embarcação: Suezmax (lastro)			Analista: --	
Trecho: Canal de acesso			Carga principal: Petróleo bruto			Data: --/--/--	
Nº	Cat.	Detalhes do perigo	Efeitos esperados	Freq.	Sev.	Risco	Obs.
29	Colisão	Colisão com o molhe de proteção do porto durante saída do porto	Sem lesões, ou no máximo casos de primeiros socorros; danos leves à estrutura do molhe de proteção porto	E	II	M	

30	Encalhe	Encalhe sem derramamento de óleo, próximo da entrada do porto externo	Sem lesões a tripulação, ou no máximo casos de primeiros socorros; danos leves ao fundo do petroleiro; danos insignificantes ao meio ambiente	D	II	T	
31	Encalhe	Encalhe com derramamento próximo da entrada do porto	Sem lesões a tripulação, ou máximo casos de primeiros socorros; danos leves ao casco da embarcação; danos severos ao meio ambiente se estendendo para outros locais	A	V	M	
32	Abalroação	Leve abalroamento com pequenas embarcações na vizinhança	Lesões graves intramuros; danos leves ao petroleiro; danos leves ao meio ambiente	C	III	M	
33	Abalroação	Forte abalroamento com pequenas embarcações na vizinhança	Fatalidades intramuros; danos leves ao petroleiro e catastróficos às pequenas embarcações; danos leves ao meio ambiente	B	V	M	
34	Outros	Queda de tripulante ao movimentar-se para desafixar cabo de ligação do rebocador	Fatalidade intramuros	A	IV	T	
35	Abalroação	Abalroamento frontal com embarcação em sentido contrário no canal	Lesões leves; danos catastróficos à estrutura da embarcação, podendo levar à perda do petroleiro; danos severos ao meio ambiente com efeito localizado	A	V	M	Porto de Suape não permite passagem dupla no canal de acesso
36	Abalroação	Abalroamento lateral com embarcação em sentido contrário no canal	Lesões leves; danos moderados à estrutura da embarcação; danos severos ao meio ambiente com efeito localizado	A	IV	M	Porto de Suape não permite passagem dupla no canal de acesso

## APÊNDICE B – FREQUÊNCIAS METEOCEANOGRÁFICAS

<b>Direção - Correntes</b>					
<b>Vel. (nós)</b>	<b>N - L</b>	<b>L - S</b>	<b>S - O</b>	<b>O - N</b>	<b>Total</b>
<b>0 – 0,1</b>	5,78%	12,32%	6,42%	8,85%	<b>33,37%</b>
<b>0,1 – 0,2</b>	1,76%	15,48%	2,20%	8,59%	<b>28,04%</b>
<b>0,2 – 0,3</b>	0,32%	11,86%	0,52%	3,94%	<b>16,64%</b>
<b>0,3 – 0,4</b>	0,08%	10,00%	0,10%	1,28%	<b>11,46%</b>
<b>0,4 – 0,5</b>	0,01%	6,54%	0,01%	0,19%	<b>6,76%</b>
<b>0,5 – 0,6</b>	-	2,61%	-	0,02%	<b>2,63%</b>
<b>0,6 – 0,7</b>	-	0,76%	-	0,01%	<b>0,76%</b>
<b>0,7 – 0,8</b>	-	0,23%	-	-	<b>0,23%</b>
<b>0,8 – 0,9</b>	-	0,07%	-	-	<b>0,07%</b>
<b>0,9 – 1,0</b>	-	0,02%	-	-	<b>0,02%</b>
<b>1,0 - ...</b>	-	-	-	-	<b>0,00%</b>
<b>Total</b>	<b>7,95%</b>	<b>59,90%</b>	<b>9,25%</b>	<b>22,89%</b>	

<b>Direção - Vento</b>						
<b>Beaufort</b>	<b>Velocidade (nós)</b>	<b>N - L</b>	<b>L - S</b>	<b>S - O</b>	<b>O - N</b>	<b>Total</b>
<b>0</b>	<b>0 - 1</b>	0,03%	0,04%	0,04%	0,03%	<b>0,14%</b>
<b>1</b>	<b>1 - 3</b>	0,19%	0,29%	0,99%	0,18%	<b>1,64%</b>
<b>2</b>	<b>4 - 6</b>	1,33%	2,05%	5,05%	0,47%	<b>8,91%</b>
<b>3</b>	<b>7 - 10</b>	14,27%	17,31%	0,87%	0,44%	<b>32,89%</b>
<b>4</b>	<b>11 - 16</b>	22,11%	28,21%	0,02%	0,59%	<b>50,93%</b>
<b>5</b>	<b>17 - 21</b>	1,44%	3,17%	-	0,44%	<b>5,05%</b>
<b>6</b>	<b>22 - 27</b>	0,07%	0,23%	-	0,10%	<b>0,40%</b>
<b>7</b>	<b>28 - 33</b>	0,01%	-	-	-	<b>0,02%</b>
<b>8</b>	<b>34 - 40</b>	-	-	-	-	<b>0,00%</b>
<b>Total</b>		<b>39,45%</b>	<b>51,31%</b>	<b>6,98%</b>	<b>2,26%</b>	

<b>Direção - Ondas</b>					
<b>Período (s)</b>	<b>N - L</b>	<b>L - S</b>	<b>S - O</b>	<b>O - N</b>	<b>Total</b>
<b>6,0 – 6,5</b>	-	2,63%	-	-	<b>2,63%</b>
<b>6,5 – 7,0</b>	0,18%	12,35%	-	-	<b>12,52%</b>
<b>7,0 – 7,5</b>	2,75%	29,96%	-	-	<b>32,71%</b>
<b>7,5 – 8,0</b>	4,04%	22,64%	-	-	<b>26,68%</b>
<b>8,0 - 8,5</b>	0,88%	10,24%	-	-	<b>11,12%</b>
<b>8,5 - 9,0</b>	0,35%	6,09%	-	-	<b>6,44%</b>
<b>9,0 – 9,5</b>	0,06%	4,33%	-	-	<b>4,39%</b>
<b>9,5 – 10,0</b>	0,12%	2,52%	-	-	<b>2,63%</b>
<b>10,0 - ...</b>	-	0,88%	-	-	<b>0,88%</b>
<b>Total</b>	<b>8,37%</b>	<b>91,63%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	

<b>Direção – Ondas</b>					
<b>Altura (m)</b>	<b>N - L</b>	<b>L - S</b>	<b>S - O</b>	<b>O - N</b>	<b>Total</b>
<b>1 - 1,4</b>	3,04%	8,84%	-	-	<b>11,88%</b>
<b>1,4 - 1,8</b>	5,15%	41,54%	-	-	<b>46,69%</b>
<b>1,8 - 2,2</b>	0,18%	30,19%	-	-	<b>30,37%</b>
<b>2,2 - 2,6</b>	-	8,02%	-	-	<b>8,02%</b>
<b>2,6 - 3,0</b>	-	2,63%	-	-	<b>2,63%</b>
<b>3,0 - ...</b>	-	0,41%	-	-	<b>0,41%</b>
<b>Total</b>	<b>8,37%</b>	<b>91,63%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	