

Eduardo Ribeiro Neto Marques

PROPOSTA DE MÉTODO PARA MITIGAÇÃO DE RISCOS DE COLISÕES, ABALROAÇÕES E ENCALHES NA OPERAÇÃO PORTUÁRIA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial (PPGTG) da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial.
Orientador: Prof. Eduardo Lobo, Dr.

Florianópolis
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

Marques, Eduardo Ribeiro Neto
Proposta de método para mitigação de riscos de
colisões, abalroações e encalhes na operação
portuária / Eduardo Ribeiro Neto Marques ;
orientador, Eduardo Lobo, 2017.
142 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós
Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão
Territorial, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Engenharia de Transportes e Gestão
Territorial. 2. Sistemas de Transportes. 3.
Transporte Marítimo. 4. Análise de Riscos. 5.
Software GRACAT. I. Lobo, Eduardo. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial.
III. Título.

Eduardo Ribeiro Neto Marques

PROPOSTA DE MÉTODO PARA MITIGAÇÃO DE RISCOS DE
COLISÕES, ABALROAÇÕES E ENCALHES NA OPERAÇÃO
PORTUÁRIA

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial (PPGTG).

Florianópolis, 18 de maio de 2017.

Prof. Carlos Loch, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Eduardo Lobo, Dr.
Orientador
PPGTG / UFSC

Prof. Osvaldo Agripino de Castro Júnior, Dr.
Examinador
PPGTG / UFSC

Prof. Amir Mattar Valente, Dr.
Examinador
PPGTG / UFSC

Prof. Alexandre Moraes Ramos, Dr.
Examinador
CAD / UFSC

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Osvaldo Agripino, por sua dedicação, ensinamentos e principalmente pelas experiências compartilhadas na área do transporte marítimo.

Ao Prof. Eduardo Lobo, que na condição de orientador acompanhou todas as etapas desse trabalho, prestando valiosas sugestões e críticas.

Aos demais professores do PPGTG, com os quais tive a oportunidade de aprender e me aprofundar nos mais variados temas.

A Universidade Federal de Santa Catarina, universidade pública gratuita e de qualidade, que promove a democratização do saber e a universalidade do conhecimento.

Aos colegas de turma que transformaram as aulas e os momentos que dividimos em oportunidades de aprendizado e de amizade.

A toda minha família, em especial a meus pais, pelo exemplo, pela oportunidade de instrução que me ofereceram, pelos sacrifícios empreendidos por seus filhos, mas principalmente pelo apoio e incentivo incondicional em minhas escolhas e projetos.

E por ultimo, e mais importante, aos meus amores, Emilia e Catarina, companheiras de uma vida inteira, pelo carinho, amparo, por todo suporte e paciência e por proporcionarem a melhor vida que eu poderia desejar.

“A eterna vigilância é o preço da segurança.”

Almirante-de-Esquadra Chester W. Nimitz (1885-1966)

RESUMO

Com a projeção de demanda acompanhada do volume de investimentos previstos nos portos e no transporte marítimo, é razoável afirmar que o tráfego de embarcações na costa brasileira também passará por um aumento nos próximos anos. Acompanhando o previsto incremento do tráfego de embarcações na sua costa e o concomitante aumento da probabilidade de acidentes nesse sentido, faz-se necessária a realização de estudos e pesquisas na área de análise de riscos e acidentes envolvendo embarcações. Em consonância com essa necessidade, o presente trabalho apresenta uma proposição de um método para mitigação de acidentes (encalhes, colisões e abalroações) envolvendo embarcações, incorporando a utilização de tecnologia à segurança da operação portuária. Utilizando simulação através do software GRACAT são identificadas as áreas mais propensas à ocorrência de acidentes dentro da área do Porto do Rio Grande/RS, apresentando conceitos fundamentais sobre o transporte marítimo, informações sobre acidentes de navegação, conceituação de análise de riscos, apresentação do modelo de estimativa de frequência de acidentes baseado no tráfego, além de apontar os elementos tecnológicos que podem ser utilizados na prevenção de acidentes envolvendo embarcações.

Palavras-chave: Sistemas de Transportes. Transporte Marítimo. Análise de Riscos. Colisões. Abalroações. Encalhes. Mitigação de Acidentes. GRACAT.

ABSTRACT

With the demand forecast and the volume of planned investments in ports and maritime transportation it is reasonable to say that the vessel traffic on the Brazilian coast will also undergo an increase in the coming years. Following the expected increase in vessel traffic on its coast and the concomitant increase in the likelihood of accidents involving vessels it's necessary to carry out studies and research in the risk analysis and accidents involving vessels subjects. In line with this need, this research presents a proposition of an accident (groundings and collisions) mitigation method involving vessels incorporating the use of technology to the safety of port operations. Using simulation through GRACAT software this research identified the most accident-prone areas within the Rio Grande/RS seaport, besides presenting fundamental concepts of maritime transport, information on vessel accidents, risk analysis concepts, presentation of the accident frequency estimation model based on traffic, while pointing out the technological elements that can be used in the prevention of accidents involving vessels.

Keywords: Transportation Systems. Maritime Transportation. Risk Analysis. Collisions. Groundings. Accident Mitigation. GRACAT.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo do Queijo Suíço	36
Figura 2 - Fluxograma da Metodologia FSA	40
Figura 3 – Fatores Humanos na Operação de um Sistema	44
Figura 4 – Critério de Aceitação de Risco (Diagrama ALARP)	46
Figura 5 – O Navio MV Prestige afundando.....	53
Figura 6 – Principais Rotas Marítimas Mundiais	57
Figura 7 – Navio Vale Brasil.....	58
Figura 8 – Evolução da movimentação de carga, por natureza	61
Figura 9 - Participação na movimentação de cargas (2013) / Portos x TUPs.....	62
Figura 10 – Navio Gaseiro (GNL) sendo manobrado com auxílio de 02 (dois) navios rebocadores.....	65
Figura 11 – Tipos de Portos Costeiros ou Litorâneos	68
Figura 12 – Tipos de Portos Fluviais.....	69
Figura 13 – Centro de Controle VTS no Porto de Helsinque, Finlândia.....	79
Figura 14 – Área de Cobertura do sistema VTS da região da Grande Barreira de Corais (Austrália)	81
Figura 15 – Sistema AIS	83
Figura 16 - Definição de solo mole (esquerda) ou rígido (direita).....	96
Figura 17 – Porto Velho.....	102
Figura 18 – Porto Novo.....	103
Figura 19 – Foto Aérea do Superporto.....	103
Figura 20 – Molhes da barra	104
Figura 21 – Canais de acesso ao Porto do Rio Grande.....	110
Figura 22 – Método proposto para mitigação dos riscos de acordo com probabilidade de ocorrência estimada	112
Figura 23 – Carta Náutica 2101 (Porto do Rio Grande).....	116
Figura 24 – Heatmap (Mapa de Calor) da Densidade do Tráfego Marítimo no Porto do Rio Grande.....	117
Figura 25 – Tela do Cenário de Simulação no software GRACAT	118
Figura 26 – Rotas de navegação utilizadas na simulação.....	119
Figura 27 – Definição das opções de análises no software GRACAT	122
Figura 28 – Rota de Navegação nº1	123
Figura 29 – Rota de Navegação nº2	124
Figura 30 - Segmentos com maior probabilidade de ocorrência de encalhes dentro da Rota de Navegação nº1	126
Figura 31 – Segmentos com maior probabilidade de ocorrência de encalhes dentro da Rota de Navegação nº2.....	126

Figura 32 – Cascos de Navios Naufragados Próximos à Rota de Navegação nº2..... 127

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo das Técnicas de Análise de Risco.....	38
Quadro 2 – Riscos individuais aceitáveis para atividades de navegação de acordo com a HSE.....	46
Quadro 3 – Custo Anual Estimado de Operação, Manutenção e Pessoal para alguns dos sistemas VTS instalados nos Estados Unidos.....	80
Quadro 4 – Resumo do Protocolo Proposto para aplicação do estudo de caso.....	97
Quadro 5 – Movimentação de Embarcações 2016 (Porto do Rio Grande).....	105
Quadro 6 – Situações de Impraticabilidade da Barra do Rio Grande..	110
Quadro 7 – Segmentos com maior probabilidade de ocorrência de encalhes.....	125

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIS	<i>Automatic Identification System</i>
ALARP	<i>As Low As Reasonably Practicable</i>
AMB	Autoridade Marítima Brasileira
AMSA	<i>Australian Maritime Safety Authority</i> – Autoridade Australiana da Segurança Marítima
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
APA	Área de Proteção Ambiental
APRH	Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos
CAF	<i>Cost of Averting Fatality</i>
CHM	Centro de Hidrografia da Marinha
CODESP	Companhia Docas do Estado de São Paulo
CONIT	Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transporte
CPRS	Capitania dos Portos do Rio Grande do Sul
DPC	Diretoria de Portos e Costas
DTU	<i>Danmarks Tekniske Universitet</i>
DWT	<i>Deadweight tonnage</i>
ETA	<i>Event tree analysis</i>
EUA	Estados Unidos da América
FAL	<i>Facilitation of International Maritime Traffic</i> - Comitê de Facilitação (IMO)
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental (Rio Grande do Sul)
FMECA	<i>Failure mode, effects and criticality analysis</i>
FPSO	<i>Floating Production, Storage and Offloading</i>
FSA	<i>Formal Safety Assessment</i>
FTA	<i>Fault tree analysis</i>
GLM	<i>General linear model</i>
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GNL	Gás natural liquefeito
GRACAT	<i>Grounding and Collision Analysis Toolbox</i>
HAZOP	<i>Hazards and Operability Study</i>
HSE	<i>Health and Safety Executive (Reino Unido)</i>
IALA	<i>International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities</i>
IMCO	<i>Inter-Governmental Maritime Consultative Organization</i>
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
ISESO	<i>Information Technology for Enhanced Safety and Efficiency in Ship Design and Operation</i>

ISPS Code	<i>International Ship and Port Facility Security Code</i>
ITF	<i>International Transport Workers' Federation</i>
LEG	<i>Legal Committee - Comitê Jurídico (IMO)</i>
Lo/Lo	<i>Lift-on/lift-off</i>
MARPOL	<i>International Convention for the Prevention of Pollution from Ships</i>
MCA	<i>UK Maritime and Coastguard Agency</i>
MEPC	<i>Marine Environment Protection Committee - Comitê de Proteção do Meio Marinho (IMO)</i>
MP	Medida Provisória
MPV	<i>Multi-purpose vessel</i>
MSC	<i>Maritime Safety Committee - Comitê de Segurança Marítima (IMO)</i>
NGA	<i>National Geospatial-Intelligence Agency</i>
NORMAM	Normas da Autoridade Marítima
NPCP	Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos
OILPOL	<i>International Convention for the Prevention of Pollution of the Sea by Oil</i>
OIT	Organização Internacional do Trabalho
ONU	Organização das Nações Unidas
OS	Ordem de Serviço
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PHA	<i>Process Hazard Analysis</i>
PIANC	<i>World Association for Waterborne Transport Infrastructure</i>
PSSA	<i>Particularly Sensitive Sea Areas - Zona Marítima Particularmente Sensível</i>
Ro/Ro	<i>Roll-on/roll-off</i>
SCM	<i>Swiss-Cheese Model</i>
SEP	Secretaria de Portos da Presidência da República
SEPM	Superintendência do Ensino Profissional Marítimo
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SOTDMA	<i>Self-Organizing Time Division Multiple Access</i>
SUPRG	Superintendência do Porto do Rio Grande
TC	<i>Technical Co-operation Committee - Comitê de Cooperação Técnica (IMO)</i>
TEU	<i>Twenty-foot Equivalent Unit</i>
TSS	<i>Traffic Separation Scheme - Esquema de Separação de Tráfego</i>
TUP	Terminal de Uso Privado
UNCLOS	<i>United Nations Convention on the Law of the Sea</i>

VHF *Very High Frequency*
VTMIS *Vessel Traffic Management Information System*
VTS *Vessel Traffic Service*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	27
1.2	OBJETIVO GERAL	28
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
1.4	HIPÓTESES.....	28
1.5	RELEVÂNCIA	29
1.6	DELIMITAÇÃO	30
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	30
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	33
2.1	ANÁLISE DE RISCOS	33
2.1.1	Conceitos	33
2.1.1.1	O Modelo do queijo suíço	35
2.1.2	Análise de Risco.....	36
2.1.2.1	Técnicas de análise de risco	37
2.1.2.2	Metodologia FSA	39
2.1.3	Fatores humanos na concepção e operação de um sistema	43
2.1.4	Representação de valores de risco e critérios de aceitação de risco	45
2.2	TRANSPORTE MARÍTIMO	46
2.2.1	Atores envolvidos	47
2.2.1.1	Construtor naval.....	48
2.2.1.2	Proprietário da embarcação.....	48
2.2.1.3	Armador	48
2.2.1.4	Proprietário da carga	48
2.2.1.5	Segurador	49
2.2.1.6	Companhia administradora	49

2.2.1.7	Estado de bandeira	49
2.2.1.7.1	<i>Bandeiras de conveniência</i>	49
2.2.1.7.2	<i>Bandeiras de conveniência e as condições de trabalho</i>	50
2.2.1.7.3	<i>Bandeiras de conveniência e a segurança</i>	52
2.2.1.7.4	<i>Bandeiras de conveniência e o meio ambiente</i>	52
2.2.1.8	Sociedade classificadora	53
2.2.1.9	Praticagem	54
2.2.2	Navios e embarcações	55
2.2.2.1	Navios para cargas embaladas e/ou unitizadas	55
2.2.2.2	Navios graneleiros	56
2.2.2.3	Navios-tanque (granel líquido)	58
2.2.3	Sistema Portuário Brasileiro	60
2.2.4	Portos	62
2.2.4.1	Fundeadoiro	63
2.2.4.2	Bacia de evolução	64
2.2.4.3	Docas	65
2.2.4.4	Obras de proteção	65
2.2.4.5	Classificação dos portos.....	66
2.2.5	Órgãos Reguladores do Transporte Marítimo	70
2.2.5.1	<i>International Maritime Organization (IMO)</i>	70
2.2.5.2	Diretoria de Portos e Costas.....	72
2.2.5.3	Tribunal Marítimo.....	72
2.2.5.4	ANTAQ	73
2.2.5.5	SEP/PR	74
2.2.6	Acidentes de navegação	74
2.2.6.1	Tipos de acidente	74
2.2.7	Tecnologias empregadas na redução do risco no tráfego marítimo	77
2.2.7.1	VTS (<i>Vessel Traffic Service</i>)	77

2.2.7.1.1	<i>Aplicação do VTS na proteção do ambiente marinho</i>	80
2.2.7.2	AIS (<i>Automatic Identification System</i>).....	82
2.3	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	84
2.3.1	Propósito	84
2.3.2	Vantagens	84
2.3.3	Desvantagens	85
2.3.4	Outras considerações	86
2.4	ESTIMATIVA DA FREQUENCIA DE ACIDENTES MARÍTIMOS.....	87
2.4.1	Redes bayesianas	87
2.4.2	Modelo baseado no tráfego	87
2.4.3	Software GRACAT	90
2.4.3.1	Resultados e aplicação	91
2.5	SÍNTESE DO CAPÍTULO	92
3	ASPECTOS METODOLÓGICOS	93
3.1	A QUESTÃO DA PESQUISA	93
3.2	CARACTERÍSTICAS	93
3.3	COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS	94
3.4	PROTOCOLO DE APLICAÇÃO.....	95
3.5	LIMITAÇÕES DO ESTUDO	98
3.6	SÍNTESE DO CAPÍTULO	99
4	PORTO DO RIO GRANDE E O MÉTODO PROPOSTO	101
4.1	PORTO DO RIO GRANDE	101
4.1.1	Infraestrutura aquaviária	104
4.1.2	Trafego Marítimo	105
4.1.2.1	Restrições operacionais.....	106
4.1.2.2	Condições de navegação	109
4.1.2.3	Canal de acesso	109

4.2	MÉTODO PROPOSTO	111
4.3	SÍNTESE DO CAPÍTULO	113
5	APLICAÇÃO DO SOFTWARE GRACAT	115
5.1	MODELAGEM DO CENÁRIO DE SIMULAÇÃO	115
5.1.1	Qualidade e confiabilidade dos dados coletados	120
5.2	PARAMETRIZAÇÕES DA SIMULAÇÃO	120
5.3	ANÁLISE DOS DADOS.....	122
5.3.1	Frequência estimada de colisões	123
5.3.1.1	Locais mais propensos à ocorrência de colisões.....	124
5.3.2	Frequência estimada de encalhes	124
5.3.2.1	Locais mais propensos à ocorrência de encalhes	125
5.4	SÍNTESE DO CAPÍTULO	127
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	129
6.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O TEMA PESQUISADO E LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	129
6.2	RECOMENDAÇÕES QUANTO A MITIGAÇÃO DOS RISCOS NA OPERAÇÃO PORTUÁRIA	132
6.3	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	133
	REFERÊNCIAS.....	135

1 INTRODUÇÃO

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Com uma costa que conta com aproximadamente 8.500 km navegáveis, o setor portuário brasileiro movimentava cerca de 931 milhões de toneladas, por ano, das mais diversas mercadorias, e responde por mais de 90% das exportações do país (SEP/PR, 2015a), o que transforma o modal marítimo de transporte, segundo Fleury (2005), no mais utilizado no comércio internacional das empresas e indústrias brasileiras, implicando na necessidade do país de possuir portos eficientes, bem localizados e com capacidade suficiente para atender as demandas.

A projeção de demanda para os portos brasileiros no período de 2015 a 2042 prevê crescimento de 92%, atingindo um patamar de 1,8 bilhões de toneladas transportadas (SEP/PR, 2015a) e, segundo o Ministério dos Transportes (2010), o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) previa investimentos na ordem de 5,1 bilhões de reais em vinte e um portos públicos brasileiros nos próximos anos, destacando-se os investimentos em sistemas de atracação, dragagens e acessos terrestres, na desburocratização das operações portuárias e na construção de terminais de passageiros. Esses investimentos visam à redução dos custos logísticos, à melhora da eficiência operacional portuária e ao aumento da competitividade das exportações brasileiras. Com essa projeção de demanda, acompanhada do volume de investimentos previstos, é razoável afirmar que o tráfego de embarcações na costa brasileira poderá aumentar nos próximos anos.

Como se trata de uma das maiores indústrias mundiais, o transporte marítimo necessita de padrões internacionais que possam ser adotados e aceitos por toda comunidade internacional. Motivada por essa necessidade, a Organização das Nações Unidas (ONU), criou em 1948 a *International Maritime Organization*, ou simplesmente IMO, com a função de criar normas e padrões para o transporte marítimo. Ainda que essa agência concentre todos seus esforços na criação de convenções, orientações e recomendações à comunidade do transporte marítimo, os acidentes envolvendo embarcações, embora indesejáveis e causadores de um impacto negativo em toda a cadeia de suprimentos (IMO, 2005), acabam por ocorrer. Isso porque o transporte marítimo, conforme a própria IMO (2005) reconhece, sempre foi um ambiente potencialmente perigoso além de ser uma indústria sujeita à constante pressão em busca uma maior eficiência em seus serviços.

Apesar de o Brasil contar com a Lei Federal nº 2.180, de 5 de fevereiro de 1954, que dispõe sobre o Tribunal Marítimo e elenca os acidentes da navegação, bem como ser país membro e signatário da IMO, e assim seguir as convenções, orientações e recomendações da organização, o previsto incremento do tráfego de embarcações na sua costa e o concomitante aumento da probabilidade de acidentes ensejam a necessidade de realização de estudos e pesquisas na área de análise de riscos e acidentes envolvendo embarcações, já que esses acidentes podem ter consequências significativas ao meio ambiente, as vidas humanas e ao patrimônio, tornando assim a avaliação e o gerenciamento de riscos imprescindíveis ferramentas na constante busca pelo aumento da segurança e confiabilidade dessa indústria.

1.2 OBJETIVO GERAL

Propor um método para mitigação de riscos de colisões, abalroações e de encalhes na operação portuária brasileira, por meio do uso da tecnologia.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A expectativa inicial do trabalho foi de alcançar os seguintes objetivos específicos:

- a) identificar conceitos e aspectos teóricos do transporte marítimo, com foco nos acidentes e nos fatos da navegação, e tratar da análise de risco aplicada aos acidentes marítimos;
- b) abordar os principais aspectos do modelo de estimativa de acidentes baseado no tráfego de embarcações;
- c) analisar comparativamente, por meio de informações geográficas e de tráfego, os riscos de colisões, abalroações e encalhes na operação do Porto do Rio Grande/RS; e
- d) identificar os elementos que podem ser utilizados na prevenção de acidentes envolvendo embarcações para, propor um método aplicável para mitigação de riscos de ocorrência de colisões, abalroações e encalhes.

1.4 HIPÓTESES

As seguintes hipóteses foram estabelecidas a fim de serem testadas:

Hipótese A: através da análise e identificação das áreas mais propensas a acidentes envolvendo embarcações dentro dos portos é possível propor um método para mitigar os riscos de ocorrência de colisões, abalroações e encalhes na operação portuária; e

Hipótese B: o método proposto de mitigação de riscos de ocorrência de colisões, abalroações e encalhes na operação portuária pode ser adequado para aplicação em qualquer porto brasileiro.

1.5 RELEVÂNCIA

De acordo com o Banco Mundial (2017), o Brasil atualmente ocupa a 120ª posição (de 142 países avaliados) em qualidade de infraestrutura portuária, possuindo infraestrutura equivalente a países como Botsuana, Mauritània e Lesoto, e atrás de, por exemplo, países como a Argentina, Peru, Vietnã e Gana.

Mesmo com a precariedade observada na infraestrutura portuária, segundo a ANTAQ (2017), entre os meses de janeiro e março de 2017, a movimentação portuária realizada nos Portos Organizados e Terminais de Uso Privados (TUPs) brasileiros apresentou incremento de 5% em relação ao mesmo período de 2016, totalizando assim 245,5 milhões de toneladas transportadas. Confirmando o crescimento observado, a Companhia Docas do Estado de São Paulo (CODESP) projeta um aumento de 6,3% na movimentação de cargas no ano de 2017 em comparação com o ano de 2016 (BONATO, 2017).

Com essa projeção de crescimento, é razoável afirmar que o tráfego de embarcações na costa brasileira também passará por um incremento nos próximos anos. Em conjunto com esse incremento, conseqüentemente também haverá aumento na probabilidade de ocorrência de acidentes envolvendo as embarcações, e conforme Castro Júnior (2014), apesar dos acidentes serem definidos como eventos indesejáveis, os quais resultam em danos e causam altos e inesperados custos, o risco de ocorrência de acidentes é inerente às atividades marítimas e portuárias.

Kristiansen (2008) estima que nas abalroações e colisões haja uma média de 0,93 vidas perdidas por ocorrência, e que em 2,27% desse tipo de acidentes verifica-se poluição ambiental. Já nos encalhes a média de vidas perdidas é de 0,03 por ocorrência, com 11,57% dos encalhes acabando por causar poluição ambiental. Além disso, Kristiansen (2008) verificou que se considerados os custos ambientais, patrimoniais e de perdas de vidas, o custo médio estimado de uma abalroação ou colisão gira em torno de US\$ 117 mil (cento e dezessete mil dólares americanos),

enquanto que o custo médio estimado de um encalhe fica na casa dos U\$ 216 mil (duzentos e dezesseis mil dólares americanos).

Portanto, com a projeção de crescimento do tráfego marítimo para os próximos anos, os custos ambientais e econômicos dos acidentes, e a infraestrutura portuária defasada do Brasil, a necessidade de estudos e pesquisas na área de análise de riscos de acidentes envolvendo embarcações torna-se imprescindível para que a eficiência almejada e a taxa de crescimento esperada para os próximos anos sejam alcançadas, além da mitigação dos danos patrimoniais, à vida humana e ao meio ambiente que possam vir a ser causados pelos acidentes.

1.6 DELIMITAÇÃO

O objeto deste trabalho era o de propor um método para mitigação de riscos de colisões, abalroações e de encalhes na operação portuária, a partir da aplicação de tecnologia e da realização da pesquisa em si.

Para alcançar o objetivo proposto foram estimadas quantitativamente as probabilidades de ocorrência de colisões, abalroações e encalhes de embarcações em áreas pertencentes ao Porto do Rio Grande/RS, através da utilização de um *software* específico (GRACAT) em conjunto com informações geográficas e de tráfego.

Não foram estimadas as probabilidades de ocorrência de outros tipos de acidentes e demais fatos da navegação que não sejam colisões, abalroações e encalhes.

Atualmente, segundo Nyman (2009), existem 07 (sete) opções de *softwares* com a capacidade de analisar e simular cenários de colisões, abalroações e encalhes envolvendo embarcações. O *software* escolhido para a realização desse trabalho foi o GRACAT, pois se trata do *software* com a maior documentação disponível já produzida, além de ser gratuito e de ter sua efetividade verificada em estudos relevantes realizados anteriormente, tais como o realizado na implantação dos sistemas de monitoramento de embarcações do Golfo da Finlândia (NYMAN, 2009).

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em cinco capítulos.

O Capítulo 1 faz uma breve introdução à importância do transporte marítimo no Brasil e no mundo, e apresenta os objetivos gerais e específicos que esta pesquisa almejou alcançar.

O Capítulo 2 trata da fundamentação teórica deste trabalho, com apresentação de conceitos pertinentes para entendimento do leitor sobre o transporte marítimo, informações sobre os acidentes de navegação, conceituação de análise de riscos, descrição da metodologia de estimativa da frequência de acidentes envolvendo embarcações através do modelo baseado no tráfego, elementos que podem ser utilizados na prevenção de acidentes envolvendo embarcações e, por último, informações e apresentação do *software* GRACAT, o qual é utilizado nas simulações.

O Capítulo 3 descreve os aspectos metodológicos utilizados na pesquisa e aborda suas características. Além disso, são apresentadas informações sobre a realização, a coleta e tratamento dos dados, e também o protocolo que será utilizado. Ainda, são expostas as limitações da pesquisa identificadas pelo autor.

No Capítulo 4 é feita uma caracterização do Porto do Rio Grande, apresentando-se informações relevantes sobre a sua história, infraestrutura, e detalhes sobre as características e demais informações relevantes a respeito do tráfego marítimo observado no porto. Nesse capítulo, além da caracterização, é proposto um método para mitigação de riscos levando em conta as informações levantadas e apresentadas anteriormente sobre o Porto do Rio Grande.

Na continuação do trabalho, o Capítulo 5 denota como foi realizada a modelagem da simulação, a inserção dos dados geográficos e de tráfego obtidos dentro do *software* GRACAT, e os resultados das simulações sobre colisões, abalroações e encalhes envolvendo embarcações dentro do Porto do Rio Grande.

Por último, no Capítulo 6 apresentam-se as considerações finais e recomendações, as dificuldades encontradas e limitações do trabalho, bem como as sugestões de temas para trabalhos futuros envolvendo o assunto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ANÁLISE DE RISCOS

Neste item serão abordados alguns conceitos referentes a análise de riscos aplicados em sistemas técnicos. Serão apresentadas algumas definições amplamente utilizadas, tais como risco e incidente e serão apresentadas técnicas para um melhor entendimento e classificação dos riscos.

2.1.1 Conceitos

A expressão risco é frequentemente utilizada com inúmeros sentidos distintos, tais como: risco social, risco econômico, risco de investimentos, etc. O conceito de risco envolve incertezas e algum tipo de perda ou dano.

De acordo com Dias *et al.* (2011), quando se discute sobre análise de risco, primeiramente é importante entender o que é risco. Risco, de uma forma geral, pode ser entendido como a possibilidade de perigo, este incerto, mas previsível, o qual ameaça causar dano à pessoa ou à coisa em questão. No entendimento de Modarres, Kaminskiy e Krivtsov (2009), quando há uma fonte de perigo, e não existem proteções, há possibilidade de perdas ou prejuízos. Essa possibilidade pode ser entendida como risco. Risco então pode ser definido formalmente como o potencial de perda (ex.: material, humano ou do ambiente) resultante da exposição a uma fonte de perigo.

Segundo Dias *et al.* (2011), a incerteza a respeito dessa fonte de perigo é o que motiva a ação das pessoas. Modarres, Kaminskiy e Krivtsov (2009) observam que em sistemas complexos, geralmente há proteções contra as fontes de perigo, e, portanto, quanto maior o nível de proteção, menor o risco.

No caso prático de uma embarcação, por exemplo, existe o risco de a mesma colidir com um rochedo. Para que seja possível estimar esse risco, é necessário saber a posição, velocidade, trajetória, condição do mar e a condição do vento. Também é necessário que se saiba ou se estimem os possíveis estados futuros, que nesse caso poderiam compor resultados como: não colidir com o rochedo, tentar evitar a colisão causando danos menores à embarcação ou, na pior das hipóteses, colidir causando naufrágio e perda da vida de tripulantes. A análise de risco deve considerar como cada um desses estados futuros pode ser alcançado através do estado atual. Nesse contexto, Dias *et al.* (2011),

define risco como a chance de ocorrer um estado futuro “x”, dada a ocorrência de um estado inicial, sendo necessário para sua análise, o delineamento dos dois estados, além dos cenários que possibilitem a transição entre eles.

Pode-se também frisar que para que sejam caracterizados os estados futuros é também importante que sejam avaliadas as partes afetadas (*stakeholders*), além da significância para cada um dos riscos avaliados. Para exemplificar o conceito de significância, Dias *et al.* (2011) cita um exemplo bastante elucidativo em que uma pessoa pretende caminhar sobre um cabo de aço esticado em um vão de dois metros de comprimento entre dois pilares. Existem nesse exemplo duas situações: na primeira, o cabo se situa a cinquenta centímetros de altura do chão, e na segunda, a cinquenta metros. A probabilidade de êxito na travessia é a mesma, independente da altura de fixação do cabo, no entanto os resultados decorrentes de uma queda são completamente distintos. A outra questão levantada pelo autor no exemplo é o motivo pelo qual se deseja realizar a travessia. Um eventual prêmio de dez reais pode ser suficiente para motivar alguém a enfrentar o desafio de tentar a travessia à cinquenta centímetros de altura, mas dificilmente alguém irá se dispor a enfrentar a travessia a cinquenta metros do chão por esse valor. No entanto se o prêmio oferecido for de dez milhões de reais, certamente existirão desafiantes. Nota-se então que as diferentes condições podem definir os possíveis resultados de uma análise.

Pode-se definir como incidente todo evento que acarreta em consequências negativas, o que inclui danos tanto às pessoas, como as propriedades e ao ambiente, como também fatos que causam a interrupção de um sistema ou do negócio da instituição envolvida. Dias *et al.* (2011) entende que incidente é qualquer manifestação técnica ou humana indesejável para o desempenho de uma função ou que venha potencializar um perigo ou risco. Já os acidentes são definidos como um conjunto de incidentes, que acabam resultando no comprometimento da segurança.

Perigo pode ser definido como um ato (tanto de omissão como uma ação), condição ou estado de um sistema, com o potencial de resultar num incidente ou de maneira mais abrangente, em um acidente. (MOSLEH; DIAS, 2003). É sensato assumir que todo e qualquer sistema técnico é portador de perigo.

Nesse contexto, o físico e matemático Pierre Simon de Laplace (1724-1827) sugeriu imaginar a existência de uma inteligência capaz de avaliar e estimar todos os movimentos de todos os elementos do universo, e dessa forma, para essa inteligência, nada seria incerto

(LAPLACE, 1990). Essa inteligência foi denominada de Demônio de Laplace, pois é presumível que tal inteligência nunca será alcançada, assim somente na perspectiva do Demônio de Laplace não existiram riscos, já que o futuro não seria incerto.

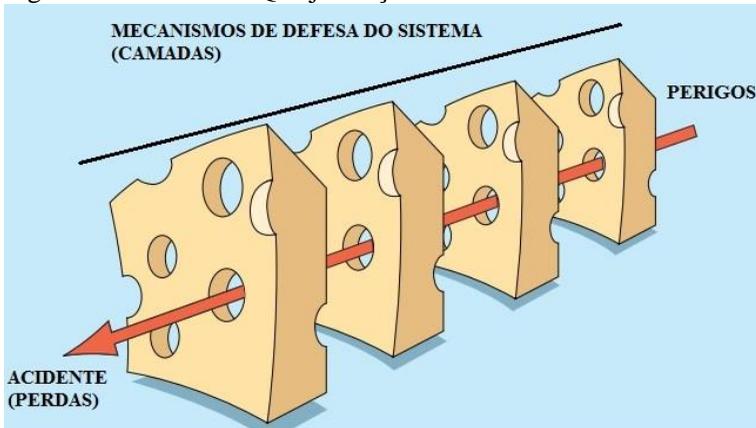
Porém, no mundo real, muitas são as limitações de controle do ambiente, das pessoas e dos sistemas. Dessa forma, diante da incapacidade de retratar precisamente a realidade, utilizamos modelos para representar a realidade da melhor forma possível. Dias *et al.* (2011) destaca que por melhor que o modelo seja, somos obrigados a aceitar a existência de um certo nível de imprecisão dentro das análises de risco.

2.1.1.1 O Modelo do queijo suíço

De acordo com o ‘Modelo do Queijo Suíço’ concebido por Reason (1990), os acidentes raramente são resultados de ações de pessoas envolvidas nas atividades operacionais (ex.: pilotos, motoristas, engenheiros, controladores, etc.). Ao invés disso, a maioria dos acidentes ocorre devido a uma combinação de problemas, geralmente originados em todos os níveis da organização. A Figura 1 mostra a forma mais usual de se demonstrar o modelo de Reason (1990).

Resumidamente, a sequência de acidente começa com as consequências negativas de processos organizacionais (por exemplo, decisões de gestão associadas ao planejamento, programação, concepção, especificando, comunicação, regulação, etc.). Essas condições organizacionais acabam sendo transmitidas para o local de trabalho em que as tarefas operacionais relevantes são executadas. Eles podem resultar em ‘condições locais’ que têm um impacto negativo sobre o desempenho de um indivíduo (por exemplo, fadiga, alta carga de trabalho, falta de conhecimento técnico, etc.).

Figura 1 – Modelo do Queijo Suíço



Fonte: Adaptado de Reason (1990).

Ainda de acordo com o modelo proposto por Reason (1990), esses atos inseguros podem gerar consequências praticamente impossíveis de serem identificadas ou controladas pelos mecanismos de defesa estabelecidos naquele sistema (camadas) ou pela segurança já embarcada na concepção do sistema. Portanto, as condições locais e mecanismos de defesa ineficientes podem facilitar ou não o controle de atos inseguros, e essas falhas geralmente representam sintomas de problemas sistêmicos mais amplos dentro da organização onde o sistema está em funcionamento.

Ou seja, as defesas do sistema podem não ter aplicação prática alguma ou possuir limitações, ou seja, possuir lacunas, ou buracos, conforme mostra o modelo do queijo suíço.

Em resumo, o modelo de Reason (1990) enfatiza que atos inseguros têm um papel fundamental na ocorrência de acidentes. No entanto as origens desses atos geralmente se encontram nos sistemas de gestão, e não simplesmente nos indivíduos que os executaram. Em outras palavras, o modelo enfatiza uma visão sistêmica para se melhorar a segurança ao invés de uma simples abordagem centrada nos indivíduos que iniciam ou executam os atos inseguros.

2.1.2 Análise de Risco

Alguns autores utilizam a expressão análise de risco como sinônimo de análise de perigo (HENLEY; KUKAMOTO, 1981), porém

a análise de risco conceitualmente pode ser definida como um processo sistemático de avaliação em nível de sistema, cujo objetivo principal é responder as seguintes questões (KAPLAN; GARRICK, 1981):

- a) O que pode acontecer?
- b) Quão provavelmente o evento ocorrerá?
- c) Se o evento ocorrer, quais serão as consequências?

A análise de perigo não é independente, mas sim uma parte integrante da análise de risco. A análise de perigo corresponde às atividades onde são identificados e/ou quantificados os níveis de perigo decorrentes do uso de sistemas ou equipamentos (OGATA, 2003).

Ainda segundo Ogata (2003), o perigo não é uma propriedade inerente de um sistema, mas um conjunto de condições (estados) associados a um sistema que tem potencial para causar algum mal ou possa conduzir a um acidente.

2.1.2.1 Técnicas de análise de risco

A análise de risco de acordo com Ogata (2003, p.14) pode ser definida como o “processo técnico e científico pelo qual o risco previsto em um sistema é modelado e quantificado”. Tanto podem ser fornecidos dados qualitativos como quantitativos para uma futura decisão para gerenciamento de determinado risco. Ogata (2003) classifica os métodos de análise de risco em métodos de análise qualitativos e métodos de análise quantitativos. Os métodos qualitativos mais conhecidos são:

- a) Auditoria de Revisão de Segurança;
- b) Análise Preliminar de Perigos (PHA – *Preliminary Hazard Analysis*);
- c) Análise de Operação e Perigo (HAZOP – *Hazard and Operability Analysis*); e
- d) Lista de Verificação (*Checklist*).

Os métodos quantitativos mais difundidos incluem:

- a) Análise Crítica dos Efeitos dos Modos de Falha (FMECA – *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*);
- b) Análise de Árvore de Eventos (ETA – *Event Tree Analysis*); e
- c) Análise de Árvore de Falhas (FTA – *Fault Tree Analysis*).

O Quadro 1 apresenta um resumo das técnicas mencionadas:

Quadro 1 – Resumo das Técnicas de Análise de Risco

Método	Nome	Objetivo
Qualitativo	Auditoria de Revisão da Segurança	Identificar as condições ou procedimentos de operação dos equipamentos que possam conduzir a uma casualidade ou resultar em danos à propriedade ou impactos ambientais
	Análise Preliminar de Perigos (PHA – <i>Preliminary Hazard Analysis</i>)	Identificar e priorizar riscos no desenvolvimento inicial do sistema que conduzem a consequências indesejáveis. Recomendar ações para reduzir a frequência e/ou consequências dos riscos priorizados.
	Análise de Operação e Perigo (HAZOP – <i>Hazard and Operability Analysis</i>)	Identificar desvios do sistema e as causas que possam conduzir a consequências indesejáveis, além de recomendar ações para reduzir a frequência e/ou consequência desses desvios.
	Lista de Verificação (<i>Checklist</i>)	Assegurar que a organização atende as práticas normativas e legais.

Método	Nome	Objetivo
Quantitativo	Análise Crítica dos Efeitos dos Modos de Falha (FMECA – <i>Failure Mode, Effects and Criticality Analysis</i>)	Identificar os modos de falha de componentes do sistema e seus impactos sobre os outros componentes do sistema. A análise crítica geralmente escrita em forma de probabilidades ou frequências, tais como número esperado de avarias durante um milhão de operações.
	Análise de Árvore de Eventos (ETA – <i>Event Tree Analysis</i>)	Identificar as sequencias de eventos e os resultados em termos de falhas que possam conduzir a acidentes a partir da análise de um evento inicial.
	Análise de Árvore de Falhas (FTA – <i>Fault Tree Analysis</i>)	Identificar e analisar os perigos e a combinação de falhas dos equipamentos que resultam em acidentes a partir do evento principal pré-definido. Este método não identifica os riscos.

Fonte: Adaptado de Ogata (2013).

2.1.2.2 Metodologia FSA

A FSA (*Formal Safety Assessment* ou Avaliação Formal de Segurança) foi originalmente proposta e elaborada pela MCA (*UK Maritime & Coastguard Agency* ou Agência Marítima e da Guarda Costeira do Reino Unido), e segundo a IMO (2002), a FSA pode ser definida como uma metodologia estruturada e sistemática que tem como objetivo aumentar a segurança marítima, incluindo a proteção da vida, da saúde, do ambiente marinho e da propriedade, por meio de análise de risco e avaliação custo-benefício.

A metodologia FSA pode ser usada como uma ferramenta na criação de novas regulações para a segurança marítima e proteção do ambiente marítimo ou para se aferir as regulações já existentes e elaborar possíveis aperfeiçoamentos, com uma perspectiva que objetiva equilibrar as várias questões técnicas e operacionais envolvidas, sem

abrir mão do elemento humano, da segurança marítima, da proteção do ambiente marítimo e dos custos envolvidos.

A FSA deve ser realizada em 05 (cinco) etapas:

Etapa 1 – Identificação dos Riscos;

Etapa 2 – Análise dos Riscos;

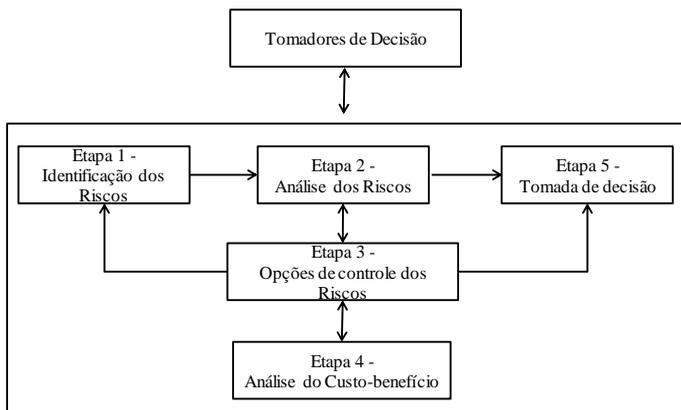
Etapa 3 – Opções de Controle dos Riscos;

Etapa 4 – Análise do Custo-Benefício; e

Etapa 5 – Tomada de Decisão.

A Figura 2 representa o fluxograma da FSA, e como se verifica, ocorrem repetidas interações entre as 05 (cinco) etapas propostas, tornando a metodologia FSA bastante efetiva, já que essas constantes interações possibilitam uma espécie de autocorreção interna durante o andamento da análise.

Figura 2 - Fluxograma da Metodologia FSA



Fonte: Adaptado de IMO (2002).

Conforme a IMO (2002), a primeira medida para aplicação da metodologia FSA é a identificação dos riscos (Etapa 1). Essa etapa objetiva identificar uma lista de riscos e cenários associados priorizados pelo nível de risco específico para o problema em análise. Este objetivo é alcançado através da utilização de técnicas convencionais para identificar os perigos que podem contribuir para os acidentes, e pela identificação destes perigos, utilizando uma combinação de dados disponíveis e análise crítica. O exercício de identificação de perigo deve

ser realizado no contexto das funções e sistemas para o tipo de navio ou problema a ser considerado.

A abordagem utilizada para a identificação de perigo compreende geralmente uma combinação de técnicas tanto criativas como analíticas, com o objetivo de identificar todos os riscos que possam ser relevantes. As técnicas criativas têm como função assegurar que o processo é proativo e não se limita apenas a analisar os riscos que já ocorreram no passado, esse processo geralmente consiste de comentários de mais de um analista, visando identificar as causas e efeitos de acidentes e riscos que possam ser relevantes. Quanto mais diversas as formações e experiências dos analistas envolvidos no processo, melhor será a análise, pois consistirá de mais variáveis. Devem ser avaliados aspectos tais como o design estrutural do navio, a operação, a gestão, e até mesmo os aspectos humanos da tripulação. Uma boa análise criativa geralmente dura vários dias. Já as técnicas analíticas devem levar em conta as informações históricas relativas a fatos e acidentes que ocorreram, e também considerar as leis, regulações, dados estatísticos, tipos de substâncias transportadas pela embarcação, dados meteorológicos, entre outras informações que estejam disponíveis e consideradas relevantes.

Os resultados esperados para a Etapa 1 são:

- a) uma lista de perigos e seus cenários associados por nível de risco; e
- b) uma descrição das causas e efeitos.

Na Etapa 2, definida com Análise de Riscos, deve ser feita uma investigação detalhada das causas e consequências dos cenários mais importantes identificados na Etapa 1. Essa conclusão pode ser obtida através de técnicas que modelem o risco. Isso permite concentrar mais esforços nos cenários que apresentam risco mais alto e identificar e avaliar fatores que podem inclusive influenciar no nível do risco. Nessa etapa, diferentes tipos de risco (ex.: risco à vida humana, risco ao ambiente marinho ou à propriedade) devem ser destacados.

A construção e quantificação de árvores de falha e árvores de eventos podem ser utilizadas para a construção de um modelo de risco. As técnicas também podem ser usadas em conjunto, ou serem utilizadas outras técnicas que tenham sua eficácia comprovada. O resultado esperado para a Etapa 2 da metodologia FSA deve ser a identificação das áreas com maiores incidências de riscos, e que merecem atenção especial.

A Etapa 3 objetiva criar opções de controle dos riscos através da utilização de novas tecnologias ou novos métodos de operação e/ou

gerenciamento. Tanto os riscos já conhecidos como os identificados mais recentemente (oriundos das Etapas 1 e 2) devem ser considerados, produzindo um variado conjunto de medidas de controle de riscos. O resultado da Etapa 3 deve ser:

- a) uma gama de opções de controle de riscos que devem ser estimados de acordo com sua efetividade em reduzir os riscos; e
- b) uma lista de partes interessadas que serão afetadas com a adoção dessas medidas de risco.

Na Etapa 4 deve ser realizada uma análise que identifique e compare os benefícios e também os custos associados com a implementação das opções de controle de risco. Para que isso ocorra deve ser feita análise do custo-benefício das opções. Há alguns índices que expressam a efetividade da adoção das opções de controle de riscos, tais como o *Gross* CAF (Custo Bruto de Evitar uma Fatalidade) e o *Net* CAF (Custo Líquido de Evitar uma Fatalidade), conforme descrito na diretriz da IMO sobre a FSA. Outros índices baseados nos prejuízos e perdas de propriedade e do ambiente podem ser utilizados na análise de custo-benefício quando aplicável.

O resultado da Etapa 4 pode ser expresso por:

- a) cálculo dos custos e benefícios para cada opção de controle de risco identificada na Etapa 3;
- b) custos e benefícios para as partes interessadas que são as mais afetadas pelos problemas em questão; e
- c) relação custo-benefício expressa através de índices apropriados.

Como quinta e última etapa da metodologia FSA, a tomada de decisão tem como objetivo definir recomendações que serão apresentadas aos tomadores de decisão de uma forma que possa ser compreensível e transparente. As recomendações devem ser classificadas de acordo com os níveis de riscos associados, as opções de controle, e a relação custo-benefício.

Para que o processo de entendimento da análise FSA seja mais simples, o relatório final deve:

- 1) fornecer as recomendações finais de forma clara, classificadas e justificadas de forma compreensível e transparente;
- 2) listar os principais perigos, riscos, custos e benefícios identificados durante o processo;

- 3) explicar a base teórica utilizada para definição dos pressupostos, as limitações, os modelos, e as interferências ou dificuldades encontradas para definição das recomendações;
- 4) descrever as fontes, a extensão e a magnitude das incertezas associadas com as recomendações; e
- 5) descrever a composição e experiência do grupo de analistas que realizou a análise FSA.

2.1.3 Fatores humanos na concepção e operação de um sistema

De acordo com Webb e Lamoureux (2003), quando um sistema complexo, como um navio, é concebido, são previstas uma série de funções. Com base em algumas variáveis, tais como: orçamento, finalidade do projeto, tecnologia disponível, custo de pessoal, complexidade, etc. todas as atividades realizadas dentro do sistema concebido serão divididas de alguma forma em operadores humanos, *software* e *hardware*.

Independente da forma que essas atividades forem divididas dentro do sistema, os operadores humanos terão uma função de controle com algum dispositivo de interface (ou uma combinação de dispositivos) para fornecer-lhes a informação necessária para tomar suas decisões e os meios de controle para implementar as decisões dentro do sistema. Essas atividades também podem ser divididas em equipes.

A tendência é cada vez mais afastar os operadores humanos de cumprir funções físicas, tais como elevar e transportar cargas, e destiná-los a funções de processamento de informação, interpretação de dados e informações e posterior tomada de decisões.

Para executar a função do sistema que lhe é atribuída, o operador deve usar as facilidades que lhe são fornecidas para receber informações sobre o sistema e o seu ambiente de operação, interpretar essas informações com base em sua formação e experiência e tomar a decisão de agir ou não, conforme o caso (Figura 3). Dependendo do nível de complexidade e previsibilidade da situação, do treinamento e da experiência do indivíduo, as decisões podem ser rotineiras e baseadas em regras pré-determinadas, ou então exigir uma busca e análise de informações mais complexas e exigir decisões criativas.

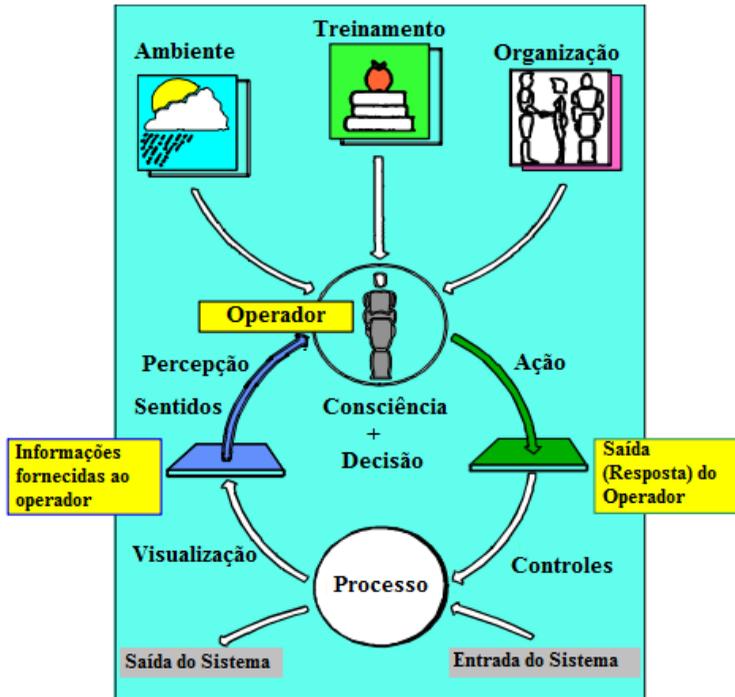
A escolha ou forma da interação varia de acordo com:

- a) as características de cada operador;
- b) as condições ambientais em que trabalham;
- c) do sistema de formação através do qual eles vieram;

- d) dos fatores organizacionais tais como horas de trabalho; e
- e) das atitudes moldadas pela cultura da organização.

É provável que os operadores de uma dada parte do sistema partilhem um perfil específico (idade, grupo socioeconômico, formação, experiência, nível de aptidão, atitudes, etc.), o que tornará suas reações mais previsíveis (WEBB; LAMOUREUX, 2003).

Figura 3 – Fatores Humanos na Operação de um Sistema



Fonte: Adaptado de Webb e Lamoureux (2003).

Dependendo da classe do sistema, como navios, para uma determinada função, como pilotar o navio, a tecnologia fornecida e o próprio trabalho podem diferir significativamente de sistema para sistema (navio para navio). Em alguns navios, o timoneiro pode ficar na cabine e ter condições visuais de olhar para fora dela e verificar os arredores. Já em outros navios, o timoneiro pode ter que trabalhar em um compartimento separado, e somente receber ordens verbais sem ser

capaz de ver onde o navio está indo. Em embarcações menores, o timoneiro pode ser também responsável pelo controle do sistema de propulsão, por exemplo.

Tais diferenças devem ser entendidas através do processo de descrição e análise de tarefas, para o qual existem várias abordagens diferentes. Todo trabalho que trata de fatores humanos pressupõe que as causas e consequências do comportamento humano são suficientemente genéricas para que o trabalho de fatores humanos em um domínio seja transposto para outros (por exemplo, entre controle de processo de uma usina nuclear e piloto de um navio), com identificação e tolerância para diferenças críticas entre domínios e tarefas (WEBB; LAMOUREUX, 2003).

2.1.4 Representação de valores de risco e critérios de aceitação de risco

De acordo com Modarres (2006), devem ser utilizados critérios de aceitação de risco para comparar os resultados da avaliação de risco com os valores julgados como aceitáveis para a tomada de decisões. Para quantificação de um risco é necessário avaliar a estimativa de dois fatores: probabilidade de ocorrência e a severidade da consequência de sua ocorrência.

A classificação das ocorrências pode se dar entre eventos que ocorrem rotineiramente (uma ocorrência todo mês, por exemplo) até eventos com ocorrências extremamente remotas (uma ocorrência durante toda a vida útil de uma instalação, por exemplo). Quanto à severidade, geralmente os riscos podem ser classificados entre desprezíveis, e que nesse caso geralmente não necessitam de nenhum tipo de atuação para que sejam reduzidos, até riscos que possuem um nível considerado inaceitável, e que nesse caso deve ser impeditivo para a realização de determinadas atividades.

Atualmente, de acordo com Soares e Teixeira (2001), a melhor prática recomendada é reconhecer que há três níveis de risco estimáveis: risco intolerável, risco aceitável (ou ALARP - *As low as reasonable practicable*) ou risco insignificante (Figura 4). Risco intolerável significa que o risco não pode ser justificado, e todas as tarefas ou atividades sujeitas à sua ocorrência devem ser evitadas, exceto em circunstâncias extraordinárias. Um risco negligenciável denota que a tarefa ou atividade não necessita de nenhuma precaução adicional para ser executada, pois o risco é desprezível. Já o risco de nível aceitável, se refere aos riscos que se situam entre esses dois estados, e, portanto,

permite que as atividades ou tarefas sejam realizadas, desde que sejam utilizadas medidas de segurança para diminuição da probabilidade de ocorrência de eventos não desejados.

Figura 4 – Critério de Aceitação de Risco (Diagrama ALARP)



Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a HSE (2001), uma sugestão de critério de risco aplicável à navegação envolvendo embarcações pode ser o apresentado no Quadro 2:

Quadro 2 – Riscos individuais aceitáveis para atividades de navegação de acordo com a HSE

Descrição do Risco	Probabilidade de Risco Aceitável
Risco máximo aceitável para tripulantes de navios	10^{-3} ocorrências por ano
Risco máximo aceitável para passageiros de navios	10^{-4} ocorrências por ano
Risco negligenciável	10^{-6} ocorrências por ano

Fonte: Adaptado de HSE (2001).

2.2 TRANSPORTE MARÍTIMO

Segundo Kristiansen (2008), o transporte marítimo de bens e materiais tem sido durante os últimos séculos o principal pré-requisito para o comércio internacional e vem desempenhando um importante papel no desenvolvimento econômico e prosperidade de diversas nações e regiões. O custo do transporte marítimo é muito competitivo em comparação com o transporte terrestre e aéreo, já que permite o ganho de escala, devido à grande quantidade de carga que pode ser

transportada nos navios. O tempo de transporte, o congestionamento nos acessos aos portos e a deficiente integração com outras formas de transporte podem ser citados como os principais aspectos negativos do transporte marítimo.

Dentro do modelo atual do transporte marítimo, as cargas podem ser classificadas em 3 (três) diferentes segmentos: cargas especializadas, cargas a granel e cargas gerais.

As cargas especializadas, como o próprio nome sugere, são aquelas que necessitam de manejo especial, tais como as cargas frigorificadas, que são aquelas que necessitam ser mantidas refrigeradas ou congeladas durante o transporte para que as qualidades essenciais dos produtos sejam preservadas (ex.: peixes, sucos e hortaliças) e as cargas perigosas, que são cargas que podem provocar acidentes devido à sua natureza (ex.: explosivos e substâncias tóxicas).

A carga a granel é aquela que não necessita de acondicionamento em qualquer tipo de embalagem e não apresenta identificação individualizada, podendo ser dividida em granéis sólidos ou líquidos. Como exemplo de granéis sólidos pode-se citar o carvão e os grãos, e de granéis líquidos o petróleo e o gás natural liquefeito (GNL).

Pode-se definir a carga geral como aquela que, de uma maneira geral, vem embalada e necessita de arrumação para ser transportada num navio. Como exemplo de carga geral, podem-se citar chapas de aço, bobinas e veículos.

Para que se tenha ideia da magnitude do transporte marítimo, de acordo com Stopford (2009), no ano de 2005, foram movimentadas 07 (sete) bilhões de toneladas de cargas entre 160 países distintos através desse modal, sendo as cargas gerais responsáveis por 60% dos valores transportados pelo mar anualmente.

2.2.1 Atores envolvidos

Os atores envolvidos no transporte marítimo são os responsáveis para que este aconteça. Podem ser citados como atores, o construtor naval, o proprietário da embarcação, o proprietário da carga, a seguradora, a companhia administradora, o Estado a qual a bandeira do navio está vinculada e as sociedades classificadoras (KRISTIENSEN, 2008).

2.2.1.1 Construtor naval

O construtor naval, como o próprio nome sugere, é o responsável pela construção das embarcações, ou quem possui as condições para modificar ou reconstruir embarcações construídas por terceiros (KRISTIANSEN, 2008).

Atualmente, as maiores companhias construtoras de navios estão estabelecidas na Coreia do Sul. Essas companhias combinadas respondem por 53% (dado de 2011) do mercado global e lideram a produção de navios com alta tecnologia, tais como: navios de cruzeiro, superpetroleiros, navios de transporte de GNL, navios-sonda e navios porta-contêineres de grande porte (CHANEV, 2015).

2.2.1.2 Proprietário da embarcação

Entende-se por proprietário do navio o seu possuidor, ou seja, aquele que tem a embarcação registrada em seu nome. Segundo Castro Júnior (2007, p.51), o “proprietário é o dono da embarcação, aquele em cujo nome a embarcação está registrada no Tribunal Marítimo e é expedida a provisão de registro”.

No Brasil, os proprietários de embarcações impreterivelmente devem ser pessoas físicas ou jurídicas estabelecidas em solo brasileiro. (GIBERTONI, 2005). Os proprietários ou *shipowners* são, em termos práticos, os responsáveis por equipar e explorar os navios comerciais.

2.2.1.3 Armador

De acordo com Rodrigues (2014), o armador pode ser definido com uma empresa mercantil que, a partir de um navio comprado ou alugado, arma o navio, ou seja, coloca a tripulação e demais coisas necessárias para que o navio possa ser operado comercialmente, ou seja, apresta o navio para a viagem.

Conforme a lei nº 9.537, de 11 de dezembro de 1997, o armador é: “pessoa física ou jurídica que, em seu nome e sob sua responsabilidade, apresta a embarcação com fins comerciais, pondo-a ou não a navegar por sua conta” (BRASIL, 1997).

2.2.1.4 Proprietário da carga

Proprietário da carga é a entidade responsável pela carga, ou seja, seu dono, podendo ser distinto do proprietário do navio. Conhecido

internacionalmente como *cargo owner*, o proprietário da carga é o responsável pelo pagamento do serviço de transporte e também pela qualidade e segurança da operação. (KRISTIANSEN, 2008).

2.2.1.5 Segurador

De acordo com o significado morfológico da palavra, o segurador é o garantidor nos ocorridos inerentes à atividade de transporte marítimo, como, por exemplo, em casos de acidentes da navegação.

Segundo Martins (2008), segurador “é a parte na relação contratual que se obriga a indenizar na ocorrência do sinistro”.

2.2.1.6 Companhia administradora

Entende-se por companhia administradora ou *Management Company* aquela que cuida da embarcação, lida com os problemas do dia a dia a que ela está exposta e também cria mecanismos para resolvê-los. É responsável pela tripulação, operação e gestão do navio em nome de seu proprietário (KRISTIANSEN, 2008).

2.2.1.7 Estado de bandeira

De acordo com Sardinha (2013) e Kristiansen (2008), o estado de bandeira de um navio define-se como o Estado ou Federação em cujas leis o navio está registrado ou licenciado. Qualquer país pode ser estado de bandeira, até mesmo não possuindo fronteira marítima, direito esse adquirido através da declaração de direito de bandeira em 1921, e que possui como exemplos a Bolívia e Mongólia.

A Convenção das Nações Unidas Sobre o Direito do Mar (UNCLOS - *United Nations Convention on the Law of the Sea*) estabelece que os estados de bandeira devam exercer de modo efetivo a sua jurisdição e seu controle em questões administrativas, técnicas e sociais, envolvendo os navios e as tripulações desses navios que arvoem a sua bandeira.

2.2.1.7.1 Bandeiras de conveniência

De acordo com Wiswall Júnior (1996), o termo bandeira de conveniência descreve uma prática de negócios no mercado da navegação internacional que consiste na inscrição de um navio mercante em um Estado soberano diferente do Estado dos reais proprietários ou

operadores do navio. Esse país cobra impostos e taxas mínimos, por vezes nulos, e não tem desejo, ou a capacidade, física ou financeira, por vezes ambos, de aplicar sua legislação interna ou a internacional, pertinente a registros de navios, para que um armador arvore sua bandeira. Na maioria das vezes, o Estado não mantém vínculos de qualquer natureza com estes armadores, senão com o objetivo de ganhos financeiros imediatos, ao reduzir custos de registro ou até mesmo esquivar-se de normas de segurança, ambientais ou trabalhistas internacionais, ou mesmo em seu país de origem.

Basicamente, segundo Raposo (1989), os atrativos das bandeiras de conveniência podem identificar-se, conjunta ou separadamente, da seguinte forma:

- fiscalização reduzida;
- encargos de exploração do navio reduzidos (menor tripulação, nível mais baixo de salários, regalias sociais nulas ou quase nulas, custos administrativos inexistentes ou quase inexistentes); e
- políticas de investimentos facilitadas.

Steinberg (2001) apontou que 95% (em tonelagem) dos produtos comercializados internacionalmente e 65% (em valor), são transportados em navios e que a maioria destes navios opera no regime de bandeiras de conveniência.

Os principais países de bandeira de conveniência atualmente são: Libéria, Panamá, Honduras, Costa Rica, Bahamas, Bermudas, Singapura, Filipinas, Malta, Antígua, Aruba, Barbados, Belize, Bolívia, Birmânia, Camboja, Ilhas Canárias, Ilhas Cayman, Ilhas Cook, Chipre, Guine Equatorial, Registro Marítimo Internacional de Alemanha, Gibraltar, Líbano, Luxemburgo, Ilhas Marshall, Maurício, Antilhas Holandesas, San Vicente, Santo Tomé e Príncipe, Sri Lanka, Tuvalu e Vanuatu.

2.2.1.7.2 Bandeiras de conveniência e as condições de trabalho

Segundo Stein (2011), os países de bandeira de conveniência geralmente não cumprem as normas mínimas sociais nem os direitos do movimento sindical dos marítimos. E por sua vez, os países fornecedores dessa mão de obra, onde a tripulação é recrutada, não podem fazer quase nada para protegê-la, uma vez que as normas

aplicadas a bordo são as normas do país onde foi registrado o navio (a legislação do país da Bandeira de Conveniência).

Dessa forma, os trabalhadores que se sujeitam a essas condições, pouco ou nada podem fazer contra as condições impostas, visto que não são filiados a sindicatos ou, quando o são, trata-se de sindicatos sem força alguma para fazer valer leis trabalhistas que tragam dignidade à pessoa humana.

Grande parte dos trabalhadores a bordo desses navios vive em condições precárias. Além disso, possuem salários extremamente baixos, não descansam o tempo necessário e quase não saem de bordo. Ademais, recebem atendimento médico questionável e expõem-se a riscos, vez que os procedimentos de segurança e manutenção dos navios e equipamentos não possuem, via de regra, inspeção adequada.

Ressalte-se, ainda, que alguns dos principais problemas enfrentados por essas tripulações são:

- a) devido à falta de manutenção do navio e dos equipamentos, o trabalho é dificultado e padrões internacionais não são respeitados;
- b) nem sempre o tripulante é embarcado depois de passar por um exame médico. Ou seja, sem a verificação de que o tripulante se encontra em condições para o embarque e trabalho a bordo;
- c) a tripulação reduzida ao extremo, objetivando a diminuição de custos, resulta em uma sobrecarga de trabalho que pode provocar fadiga e acidentes;
- d) tripulações sem qualificação apropriada competem com marítimos qualificados ou até mesmo ocupam funções desses qualificados, recebendo salários menores e oferecendo pouca condição de desempenhar suas funções, ocupando assim, empregos de qualidade;
- e) jornadas excessivas de trabalho, sem o devido descanso ou intervalo entre tarefas, o que as torna extremamente cansativas, prejudicando a atenção e o empenho necessários ao trabalhador de bordo;
- f) existe a probabilidade de, sem supervisão alguma ou sem regras claras a obedecer, de uma extrema instabilidade no emprego, pois o marítimo pode ser desembarcado a qualquer hora, em qualquer porto do mundo;
- g) não existem contratos de trabalho ou, quando existem, podem ser em língua que o trabalhador sequer entende, sem cláusulas adequadas às condições de trabalho do mesmo.

- h) a obrigação de repatriamento ao país de origem, em caso de necessidade (ou até mesmo morte), geralmente não é cumprida pelos armadores que operam neste estado de quase falta de legislação.
- i) os salários pagos por proprietários que registram seus navios em bandeiras de conveniências são baixos e, em não raras vezes, menor até que o mínimo imposto pela Convenção da Organização Internacional do Trabalho (OIT) e pelas convenções nacionais do país da bandeira e, geralmente, menores do que os valores da tabela determinada pela ITF (*International Transport Workers Federation*).

Apesar de se saber que os navios registrados em Bandeiras de Conveniência estão associados a cargas de menor valor econômico e condições de trabalho inferiores, há um franco crescimento do registro de navios nos países que fazem uso dessa prática.

2.2.1.7.3 *Bandeiras de conveniência e a segurança*

Segundo Sardinha (2013), um aspecto que preocupa a comunidade marítima internacional como um todo, diz respeito à possibilidade de utilização de navios em bandeira de conveniência para aproveitamento em ataques terroristas.

Após os atentados ocorridos nos EUA em 2001, uma série de medidas vem sendo tomadas a fim de se reforçar a segurança no transporte marítimo internacional. Entre as medidas adotadas, pode-se destacar a criação do Código Internacional de Segurança para Navios e Instalações Portuárias (*International Ship and Port Facility Security – ISPS Code*).

A elaboração e posterior implantação do *ISPS Code* nos portos de todo o mundo foi liderada pela Guarda Costeira dos EUA (principal agente na delegação dos EUA junto à IMO), em dezembro de 2002.

2.2.1.7.4 *Bandeiras de conveniência e o meio ambiente*

Conforme Sardinha (2013), a efetiva falta de vínculo entre o país do proprietário do navio e do estado de bandeira, e a falha na fiscalização e controle dos navios que arvoram bandeiras de conveniência vem sendo apontados como os principais fatores

envolvidos nos acidentes envolvendo navios em bandeiras de conveniência.

Dentre os principais acidentes citados por Sardinha (2013) envolvendo navios em bandeiras de conveniências, destacam-se os seguintes:

- Em março de 1978, o navio petroleiro ‘Amoco Cadiz’, de bandeira liberiana chocou-se contra recifes a cinco quilômetros do litoral Francês, onde vazaram 230 mil toneladas e óleo cru;
- Em setembro de 1998, o navio-tanque ‘Bahamas’, de bandeira maltesa, despejou cerca de 12 (doze) mil toneladas de ácido sulfúrico no Porto da cidade do Rio Grande;
- Em dezembro de 1999, o navio-tanque ‘Erika’, de bandeira maltesa, afundou na costa da França e acabou despejando mais de 30.000 toneladas de petróleo bruto na região da Bretanha; e
- Em novembro de 2002, o navio petroleiro ‘MV Prestige’, de origem liberiana, afundou e vazou aproximadamente 20.000 toneladas de petróleo na costa da Espanha (Figura 5).

Figura 5 – O Navio MV Prestige afundando



Fonte: El País (2013).

2.2.1.8 Sociedade classificadora

De acordo com Dantas (2006), a origem da legislação aplicada ao exercício da atividade marítima decorreu da própria necessidade da comercialização de mercadorias pela via marítima. O interesse dos

proprietários dos navios de carga em cada vez transportar maiores quantidades, encorajava-os a transportar capacidades além do que os seus navios suportavam, resultando em elevado aumento no número de acidentes e naufrágios. Como resultado de tal conduta, houve não somente perdas financeiras, mas também de vidas.

Em função disto, os proprietários começaram a enxergar nos seguros uma forma de mitigar suas perdas. As companhias de seguro, como forma de reduzir seus riscos e ganhos, passaram num primeiro momento a exigir a chancela de profissionais competentes na construção dos navios, para que fosse possível prover cobertura para uma determinada viagem. Esses profissionais, com o passar do tempo, começaram a não somente opinar sobre a etapa da construção dos navios, mas também a emitir pareceres exclusivamente para navios que haviam sido construídos de acordo com suas próprias recomendações anteriores.

Dessa forma, Dantas (2006, p. 6) afirma que:

[...] foi criado o conceito de classificação, qual seja, o de se conceder um certificado para uma embarcação, atestando que a mesma foi projetada e construída em conformidade com uma regra estabelecida por uma determinada entidade com experiência e reconhecimento de âmbito internacional.

De forma sucinta, Kristiansen (2008, p. 76) define as Sociedades Classificadoras como “as empresas que monitoram algumas funções em nome do Estado da bandeira e realizam controle técnico para fins de seguro, tornando-se, dessa forma, imprescindíveis para o cenário do transporte marítimo”.

2.2.1.9 Praticagem

De acordo com Burkley (2016), a função principal de um prático é de proteger um navio dos perigos do porto onde exerce suas atividades, e para isso, devem ser peritos em manobrar navios, com conhecimento local especializado e preparado para utilizar rebocadores e outros métodos com que a maioria das tripulações dos navios não está familiarizada. Em muitos navios, especialmente naqueles praticamente incapazes de se mover sem o auxílio de rebocadores nas águas restritas e

confinadas de um porto, o práctico conduz e orienta simultaneamente os movimentos dos rebocadores e do navio.

Ainda de acordo com Burkley (2016), a segunda função de um práctico é proteger o porto contra os perigos apresentados pelo navio. Nenhum porto deseja que um desastre marítimo bloqueie seu acesso. Dessa forma, é atribuído ao práctico a responsabilidade de fazer uso, de forma independente, de sua capacidade de julgamento para comandar a manobra do navio com segurança e eficiência, em favor do bem público.

Portanto, a atividade realizada pelos prácticos requer experiência e conhecimento bastante especializados. Não é tarefa simples manobrar um navio, e um erro de decisão por parte desse profissional, pode ocasionar perdas de vidas, danos ao meio ambiente e grandes prejuízos financeiros.

2.2.2 Navios e embarcações

De acordo com Saraceni (2012), os navios podem ser classificados quanto à carga transportada:

- Navios para cargas embaladas e/ou unitizadas;
- Navios graneleiros; e
- Navios-tanque (granel líquido).

2.2.2.1 Navios para cargas embaladas e/ou unitizadas

Saraceni (2012) resumidamente descreve os navios utilizados para o transporte de cargas embaladas e/ou unitizadas da seguinte forma:

- a) Carga Geral (*General Cargo Vessels*) – navios convencionais mais adequados às cargas soltas do que às unitizadas. Com o advento dos contêineres, essa categoria de navio vem se tornando obsoleta, apesar de serem usados em algumas rotas regulares;
- b) Frigorificados (*Reefer Ships*) – navios com porões frigoríficos, capazes de transportar cargas perecíveis (carnes, frutas frescas, etc.) e outras cargas sujeitas ao controle de temperatura através de maiores distâncias;
- c) Porta-contêiner (*Container Ship*) – navios de alta velocidade que contem porões dispostos em células apropriadas ao armazenamento de contêineres (*slots*). São operados pelo sistema *lift-on/lift-off (lo/lo)*, através de equipamentos de bordo (*geared ships*) ou de terra, se não os

possuírem (*gearless ships*). São os navios mais modernos e versáteis, pois podem acomodar os mais diversos tipos de contêineres e cargas, e são somente limitados pelo seu próprio tamanho. De acordo com Rodrigues (2014), somente a partir do ano 2000 alguns terminais portuários brasileiros especializados em contêineres começaram a ter condições de receber e operar navios porta-contêineres de 4ª geração, ou seja, com até 45.000 dwt ou capacidade para até 4.300 TEU. A localização de cada contêiner no navio é dada por três coordenadas: *bay* (porão), *row* (coluna), e *tier* (camada);

- d) *Ro/ro (roll-on/roll-off)* – navios utilizados no transporte de veículos automotores, carretas e *trailers*, que são carregados e descarregados por meios próprios, através de rampas. Possuem rampas e/ou elevadores ligando os diversos níveis de conveses. São navios planejados para que a transferência terra-bordo ou vice-versa seja realizada de forma direto, permitindo grande flexibilidade;
- e) Navios Multipropósito (*Multi Purpose Vessels* ou MPV) – são navios projetados para carregar uma ampla variedade de tipos de carga. Exemplos de cargas que esses navios podem transportar são: madeira, aço, bobinas de papel, etc. Geralmente são equipados com sistemas *ro/ro* e *lo/lo* para que possam carregar a própria carga independente do terminal portuário. Costumam também ser utilizados em transportes que envolvam mar e rios, já que se tratam de navios menores.

2.2.2.2 Navios graneleiros

Os navios graneleiros (granel seco) são navios mais simples, com porões de formas abauladas e sem divisões, que navegam em baixa velocidade e têm um consumo menor de combustível que os porta-contêineres (SARACENI, 2012). São utilizados para transporte de cargas a granel secas, como grãos, minérios, carvão, fertilizantes, etc.

Conforme Lopes (2013), os navios graneleiros tendem a ser utilizados de forma versátil (multi-mercadorias) e nem sempre operam em viagens de porto-a-porto. Frequentemente realizam viagens com triangulação e/ou poucas acostagens. Para esse tipo de navio, a distância náutica entre origem e destino assume grande importância na equação econômica de sua operação.

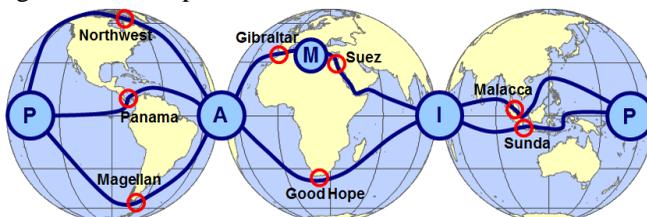
Ainda de acordo com Lopes (2013), os graneleiros são classificados em 06 (seis) principais categorias de tamanho: Pequeno, *Handysize* (ou simplesmente *Handy*), *Handymax*, *Panamax*, *Capesize* e Muito Grande (VL – *Very Large*).

Tipicamente, os navios *Handysize* e *Handymax* devido à sua natureza, dedicados à carga geral, são os que registram maior ritmo de construção. Os navios *Handymax* geralmente têm entre 150 e 200 metros de comprimento e possuem 04 (quatro) guindastes de bordo, que permitem carregar e descarregar em portos de países com infra-estrutura limitada. Seu porte bruto de transporte é de até 60.000 dwt.

A designação *Panamax* resulta dos limites impostos à circulação de navios no Canal do Panamá pelas suas eclusas, que são de aproximadamente 32,3m de largura, 294m de comprimento, e 12m de calado. Os navios da categoria *Panamax* são usualmente dedicados ao transporte de carvão, grãos, e em menor escala, a produtos de aço, madeiras e fertilizantes (LOPES, 2013). O porte bruto usual dos navios *Panamax* fica por volta dos 65.000 dwt chegando ao máximo de 80.000 dwt.

A categoria *Capesize* refere-se aos navios que são incapazes de trafegar tanto pelo Canal do Panamá como pelo Canal de Suez, não necessariamente devido à sua capacidade de carga, mas sim devido ao seu tamanho. O nome *Capesize* se deve ao fato de que necessariamente esses navios para se deslocarem do Oceano Atlântico para o Oceano Pacífico (ou vice-versa) utilizam a rota que passa pelo Cabo Horn (ou *Cape Horn* em inglês), e para atravessar do Oceano Atlântico para o Oceano Índico (ou vice-versa), precisam contornar o continente africano através do Cabo da Boa Esperança (ou *Cape of Good Hope* em inglês), conforme apresentado na Figura 6. O porte bruto dos navios *Capesize* fica entre 80.000 dwt e 175.000 dwt.

Figura 6 – Principais Rotas Marítimas Mundiais



Fonte: Rodrigue, Comtois e Slack (2006)

Acima dos navios *Capesize* há somente a categoria dos Muito Grandes, ou VL (*Very Large*), que são navios utilizados para transporte de minérios, e possuem porte bruto acima de 200.000 dwt. Segundo Rodrigue, Comtois e Slack (2006), o navio *Berge Stahl* (entregue em 1986), com porte bruto de 365.000 dwt, comprimento de 343m, 65m de largura, e calado de 25m era o maior navio graneleiro em operação até o ano de 2011, quando o lançamento do navio Vale Brasil (Figura 7) ocorreu. De acordo com VALE (2012), a primeira carga do navio Vale Brasil foi transportada do Terminal Portuário de Ponta da Madeira/MA até o Porto de Taranto, na Itália. Devido ao seu tamanho, e graças à eficiência do motor elétrico a diesel, o navio Vale Brasil emite 35% menos carbono por tonelada de carga transportada do que um navio *Capesize*.

Figura 7 – Navio Vale Brasil



Fonte: VALE (2012).

2.2.2.3 Navios-tanque (granel líquido)

Conforme Rodrigues (2014), os navios tanque são projetados para transportar graneis líquidos, sobretudo derivados de petróleo. São navios que possuem bombas e sistemas de aquecimento para carga e descarga. Segundo Saraceni (2012), a carga transportada por esses navios é bombeada de terra para dentro dos tanques do navio através de mangotes, no carregamento, e bombeada, pelo navio, em sentido inverso, na descarga. A NORMAM 01/2000 da DPC (Diretoria de Portos e Costas) considera como embarcação tanque “aquela construída

ou adaptada para o transporte a granel de cargas líquidas de natureza inflamável. Os demais navios que transportam graneis líquidos são considerados navios de carga”.

Os navios-tanque podem ser classificados em:

- a) Petroleiros – A convenção MARPOL-73 da IMO e a NORMAM 01/2000 da DPC definem navio petroleiro como

[...] navio construído ou adaptado principalmente para o transporte de óleo a granel nos seus compartimentos de carga ou navio-tanque químico, quando estiver transportando uma carga total ou parcial de óleo a granel,

ou seja, os petroleiros podem ser definidos como navios utilizados para o transporte de petróleo bruto e seus derivados. De acordo com Saraceni (2012), dependendo da carga a ser transportada, esses navios podem ter seus tanques revestidos por materiais especiais, tais como: epóxi, silicato de zinco, etc. e também possuem sistemas de aquecimento tais como serpentinas ou trocadores de calor;

- b) Gaseiros – São navios capazes de transportar gases em estado líquido, através de pressurização, refrigeração ou pela combinação de ambos os processos. Segundo Saraceni (2012), esses navios podem transportar GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), GNL (Gás Natural de Petróleo), ou gases petroquímicos (eteno, butadieno, propeno, etc.) dependendo de suas características e capacidade;
- c) Químicos – A convenção MARPOL-73 elaborada pela IMO e a NORMAM 01/2000 pela DPC definem navio-tanque químico como sendo um

[...] navio construído ou adaptado principalmente para transportar substancias nocivas líquidas a granel nos seus compartimentos de carga ou navio-tanque, quando estiver transportando uma carga total ou parcial de substancias nocivas à granel.

Geralmente, de acordo com Saraceni (2012), esse tipo de navio é composto de inúmeros tanques com pequenas

dimensões individuais. Tal característica permite o transporte de várias cargas diferentes, otimizando o custo de transporte. Devido às características especiais dos produtos transportados por esses navios, muitos deles possuem equipamentos sofisticados.

2.2.3 Sistema Portuário Brasileiro

Conforme redação da lei nº 12.815, de 5 de junho de 2013, de forma geral os portos brasileiros podem ser classificados como Portos Organizados ou Terminais de Uso Privado (TUP).

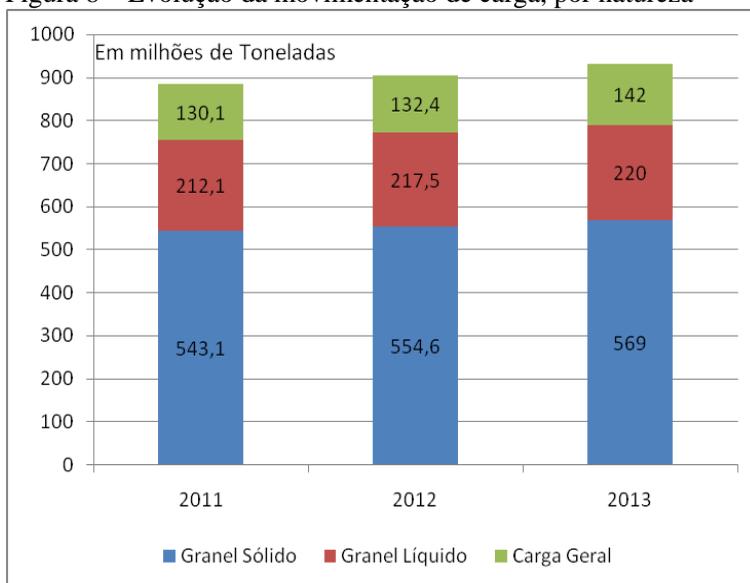
Os Portos Organizados são definidos como um bem público construído e aparelhado para atender a necessidades de navegação, de movimentação de passageiros ou de movimentação e armazenagem de mercadorias, e cujo tráfego e operações portuárias estão sob jurisdição de autoridade portuária, enquanto que os TUPs são instalações portuárias exploradas mediante autorização, e localizados fora das áreas de porto organizado.

Atualmente, segundo a SEP (2015b), existem 37 Portos Públicos organizados no Brasil, e nessa categoria, encontram-se os portos com administração exercida pela União, no caso das Companhias Docas, ou delegada a municípios, estados ou consórcios públicos.

Quanto aos TUPs, até o mês de novembro de 2014, haviam 164 terminais autorizados pelo Governo Federal, dos quais 131 encontravam-se em operação.

De acordo com a ANTAQ (2014), a movimentação total nas instalações portuárias brasileiras foi de 931 milhões de toneladas no ano de 2013, apresentando um incremento de 2,9% em relação ao ano de 2012. As cargas a granel representaram 84,7% do total movimentado, sendo que somente a movimentação de granel sólido representou 61,1%, apresentando desempenho 2,6% superior a 2012, conforme mostra a Figura 8. O incremento observado foi liderado pelos produtos do setor agrícola, com destaque para a movimentação de soja, milho e fertilizantes e adubos.

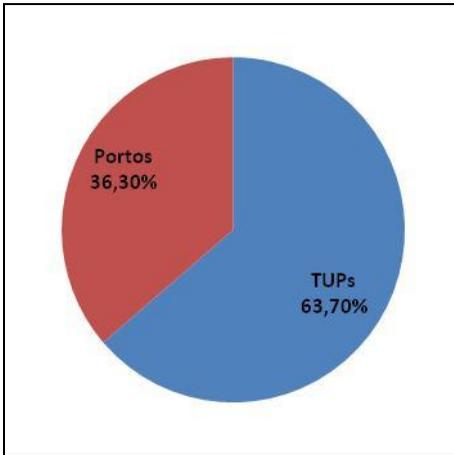
Figura 8 – Evolução da movimentação de carga, por natureza



Fonte: Adaptado de ANTAQ (2014).

Os portos organizados movimentaram aproximadamente 36% do total (338,3 milhões de toneladas), valor 6,8% superior comparativamente a 2012, sendo que os portos de Santos (SP), Itaguaí (RJ), Paranaguá (PR), Rio Grande (RS) e Itaqui (MA) juntos representaram 70% da movimentação total de carga dos portos organizados. Em contrapartida os TUPs representaram aproximadamente 64% do total de cargas em 2013, percentual que vem apresentando um pequeno decréscimo nos últimos 4 anos. A Figura 9 representa a participação dos Portos Organizados e TUPs no transporte de cargas no ano de 2013.

Figura 9 - Participação na movimentação de cargas (2013) / Portos x TUPs



Fonte: Adaptado de ANTAQ (2014).

2.2.4 Portos

Segundo Santos (2008), um porto pode ser definido como o local de enlace dos sistemas intermodais de transportes, um lugar na costa ou em um rio, canal, lago, que por oferecer às embarcações certo abrigo, permite o fundeio ou amarração e estabelecer contatos ou permuta de mercadorias com a terra. O porto, em síntese, tem por finalidade específica proporcionar proteção às embarcações acossadas por temporais gerados pela ação dinâmica de agentes externos, acolhendo-os em zona de abrigo, onde poderão fundear, manobrar ou transbordar cargas.

Degrassi (2001) afirma que o local de instalação de um porto pode ser modificado e/ou transformado através de intervenção humana para atrair operadores marítimos externos. Os padrões naturais de um porto são primordiais quando a acessibilidade geográfica está sendo considerada.

As principais características para que um porto prospere segundo Degrassi (2001) são:

- a) Acesso seguro ao porto (local de carga/descarga);
- b) Profundidade suficiente para operação das embarcações;
- c) Maré tranquila (sem grandes ondas e variações);

- d) Condições climáticas favoráveis, permitindo dessa forma a operação durante todo o ano e não somente em algumas épocas; e
- e) Localização geográfica adequada ao desenvolvimento das infraestruturas e superestruturas adequadas visando a plena exploração das funções do porto.

Segundo Pereira *et al.* (2013), os portos são constituídos por 03 (três) áreas distintas, e que podem ser classificadas em: Anteporto, Porto e Retroporto. Sendo essas áreas subdividas da seguinte forma:

- a) Anteporto:
 - a. Fundeadouros; e
 - b. Canal de Acesso;
- b) Porto:
 - a. Bacia de Evolução;
 - b. Cais de Atracação; e
 - c. Estação de Serviços;
- c) Retroporto:
 - a. Acessos terrestres;
 - b. Locais de Armazenagem;
 - c. Instalações Auxiliares; e
 - d. Administração.

2.2.4.1 Fundeadouro

Os fundeadouros (ou ancoradouros) são áreas próximas do porto destinadas à ancoragem das embarcações que aguardam atracação para efetuarem operações de carga e descarga de mercadorias, ou atividades de transbordo para outras embarcações.

Um fundeadouro deve preferencialmente estar localizado de forma a oferecer razoável segurança contra o mau tempo, embora não ofereça boas condições de abrigo.

De acordo com Santos (2008), os fundeadouros são geralmente estabelecidos em bacias, estuários ou em amplas enseadas, parcialmente abrigadas por saliências ou estruturas fixas, pela conveniente distribuição das curvas batimétricas.

Dependendo de sua localização, a entrada do porto poderá ter embocadura fluvial. Apenas quando não existirem dimensões naturais compatíveis, haverá necessidade de prover um fundeadouro artificial nesse caso.

A situação, as dimensões e propriedades dos ancoradouros segundo Santos (2008) serão determinadas levando-se em conta:

- a) os calados;
- b) as variações altimétricas da superfície aquática;
- c) os tamanhos e modalidades de propulsões das embarcações;
- d) a proteção contra os ventos;
- e) o leito apropriado para fundear as âncoras;
- f) a extensão suficiente de superfície d'água para permitir o giro das embarcações ancoradas, devido a mudanças meteorológicas ou para que as embarcações possam manobrar para sair ou entrar com ou sem auxílio de rebocadores, devendo estar a área de manobras limitada por balizas.

Ainda de acordo com Santos (2008), os ancoradouros que apresentam fundos de argila, tabatinga, somente areia, ou areia e argila, acabam sendo os melhores. Caso os fundos do ancoradouro sejam compostos por rocha e areia compactada ou aglutinada, o ancoradouro não oferecerá boa tença e aqueles formados de pedras soltas ou rochas com fendas, poderão agarrar as ancoras obrigando, muito das vezes, ao seu abandono, pela impossibilidade do seu içamento.

2.2.4.2 Bacia de evolução

Denomina-se bacia de evolução como sendo a superfície líquida dotada de dimensão e profundidades adequadas para que uma embarcação realize uma revolução completa, ou inversão do sentido de sua marcha nas proximidades do cais. Essa manobra pode ser realizada com recursos próprios da embarcação (máquinas e/ou hélices), com o auxílio de âncoras e máquinas, ou então com a utilização de navios rebocadores.

Conforme Santos (2008), quando a manobra é feita utilizando-se o auxílio de 02 (dois) navios rebocadores, sendo um na popa e outro na proa (Figura 10), o diâmetro da bacia de evolução exigido será aproximadamente igual ao comprimento da embarcação, já que a embarcação girará em torno de si mesma.

Figura 10 – Navio Gaseiro (GNL) sendo manobrado com auxílio de 02 (dois) navios rebocadores



Fonte: Rodrigue, Comtois e Slack (2006).

2.2.4.3 Docas

Doca pode ser definida como a parte abrigada de um porto, ladeada de muros ou cais, onde as embarcações podem se recolher para fugir do mau tempo, e onde atracam os navios para carga e descarga, servindo também como dique para construção ou reparo de navios e armazenamento de mercadorias para o comércio marítimo. (SANTOS, 2008)

2.2.4.4 Obras de proteção

Segundo Pereira *et al.* (2013), as obras de proteção de um porto podem ser sucintamente classificadas em: Quebra Mares e Molhes.

Os quebra-mares são estruturas rígidas que tem como finalidade principal proteger a entrada de um porto de ondas e que possuem ambas as extremidades dentro da água.

Já os molhes são estruturas que tem como finalidade manter uma barra fixa e navegável, isto é que permaneça no mesmo local e livre do assoreamento. São estruturas, que ao contrário dos quebra mares, possuem uma das extremidades ligada à costa (APRH, 2007).

2.2.4.5 Classificação dos portos

Quanto à classificação dos portos, Degrassi (2001) menciona que a classificação pode ser realizada de 03 (três) formas: quanto à localização, quanto à infraestrutura e quanto ao nível de atividade. Sendo assim, quanto à localização, segundo a NGA (2009), os portos podem ser classificados em:

- a) Portos Costeiros ou litorâneos – São portos marítimos no sentido estrito devido ao fato de estarem ‘com vista’ para o mar; ou
- b) Portos Fluviais – Estão localizados ao longo das margens de rios, mas acima do seu estuário.

Os portos costeiros ou litorâneos podem ser subdivididos em:

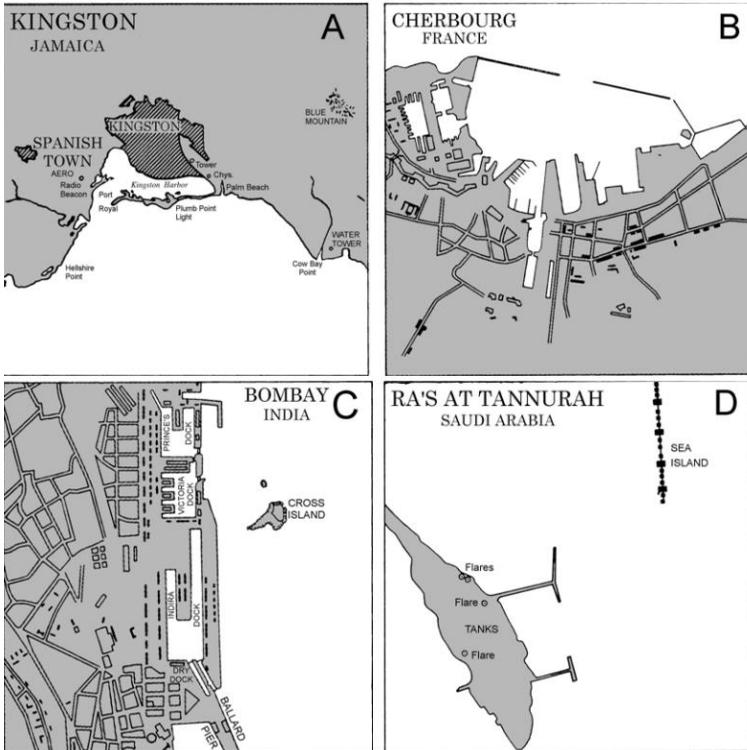
- a) Portos Naturais – Portos abrigados naturalmente, ou seja, onde não se faz necessária intervenção humana para modificar o local de instalação do porto. Ex.: Porto de Kingston, Jamaica. (Figura 11) (Detalhe A);
- b) Portos com Quebra-mar – Portos abrigados artificialmente, onde houve necessidade da construção de estruturas de quebra-mar para prover abrigo ou melhorar o abrigo provido pela própria natureza (Figura 11) (Detalhe B) Ex.: Porto de Cherbourg, França;
- c) Porto com Comportas – Portos costeiros, cujas águas necessitam da utilização de comportas ou outros dispositivos mecânicos, a fim de fornecer água suficiente para que os navios flutuem em todos os estágios das marés. Ex.: Porto de Bombain, Índia. (Figura 11) (Detalhe C); e
- d) Portos de Águas Abertas – Portos sem nenhum tipo de proteção natural dos ventos, marés e ondas. Ex: Porto de Ras At Tannurah, Arábia Saudita. (Figura 11) (Detalhe D).

Os portos fluviais também possuem subdivisões:

- a) Portos Naturais – Portos localizados em rios, cujas águas não são retidas por nenhum meio artificial. As instalações desse tipo de porto geralmente consistem em cais paralelos

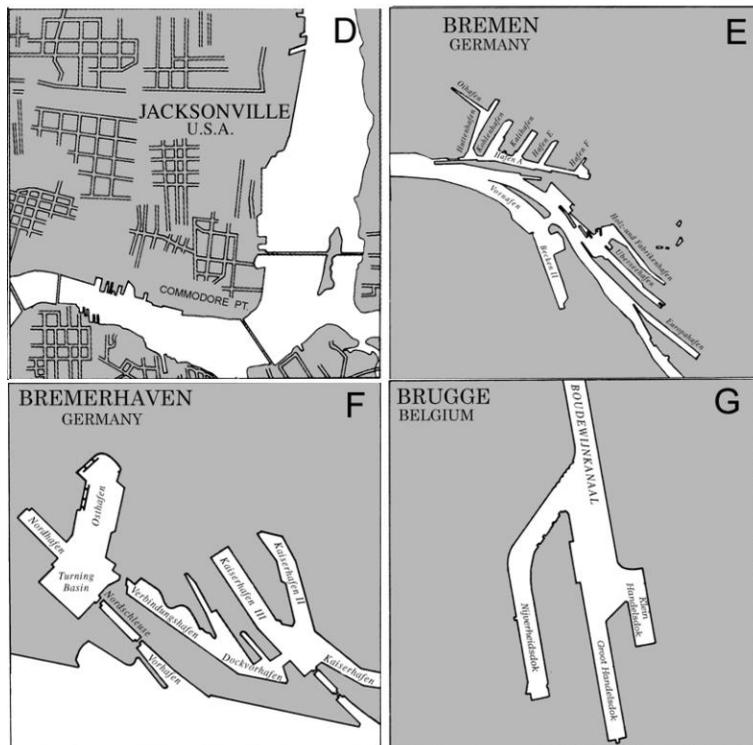
- às margens do rio. Ex.: Porto de Jacksonville, Estados Unidos. (Figura 12) (Detalhe D);
- b) Portos em Bacias – Portos em que bacias foram criadas artificialmente, estendendo o rio para permitir o tráfego e atracação de embarcações. Geralmente essas extensões são feitas obliquamente ou em ângulos retos em relação ao eixo da corrente do rio. Ex: Porto de Bremen, Alemanha. (Figura 12) (Detalhe E);
- c) Porto com Comportas – Igualmente aos portos com comportas costeiras, esses são portos fluviais cujas águas necessitam da utilização de comportas ou outros dispositivos mecânicos, a fim de fornecer água suficiente para que os navios flutuem em todos os estágios das marés. Ex.: Porto de Bremerhaven, Alemanha. (Figura 12) (Detalhe F); e
- d) Portos com Canais ou Lagos – Portos fluviais localizados na porção interior de canais ou lagos, e cuja conexão com o mar se dá através de um canal navegável Ex.: Porto de Bruges, Bélgica. (Figura 12) (Detalhe G).

Figura 11 – Tipos de Portos Costeiros ou Litorâneos



Fonte: Adaptado de NGA (2009).

Figura 12 – Tipos de Portos Fluviais



Fonte: Adaptado de NGA (2009).

Para Degrassi (2001), os portos também podem ser classificados quanto à sua infraestrutura, sendo possível distingui-los nas seguintes categorias:

- a) Portos Comerciais – Portos não especializados. A atividade desse tipo de porto limita-se somente ao recebimento e redistribuição mercadorias. A tipologia das mercadorias manipuladas nesses portos é bastante variada;
- b) Portos Industriais – A sua atividade está orientada para materiais e produtos semiacabados fornecidos às indústrias. Assim sendo, cargas a granel acabam sendo predominantes nesse tipo de porto;
- c) Portos turísticos;
- d) Portos de Pesca; e

- e) Portos multifuncionais – Aqueles, que como o nome já diz, atendem vários tipos de cargas, e que acabam sendo os portos mais relevantes.

E, por último, Degrassi (2001) também classifica os portos quanto ao nível de alcance de suas atividades:

- a) Portos Internacionais;
- b) Portos Regionais;
- c) Portos Nacionais; e
- d) Portos locais.

2.2.5 Órgãos Reguladores do Transporte Marítimo

2.2.5.1 International Maritime Organization (IMO)

Devido ao caráter internacional do transporte marítimo, é de consenso geral que a adoção de medidas para melhorar a segurança das operações marítimas seriam mais efetivas através de marcos internacionais ao invés de ações isoladas de cada país, sem integração com os demais. A partir desse contexto, no ano de 1948 durante uma conferência das Nações Unidas em Genebra (Suíça), foi adotada a Convenção da Organização Marítima Consultiva Internacional (IMCO), criando formalmente a primeira organização internacional destinada exclusivamente às questões marítimas e congregando naquela ocasião 32 países.

No período de 10 anos compreendido entre a sua criação e seu efetivo início de funcionamento, em 1958, outros problemas relacionados com a segurança marítima também foram despertando a atenção internacional, e exigiam um enfoque diferente. Um dos problemas mais importantes era a ameaça de contaminação das águas dos mares causadas pelo crescente tráfego de navios cargueiros na época. Em 1954, o Reino Unido realizou uma conferência sobre a poluição dos oceanos que resultou na adoção da Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição do Mar por Óleo (OILPOL).

Durante o ano de 1982, foi adotada a atual denominação: Organização Marítima Internacional (IMO). Naquela época a IMO já tinha marcado a sua presença em vários campos da atividade marítima, com destaque para a segurança da navegação e para a proteção do meio ambiente marinho. Durante 1985, o sequestro do navio de passageiros *Achile Lauro* ocasionaria a entrada da IMO nas questões destinadas à

prevenção dos atos terroristas contra os navios, seus passageiros e suas tripulações.

A IMO é uma organização técnica cujo trabalho, em sua maior parte, é realizado por comitês e subcomitês.

De acordo com Corrêa Fernandes (2012), a IMO possui cinco comitês, sendo esses responsáveis pela discussão dos assuntos técnicos, e encaminhando suas decisões posteriormente para o Conselho, para ratificação. São eles:

- a) Comitê de proteção do meio marinho (MEPC) – criado em assembleia realizada em novembro de 1973, e se encarrega de coordenar as atividades relacionadas a prevenção e controle da poluição causada aos mares pelos navios;
- b) Comitê Jurídico (LEG) – constituído originalmente para cuidar somente dos problemas jurídicos resultantes, segundo Corrêa Fernandes (2012), do acidente sofrido com o navio petroleiro *Torrey Canyon*, em 1967, no Atlântico Norte, provocando o derramamento de cerca de 120.000 toneladas de óleo cru nas costas do Reino Unido e da França, com consequências desastrosas para o meio ambiente desses países, mas que posteriormente adquiriu caráter permanente, encarregando-se de examinar todas as questões de ordem jurídica pertinentes à organização;
- c) Comitê de Segurança Marítima (MSC) – um dos principais componentes da IMO juntamente com a Assembleia e o Conselho, constituídos em 1948 na criação da agência. Atualmente, o MSC se destina a resolver todas as questões relativas à segurança da navegação;
- d) Comitê de Facilitação (FAL) – comitê encarregado das atividades e funções a fim de facilitar o tráfego marítimo internacional, com o objetivo de reduzir as formalidades e simplificar a documentação exigida dos navios ao entrar e sair de portos e terminais; e
- e) Comitê de Cooperação Técnica (TC) – Segundo Corrêa Fernandes (2012), esse comitê coordena os assuntos relativos à cooperação técnica que envolva a IMO, tanto nos casos em que ela atua como participante quanto nos casos em que é executora.

A IMO é considerada uma das mais atuantes agências especializadas da ONU (CORRÊA FERNANDES, 2012), já tendo produzido desde a sua criação mais de 60 tratados internacionais. A

Organização congrega hoje 170 (cento e setenta) estados membros e mais 3 (três) membros associados, tendo um orçamento de mais de 30 milhões libras esterlinas para 2012, correspondendo a aproximadamente 50 milhões de dólares norte-americanos, em junho do mesmo ano. Além disso, é o único órgão especializado das Nações Unidas com sede no Reino Unido.

2.2.5.2 Diretoria de Portos e Costas

A Diretoria de Portos e Costas, com sede na cidade do Rio de Janeiro, foi criada originalmente com o nome de Inspetoria de Portos e Costas, subordinando todas as Capitânicas existentes no país a mencionada Inspetoria. Em 1968 passou a denominar-se Diretoria de Portos e Costas.

A Diretoria de Portos e Costas é um órgão da administração pública federal direta. Trata-se de uma das entidades mais relevantes que atuam na atividade marítima. A DPC, como representante da Autoridade Marítima Brasileira (AMB), administra o Sistema do Ensino Profissional Marítimo (SEPM) e suas atividades correlatas, participa de foros internacionais, visa a elaborar e a aperfeiçoar as Convenções marítimas, bem como a punir, fiscalizar, editar e implementar várias normas marítimas, a fim de contribuir para a segurança do tráfego aquaviário, a prevenção da poluição hídrica e a salvaguarda da vida humana no mar. (CASTRO JÚNIOR, 2007).

2.2.5.3 Tribunal Marítimo

Segundo Santos (2013), o caso do navio a vapor alemão *Baden*, que em 1930 deixou irregularmente o porto do Rio de Janeiro e acabou sendo metralhado, foi o grande motivador à criação do Tribunal Marítimo Brasileiro. Na oportunidade, o Tribunal Marítimo Alemão considerou ter havido precipitação do comandante do navio, bem como negligência das fortalezas brasileiras, as quais o metralharam. Enquanto isso, no Brasil, houve apenas um inquérito administrativo, já que o país não possuía órgão capaz de fazer maiores considerações sobre o ocorrido. Tal fato, dentre outros incidentes, influenciaram a subcomissão parlamentar de Direito Marítimo a elaborar um anteprojeto prevendo a criação de tribunais marítimos administrativos no país. Essa ideia foi incorporada ao Decreto nº 20.829, de 1931, que tratou de reorganizar a marinha mercante brasileira. O Tribunal Marítimo Brasileiro veio a ser regulamentado pelo Decreto nº 24.585, de 5 de

julho de 1934 e instalado no ano de 1935. Desde aquela época, com a publicação anual de suas jurisprudências, a história desse importante órgão do transporte marítimo vem sendo consolidada. O primeiro Acórdão emitido pelo Tribunal foi relativo ao processo nº 29, de 1934, sobre o encalhe do navio *Hiate Venus*.

Conforme Santos (2013):

[...] o Tribunal Marítimo tem como objetivo estabelecer as circunstâncias relevantes de cada acidente; investigar os fatores que lhes deram origem; publicar suas causas e fazer recomendações apropriadas à Autoridade Marítima, com vistas a alterações preventivas às Normas que tratam da segurança da navegação, à preservação da vida humana e proteção do meio ambiente marinho. O Tribunal Marítimo é um órgão autônomo, auxiliar do Poder Judiciário, vinculado ao Comando da Marinha, tem como atribuições julgar os acidentes e fatos da navegação marítima, fluvial e lacustre, bem como manter o registro da propriedade marítima, com jurisdição em todo o território nacional.

2.2.5.4 ANTAQ

A Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) tem por finalidade implementar as políticas formuladas pelo Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil e pelo Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transporte (CONIT), seguindo os princípios e diretrizes estabelecidos na legislação.

É a agência responsável por regular, supervisionar e fiscalizar as atividades de prestação de serviços de transporte aquaviário e de exploração da infraestrutura portuária e aquaviária.

A Agência tem como objetivo tornar mais econômica e segura a movimentação de pessoas e bens pelas vias aquaviárias brasileiras, em cumprimento a padrões de eficiência, segurança, conforto, regularidade, pontualidade e modicidade nos fretes e tarifas.

A ANTAQ também arbitra conflitos de interesses para impedir situações que configurem competição imperfeita ou infração contra a ordem econômica, e harmoniza os interesses dos usuários com os das empresas e entidades do setor, sempre preservando o interesse público.

Constituem esfera de atuação da ANTAQ:

- a) navegação fluvial, lacustre e de travessia;
- b) navegação de apoio marítimo, de apoio portuário, de cabotagem e de longo curso;
- c) portos organizados e as instalações portuárias neles localizadas;
- d) terminais de uso privado (TUP);
- e) estações de transbordo de carga;
- f) instalações portuárias públicas de pequeno porte; e
- g) instalações portuárias de turismo.

2.2.5.5 SEP/PR

A Secretaria de Portos da Presidência da República (SEP/PR) foi criada pela Medida Provisória (MP) n° 369 de 07 de maio de 2007, e convertida na Lei 11.518 de 2007.

A área de atuação da SEP/PR compreende a formulação de políticas e diretrizes para o desenvolvimento e o fomento do setor de portos e instalações portuárias e, especialmente, promover a execução e a avaliação de medidas, programas e projetos de apoio ao desenvolvimento da infraestrutura e superestrutura dos portos e instalações portuárias marítimos, fluviais e lacustres.

Além disso, figura também como atribuição da SEP/PR elaborar os planos gerais de outorgas, aprovar os planos de desenvolvimento e zoneamento dos portos, e principalmente promover a modernização, a eficiência, a competitividade e a qualidade das atividades portuárias. (SEP/PR, 2015b).

2.2.6 Acidentes de navegação

Os acidentes da navegação estão descritos no art. 14 da Lei n.º 2.180/54. Tratam-se dos eventos ocorridos na jurisdição do Tribunal Marítimo, dentre outros, como naufrágio, encalhe, colisão, abalroação, água aberta, explosão, incêndio, varação, arribada e alijamento, avaria ou defeito nas instalações do navio, que ponha em risco a embarcação, as vidas e fazendas de bordo (CASTRO JÚNIOR, 2007).

2.2.6.1 Tipos de acidente

De acordo com Santos (2013), a NORMAM 09/DPC, dentre outras finalidades, aclara o entendimento dos termos caracterizados como acidentes e fatos de navegação, descritos nos Artigos 14 e 15 da

Lei N° 2.180/54. Seguem as respectivas definições de acidentes de navegação de acordo com o estabelecido no Capítulo 1 – 0106:

a) acidentes de navegação:

1) naufrágio, encalhe, colisão, abalroação, água aberta, explosão, incêndio, varação, arribada e alijamento, sendo:

I. naufrágio: afundamento total ou parcial da embarcação por perda da flutuabilidade decorrente de embarque de água em seus espaços internos devido a adernamento, emborcamento ou alagamento;

II. encalhe: contato das chamadas obras vivas (abaixo da linha d'água) da embarcação com o fundo das águas, provocando resistências externas que dificultam ou impedem a movimentação da embarcação;

III. colisão: choque mecânico da embarcação e/ou seus apêndices e acessórios, contra qualquer objeto que não seja outra embarcação ou, ainda, contra pessoa (banhista, mergulhador). Assim, haverá colisão se a embarcação se chocar com um corpo fixo ou flutuante insusceptível de navegar ou manobrar, tal como: recife, cais, casco soçobrado, boia, cabo submarino, etc;

IV. abalroação ou abalroamento: choque mecânico entre embarcações ou seus pertences e acessórios;

V. água aberta: ocorrência de abertura nas obras vivas (abaixo da linha d'água) que permita o ingresso descontrolado de águas nos espaços internos, ou a descarga de líquidos dos tanques, por rombo no chapeamento, falhas no calefato, ou nas costuras, por válvulas de fundo abertas ou mal vedadas, por defeitos nos engaxetamentos dos eixos, ou qualquer falha, ou avaria que comprometa a estanqueidade da embarcação;

VI. explosão: combustão brusca provocando a deflagração de ondas de pressão de grande intensidade;

VII. 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;

VIII. variação: ato deliberado de fazer encalhar ou pôr em seco a embarcação, para evitar que evento mais danoso sobrevenha;

IX. alijamento: é o ato deliberado de lançar n'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;

X. 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.

2) avaria ou defeito no navio, ou nas suas instalações (aparelhos, equipamentos, peças, acessórios e materiais de bordo), que ponha em risco a embarcação, as vidas e fazendas de bordo.

b) fatos de navegação:

1) o mau aparelhamento ou a impropriedade da embarcação para o serviço em que é utilizada e a deficiência da equipagem, sendo:

I. mau aparelhamento da embarcação: a falta, ou a impropriedade de aparelhos, equipamentos, peças sobressalentes, acessórios e materiais, quando em desacordo com o projeto aprovado, as exigências da boa técnica marinheira e demais normas e padrões técnicos recomendados;

II. impropriedade da embarcação para o serviço, ou local é que é utilizada: utilização da embarcação em desacordo com sua destinação, área de navegação, ou atividade estabelecidas em seu Título de Inscrição;

III. deficiência de equipagem: falta ou deficiência quanto à quantidade e à qualificação de tripulantes, em desacordo com as exigências regulamentares, como a do cumprimento do Cartão de Tripulação de Segurança (CTS) da embarcação;

2) alteração de rota: desvio da derrota inicialmente programada e para a qual o navio estava aprestado, pondo em risco a expedição ou gerando prejuízos;

3) má estivação da carga que sujeite a risco à segurança da expedição: má peação, colocação em local inadequado, ou a má arrumação do porão, no

convés ou mesmo no interior do container, quer no granel, quer na carga geral, sem observar, ainda, a adequabilidade da embalagem, pondo em risco a estabilidade do navio, a integridade da própria carga e das pessoas a bordo;

4) recusa injustificada de socorro: à embarcação em perigo;

5) todos os fatos que prejudiquem ou ponham em risco a incolumidade e segurança da embarcação, as vidas e fazendas de bordo;

6) o emprego da embarcação, no todo ou em parte, na prática de atos ilícitos, previstos em lei como crime ou contravenção penal, ou lesivos à Fazenda Nacional (como o caso de contrabando ou descaminho).

Ressalta-se, aqui, o fato de que ao contrário do que ocorre em outros países e em suas legislações, no Brasil, a NORMAM 09/DPC diferencia as colisões em que há choque de uma embarcação contra outra embarcação, acidente esse definido como abalroação ou abalroamento, das colisões onde há choque de uma embarcação contra qualquer outro objeto que não seja outra embarcação, acidente esse definido como colisão. Nos Estados Unidos e no Reino Unido, por exemplo, existe somente o acidente definido como *collision*, independente do fato de a colisão envolver outra embarcação ou outro objeto qualquer que não seja embarcação.

2.2.7 Tecnologias empregadas na redução do risco no tráfego marítimo

2.2.7.1 VTS (*Vessel Traffic Service*)

Em 1948 o Porto de Liverpool (Inglaterra) tornou-se o primeiro porto a utilizar estação radar em terra com o objetivo de auxiliar a navegação (HUGHES, 1998). Com a popularização do transporte marítimo e o conseqüente aumento no número de acidentes, o conceito de gestão de tráfego de embarcações através de radares difundiu-se globalmente, até que, em 1985, a IMO aprovou a resolução A.578 (14), a qual definiu as primeiras diretrizes para os serviços VTS (*Vessel Traffic Service*). Atualmente os Sistemas VTS, além de desempenharem um importante papel na busca de melhorias na segurança e eficiência da

navegação, têm como premissa básica o auxílio na proteção do ambiente marinho. (AMSA, 2013)

Um VTS é um serviço de assessoramento para o tráfego marítimo. Ele deve fornecer orientação e informação aos tripulantes e navios que passam através da área de cobertura do sistema. O monitoramento do tráfego é feito pelo centro de controle do VTS. (PIANC, 2002). A Resolução A.857(14) da IMO, de 1985, define que um Sistema VTS é:

[...] um serviço projetado para melhorar a segurança e a eficiência do tráfego de embarcações e proteger o ambiente. O serviço deve ter a capacidade de interagir com o tráfego e responder a situações que estejam ocorrendo dentro da área VTS.

Após a publicação dessa resolução, os Sistemas VTS começaram a difundir-se e uniformizar-se, ocasionando, assim, a comunicação e consequente troca de informações entre países que compartilham uma mesma região geográfica e marítima

Conforme a NORMAM/26-DHN,

[...] para um VTS cumprir seu propósito de forma eficiente, é preciso que as embarcações que naveguem dentro da Área de VTS não só conheçam o serviço, mas também o papel que devem desempenhar dentro de um esquema de monitorização ativa. Isso se torna particularmente importante para as embarcações estrangeiras ou nacionais com pouco ou nenhum conhecimento local.

Os sistemas VTS são utilizados tanto em portos como em hidrovias pelo mundo todo, e enquanto a responsabilidade pelo controle do navio recai sobre seu comandante (auxiliado pelo práctico), o centro de controle do VTS local (Figura 13) pode solicitar ao navio que atenda a certas exigências para a operação segura do porto, como por exemplo:

- Observar os limites de velocidade do porto;
- Permanecer no fundeadouro; e
- Não proceder além de um dado ponto até que seja autorizado a fazê-lo.

Figura 13 – Centro de Controle VTS no Porto de Helsinque, Finlândia



Fonte: Porto de Helsinque (2017)

De acordo com a PIANC (2002), com esse sistema, é empregado o monitoramento por radar e os navios que chegam à área de sua cobertura são identificados com um número ou uma *tag* de identificação, que permanecerá sendo única durante toda sua passagem pelo porto ou hidrovia. Geralmente, esses sistemas possuem a capacidade de manter um registro digital de todos os movimentos dos navios identificados, fazendo-se amostragens em pequenos intervalos de tempo.

Quanto aos custos de instalação dos sistemas VTS, segundo a NAE (1996), os valores podem variar consideravelmente, já que alguns sistemas são mais complexos que outros, e dessa forma podem incorporar mais equipamentos e possuir uma área de cobertura maior do que outros sistemas menos complexos. De acordo com Anderson (1996), para os sistemas VTS instalados nos Estados Unidos, o custo individual de instalação variou de U\$ 5 milhões de dólares para os sistemas mais simples até U\$ 32 milhões de dólares para os mais complexos, e apesar de serem valores de investimento altos, colocando os valores em perspectiva, Anderson (1996) cita que o VTS instalado no Porto de Roterdã (Holanda) teve um investimento aproximado de U\$ 180 milhões de dólares, devido à sua complexidade e abrangência, já que notadamente o Porto de Roterdã é um dos maiores e mais movimentados do mundo. Os custos de operação, assim como os de instalação, também variam de acordo com a complexidade do sistema. O Quadro 3 apresenta os custos estimados de operação, manutenção e de pessoal para alguns dos sistemas VTS instalados nos Estados Unidos.

Quadro 3 – Custo Anual Estimado de Operação, Manutenção e Pessoal para alguns dos sistemas VTS instalados nos Estados Unidos

Local de Instalação	Operador	Valor Anual (em milhões de U\$)
Puget Sound	Guarda Costeira	5,08
Nova Iorque		4,53
Houston		3,24
San Francisco		2,63
Prince William		1,13
Louisville		0,03
Los Angeles / Long Beach	Operador Privado	1,6
Delaware Bay		0,5

Fonte: Adaptado de NAE (1996).

Segundo a NAE (1996), é difícil de estimar precisamente os benefícios da utilização desse tipo de sistemas, porém, é de senso comum que tanto o setor público como o privado acabam se beneficiando. A indústria regional se beneficia, porque a instalação desses sistemas indiretamente facilita o comércio interno e externo e consequentemente, aumenta a capacidade das indústrias regionais de competir em mercados exteriores. Os portos também se beneficiam, na medida em que os sistemas VTS permitem uma melhoria no fluxo de embarcações, evitam acidentes e despesas resultantes, e melhoram a eficiência do transporte marítimo. Além disso, a população em geral se beneficia da utilização do VTS porque o comércio marítimo eficiente mantém os custos das mercadorias mais baixos, e a maior segurança no transporte marítimo ajuda a proteger as vidas humanas e o meio ambiente.

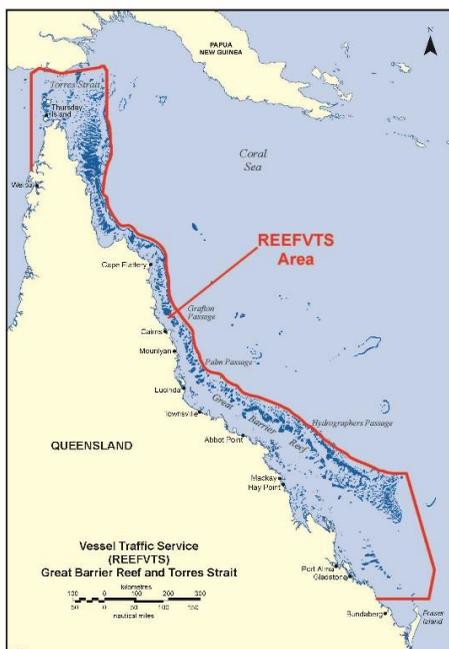
2.2.7.1.1 Aplicação do VTS na proteção do ambiente marinho

Quanto à proteção do ambiente marinho, pode-se dizer que o uso de Sistemas VTS acaba ocasionando efeitos diretos e indiretos, já que esses sistemas podem ter inúmeras aplicações, tais como: monitorar e restringir a utilização por embarcações de áreas ambientais protegidas (Ex.: APA da Baleia Franca em Santa Catarina), ou ainda, fornecer subsídio de informações para que as autoridades competentes sejam notificadas da aproximação de uma embarcação que transporte cargas

perigosas (Ex.: cargas explosivas, poluentes, etc.), podendo assim, por exemplo, permitir a priorização de aproximação desse tipo de embarcação, reduzindo o seu tempo de permanência no mar e, conseqüentemente, diminuindo a possibilidade de ocorrência de um acidente que acabe gerando dano ambiental.

Como exemplo de utilização bem-sucedida de Sistemas VTS na proteção do ambiente marinho pode-se citar o Sistema VTS implantado na região da Grande Barreira de Corais, na Austrália (Figura 14). A região foi declarada Zona Marítima Particularmente Sensível (PSSA) pela IMO em 1990, e contemplada com um Sistema VTS em 2004, o qual cobre aproximadamente 3.000km de costa. Segundo a Autoridade Australiana de Segurança Marítima, reduziu-se, desde a implantação do sistema, em 89% a ocorrência de encalhes de embarcações na região. (AMSA, 2013).

Figura 14 – Área de Cobertura do sistema VTS da região da Grande Barreira de Corais (Austrália)



Fonte: AMSA (2013).

De acordo com Merrick *et al.* (2002) e a USCG (2014), outro exemplo que vale a pena ser mencionado é o do Sistema VTS da região de Prince William, uma enseada no golfo do Alasca, EUA, o qual serve como ponto terminal de um oleoduto de aproximadamente 1.200km de extensão. A região passou, em 1989, por um grande acidente envolvendo a embarcação *Exxon Valdez*, que colidiu com um iceberg e derramou 36.000 toneladas de petróleo bruto no mar, causando um desastre ecológico sem precedentes, com custo de US\$ 2,2 bilhões para ser controlado. Merrick *et al.* (2002) cita que após o ocorrido, o tráfego de navios petroleiros na região tornou-se muito mais seguro com a adoção de algumas medidas como a utilização compulsória de navios rebocadores e instalação de um Sistema VTS. Avalia-se que com as medidas tomadas, reduziu-se em 75% a probabilidade de ocorrência de novos acidentes.

2.2.7.2 AIS (*Automatic Identification System*)

O AIS (*Automatic Identification System*) é um sistema que se caracteriza pela troca automática de informações sobre o trajeto e sobre a embarcação, sendo que essa troca de informações pode ser realizada somente entre navios como entre navios e estações costeiras, conforme mostra a Figura 15. Segundo a IALA (2004), a comunicação deve ser contínua e transmitida através das frequências marítimas VHF (*Very High Frequency*). O sistema atualiza-se com uma frequência até 2 segundos e utiliza o algoritmo de alocação de espaços de transmissão SOTDMA (*Self-Organizing Time Division Multiple Access*) para poder lidar com a intensa taxa de transmissão, assegurando assim comunicações confiáveis.

Figura 15 – Sistema AIS



Fonte: Techkisses (2013).

Os principais objetivos dos sistemas AIS são a identificação das embarcações, permitindo assim a sua localização e trocas de informações entre as embarcações e estações costeiras. Um exemplo de utilização prática pode ser, por exemplo, a comunicação das embarcações com serviços VTS em zonas de tráfego marítimo intenso, a fim de melhorar a gestão do tráfego marítimo.

Além disso, segundo a IMO (2014), os sistemas AIS tem potencial para serem utilizados como dispositivos anticollisão, já que ao serem usados em modo de comunicação entre embarcações podem emitir um alerta sonoro de advertência quando da aproximação de outra embarcação, por exemplo.

Portanto, indiretamente, o AIS permite que haja o aumento da segurança e também da eficiência de navegação. Segundo a IALA (2004), todos os navios com um peso bruto superior a 300 toneladas que façam viagens internacionais, cargueiros com peso bruto acima de 500 toneladas ou navios de passageiros independentemente do tamanho, têm de estar equipados com sistemas AIS.

2.3 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Segundo Chung (2004), a simulação computacional pode ser definida como o processo de criação e experimentação de um sistema físico existente ou não através de um modelo matemático computadorizado.

2.3.1 Propósito

A modelagem e análise de simulação de diferentes tipos de sistemas são geralmente direcionadas para os seguintes propósitos (PEGDEN *et al.*, 1995):

- Obtenção de informações mais apuradas sobre o funcionamento de um sistema;
- Desenvolver políticas operacionais ou recursos para aprimorar o desempenho de um sistema;
- Teste de novos conceitos e/ou sistemas antes de suas implementações; e
- Obter informações sem perturbar o sistema atual.

De acordo com Nascimento (2005), a simulação permite que sejam visualizadas as principais etapas de um processo dentro de um sistema, examinando-se suas formas de operação e entendendo-se suas principais conexões com o ambiente externo sem a necessidade de se parar o sistema em funcionamento, o que resulta em perturbações em seu funcionamento. Portanto, a simulação de sistemas em ambientes computacionais permite que processos sejam melhorados sem causar desgastes desnecessários ao sistema que já está em funcionamento.

2.3.2 Vantagens

Como as simulações são realizadas utilizando-se o processamento dos computadores, um processo que leva meses ou até anos para ser completado pode ser simulado em questão de segundos. Isso também significa dizer que múltiplas replicações daquela simulação podem ser realizadas facilmente para que seja possível aumentar a confiabilidade estatística de uma análise, assim sistemas antes impossíveis de serem analisados de forma completa podem ser estudados com maior precisão.

Antes da existência da simulação computacional, os profissionais eram forçados a usar ferramentas mais exigentes analiticamente falando.

E mesmo assim, apenas os sistemas simples que envolviam elementos probabilísticos podiam ser analisados. Sistemas mais complexos eram estritamente estudados somente por matemáticos ou analistas muito especializados no assunto. Além disso, os sistemas poderiam ser analisados apenas com uma abordagem estática em um dado momento. Em contraste, o advento das metodologias de simulação permitiu que os praticantes estudassem dinamicamente os sistemas em tempo real durante as simulações. Além disso, o desenvolvimento de pacotes de *software* específicos de simulação ajudou a isolar os profissionais de muitos dos complexos cálculos e requisitos de programação que de outra forma poderiam ser necessários. Esses requisitos analíticos reduzidos proporcionaram a mais profissionais, com uma ampla variedade de formações, a oportunidade de analisar muitos mais tipos diferentes de sistemas do que era anteriormente possível.

A maioria dos pacotes de *software* específicos de simulação possui a capacidade de dinamicamente animar a operação do sistema. A animação é útil tanto para depurar o modelo como para demonstrar como o modelo funciona. A depuração baseada em animação permite ao praticante observar facilmente falhas na lógica do modelo. O uso de uma animação durante uma apresentação pode ajudar a estabelecer a credibilidade do modelo. A animação também pode ser usada para descrever a operação e a interação dos processos do sistema simultaneamente. Isso inclui demonstrar dinamicamente como o modelo de sistema lida com situações diferentes. Sem a capacidade de animação, os profissionais estariam limitados a apresentações textuais e numéricas menos eficazes e interessantes. (CHUNG, 2004)

Portanto, pode-se dizer citar as principais vantagens da simulação computacional, como sendo:

1. A possibilidade de experimentação em curtos períodos de tempo;
2. Redução dos requisitos analíticos; e
3. Facilidade na demonstração de Modelos complexos.

2.3.3 Desvantagens

Quando os dados de entrada de uma simulação forem imprecisos os resultados também serão imprecisos. Essa afirmação pode ser representada pela expressão "*garbage in, garbage out*" (GIGO), que significa, literalmente, "lixo entra, lixo sai". Não importa o quão bom um modelo é desenvolvido, se o modelo não tem dados de entrada precisos, não pode se esperar obter dados de saída precisos. A coleta de

dados é considerada a parte mais difícil do processo de simulação. Apesar deste conhecimento comum, é corriqueiro que muito pouco tempo seja alocado para este processo. Esse problema é agravado pelo fato de que muitos profissionais preferem desenvolver um modelo de simulação ao invés de coletar dados.

Muitos profissionais aceitam dados históricos de qualidade duvidosa, a fim de economizar tempo de coleta de dados de entrada. Muitas vezes a natureza exata ou as condições sob as quais esses dados foram coletados são desconhecidas. Em inúmeros casos, o uso de dados históricos coletados externamente tem sido a principal causa de um projeto de simulação malsucedido.

Alguns analistas podem acreditar que uma análise de simulação irá fornecer respostas simples para problemas complexos. Porém, é mais provável que problemas complexos necessitem de respostas complexas. É possível fazer suposições simplificadas com a finalidade de desenvolver um modelo razoável em um período de tempo razoável. No entanto, se os elementos críticos do sistema forem ignorados, qualquer política operacional ou de recursos provavelmente será menos eficaz.

A simulação por si só não resolve problemas. Fornece soluções potenciais para se resolver o problema. Cabe aos responsáveis pela gestão implementar as mudanças propostas. Com certa frequência, soluções potenciais são desenvolvidas, mas acabam sendo nunca ou mal implementadas por causa da inércia organizacional ou considerações políticas (CHUNG, 2004).

Portanto, embora a simulação tenha vantagens, possui também algumas desvantagens de que quem realiza a simulação deve estar ciente. Essas desvantagens não estão diretamente associadas à modelagem e a análise de um sistema, mas sim às expectativas associadas às simulações. Estas desvantagens podem ser resumidas em:

1. Resultados imprecisos quando dados de entrada forem imprecisos;
2. Simulações não podem fornecer respostas simples para sistemas complexos; e
3. A simulação computacional por si só não resolve problemas.

2.3.4 Outras considerações

Chung (2004) cita que além das vantagens e desvantagens da simulação computacional, o profissional que realiza uma simulação,

deve estar ciente que existem outras considerações antes de tomar a decisão de iniciar ou não a simulação de um sistema:

1. A construção de modelos de simulação pode exigir treinamento especializado;
2. A modelagem e análise de simulação podem ter valores financeiros elevados, dependendo dos recursos computacionais e intelectuais exigidos (profissionais); e
3. Em alguns casos, os resultados da simulação envolvem muitas estatísticas, o que em algumas situações os torna difíceis de serem compreendidos.

2.4 ESTIMATIVA DA FREQUENCIA DE ACIDENTES MARÍTIMOS

2.4.1 Redes *bayesianas*

Um sistema que possa atuar em situações de incerteza deve ser capaz de atribuir níveis de confiabilidade para variáveis existentes em sua base de conhecimento, e estabelecer relações entre essas variáveis. As redes *bayesianas* oferecem uma abordagem das estimativas probabilísticas que envolvem teoria dos grafos, para o estabelecimento das relações entre as variáveis e também teoria das probabilidades para a atribuição dos níveis de confiabilidade (MARQUES; DUTRA, 2002).

De acordo com Charniak (1991), as redes *bayesianas*, ou redes de opinião, são modelos para raciocínio baseado na incerteza, onde cada variável representa uma variável discreta ou contínua, e os arcos a conexão direta entre essas variáveis. A utilização de redes *bayesianas* foi pesquisada amplamente nas décadas de 80 e 90, e desde então vem sendo aplicadas em diversos campos do conhecimento, entre eles o diagnóstico médico e problemas de engenharia, por exemplo. Segundo Maturana (2009), as redes *bayesianas* são uma maneira sucinta para representar conjunções de probabilidades, e são particularmente úteis para representação de domínios em que existem informações a respeito de dependência condicional entre suas variáveis.

2.4.2 Modelo baseado no tráfego

Os primeiros modelos matemáticos que propõem a determinação de colisões, abalroações e encalhes foi proposto por Fujii e Tanaka (1971) e Macduff (1974). Segundo Fujii e Tanaka (1971), a frequência de colisões, abalroações e encalhes (N) é determinada pelo possível

número geométrico de colisões, abalroações e encalhes (N_g) multiplicado pelo fator de casualidade (P_c).

$$N = P_c N_g$$

(Equação 1)

O modelo de Macduff (1974) usa probabilidade condicional e o Teorema de *Bayes* para descrever a probabilidade de colisões, abalroações e encalhes:

$$P = \sum_{\forall i} P(\text{Acidente} | \text{Cenário } i) P(\text{Cenário } i)$$

(Equação 2)

Onde $P(\text{Cenário } i)$ é a probabilidade de uma embarcação encontrar um cenário de acidente; $P(\text{Acidente} | \text{Cenário } i)$ é a probabilidade condicional que um acidente ocorra dentro do *Cenário i* de acidentes; e $P(\text{Cenário } i)$ e $P(\text{Acidente} | \text{Cenário } i)$ são definidas como as probabilidades geométricas e probabilidade de casualidade respectivamente (MACDUFF, 1974). A probabilidade geométrica depende dos parâmetros geométricos da via navegável, o volume de tráfego, o tamanho do navio, a velocidade do navio, e o seu curso. A probabilidade de causalidade depende das habilidades operacionais dos marinheiros, da manobrabilidade dos navios em cenários de acidentes e das ações tomadas para se evitar o acidente (LI; QIANG; QU, 2012).

Em outras palavras, a probabilidade de causalidade reflete a capacidade dos marinheiros para atuar sob diferentes cenários de acidentes. Num cenário, ou situação de risco, Merrick e Van Dorp (2006) propõem considerar incidentes menores que servem de gatilhos para a ocorrência de um acidente. Uma falha mecânica ou um erro de algum tripulante, tais como má avaliação da velocidade de outras embarcações, ou a falta de perícia no uso de equipamentos eletrônicos, tais como o SIG (Sistema de Informação Geográfica) são exemplos de atos que podem causar incidentes, e servir de gatilho para um acidente. Porém, a ocorrência de um incidente não necessariamente resulta em um acidente.

Para Trucco *et al.* (2008), um evento gatilho de um acidente pode ser definido como um evento básico e um acidente como um evento gatilho do evento principal. Nesse caso, a probabilidade de um acidente pode ser definida através da (Equação 3):

$$P = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^l P(\text{Acidente} | (\text{Incidente } i | \text{Cenário } j)) P(\text{Incidente } i | \text{Cenário } j) (P(\text{Cenário } j))$$

(Equação 3)

Onde o evento $(\text{Incidente } i | \text{Cenário } j)$ representa a probabilidade de ocorrência de um $(\text{Incidente } i)$ dentro do $(\text{Cenário } j)$, e o evento $\text{Acidente} | (\text{Incidente } i | \text{Cenário } j)$ é a probabilidade de ocorrência de um acidente que teve seu início disparado pelo $\text{Incidente } i$ dentro do $\text{Cenário } j$.

A estimativa dos cenários é geralmente estimada por simulação, conforme Van Dorp *et al.* (2001), Merrick, Van Dorp e Dinesh (2005), e Merrick e Van Dorp (2006). A maior dificuldade é determinar qual a probabilidade de uma colisão ou encalhe ter sido disparado por certo incidente, e qual a probabilidade daquele tipo de incidente ocorrer dentro de certo cenário. Uma boa ferramenta de auxílio é a utilização de dados históricos para aprimorar essa probabilidade (LI; QIANG; QU, 2012). Roeleven *et al.* (1995) propuseram um modelo geral linear (GLM), que utiliza dados de acidentes ocorridos e informações sobre a geometria das hidrovias para estimar o número de acidentes nas hidrovias holandesas.

A análise for árvore de falhas (FTA) é um método amplamente utilizado para se estimar as frequências de ocorrências de incidentes e acidentes. Fowler e Sorgard (2000) citam dois exemplos específicos: um para a estimativa da probabilidade de colisões e abalroações com boa visibilidade e outra com má visibilidade. Em uma árvore com falhas, um acidente é definido como um nó raiz, e então todas as possíveis causas são listadas como ramos, até que seja possível chegar à(às) causa(s) raiz(es) do acidente. A probabilidade de cada um dos nós geralmente vem de dados históricos ou estimativas propostas. O problema da FTA é que a probabilidade de cada nó é estimada diretamente e de forma subjetiva, e, portanto sujeito a grandes variações.

Com a utilização da inferência *bayesiana*, é criada uma rede, similar em alguns aspectos a uma árvore de falhas. Cada nó representa uma variável aleatória, e uma ligação direta entre dois nós indica a dependência deles. Da mesma forma que o FTA, a inferência *bayesiana* também exige que haja uma opinião qualificada que defina as relações entre dois nós aleatórios. Porém, não há a necessidade de que um especialista estime a probabilidade de causa diretamente. Ao invés disso, eles devem estimar a probabilidade posterior de que ocorra um acidente ou incidente. Isso é dada a ocorrência de um acidente ou

incidente i , em que ponto um especialista acredita que este acidente/incidente ocorre sob certo estado de *Situação j* ? De acordo com o teorema de *Bayes*, teremos:

$$\frac{P(\text{Cenário } j | \text{Incidente } i)}{P(\text{Incidente } i)} = \frac{P(\text{Incidente } i | \text{Cenário } j)P(\text{Cenário } j)}{P(\text{Incidente } i)}$$

(Equação 4)

As probabilidades podem ser estimadas usando um questionário. E especialistas respondem qual é sua opinião dentro de dois cenários, onde somente um parâmetro situacional é modificado entre os dois cenários em questão. (SZWED *et al.*, 2006; TRUCCO *et al.*, 2008).

Usando esse método, a estimativa direta da probabilidade é evitada. Por esse motivo, comparando-se com a FTA, o método *Bayesiano* pode capturar de forma mais precisa a opinião dos especialistas na causa de ocorrência de acidentes.

2.4.3 Software GRACAT

Segundo Friis-Hansen e Simonsen (2002) e Nyman (2009), durante os anos de 1998 e 2001, a Autoridade Marítima Dinamarquesa (*Søfartsstyrelsen*) investiu aproximadamente U\$ 800.000 em um projeto denominado ISESO (*Information Technology for Enhanced Safety and Efficiency in Ship Design and Operation*) em conjunto com algumas universidades dinamarquesas.

O objetivo geral do projeto ISESO era o de desenvolver ferramentas de simulação para a melhoria da navegação daquele país, e consequentemente aumentar a participação e relevância da Dinamarca dentro da atividade marítima mundial.

Um dos objetivos específicos do projeto foi o de criar um pacote de ferramentas para auxiliar na aplicação da metodologia FSA (conforme Item 2.1.2.2).

O *software* GRACAT (*Grounding and Collision Analysis Toolbox*) foi desenvolvido pela DTU (*Technical University of Denmark*) como parte integrante do ISESO e teve como objetivo facilitar a análise da probabilidade de colisões, abalroações ou encalhes de embarcações operando em uma rota específica.

Conforme Nyman (2009), as principais simulações possíveis de serem realizadas utilizando-se o GRACAT são:

1. Estimativa de probabilidades de colisões, abalroações e encalhes;

2. Modelagem dos danos causados por colisões, abalroações ou encalhes; e
3. Estimativa das consequências dos danos causados.

Um dos benefícios da utilização de simulação e modelagem através do *software* é o de permitir que sejam utilizadas várias rotas de navegação e diversos tamanhos de embarcações, sendo possível a determinação do risco para todo o sistema de transporte marítimo envolvido.

De acordo com Ylitalo (2009), o *software* GRACAT estima a frequência de encalhes, colisões e abalroações baseando-se no modelo de Macduff, e uma das desvantagens do modelo de Macduff passa pelo fato de que esse modelo matemático acaba por considerar o tráfego como um fluxo contínuo e não dá a devida importância para as características individuais de dimensões e velocidade dos navios. Mas apesar de suas desvantagens, Ylitalo (2009) considera o modelo de Macduff um dos melhores para avaliar as probabilidades de colisões e abalroações juntamente com o modelo proposto por Pedersen e com o modelo proposto por Fowler e Sjørgård.

2.4.3.1 Resultados e aplicação

De acordo com Friis-Hansen e Simonsen (2002), ainda durante o período de execução do projeto ISES foram realizadas com o auxílio do *software* algumas simulações de riscos em rotas de navegação bastante utilizadas e conhecidas, tais como:

- a) Rota de navegação do Estreito do Grande Belt (Dinamarca);
- b) Rota de navegação de Dover (Inglaterra) até Calais (França); e
- c) Rota de navegação de Turku (Finlândia) até Estocolmo (Suécia).

Segundo Friis-Hansen e Simonsen (2002) houve grande conformidade entre os resultados obtidos através das simulações quando os resultados foram comparados aos dados reais de acidentes registrados.

Como exemplos do emprego do *software* GRACAT, pode-se citar a sua utilização em alguns estudos relevantes, tais como nos estudos de implantação do sistema VTMS no Golfo da Finlândia, na análise de riscos do canal do arquipélago de Kökar (Finlândia) e na

aplicação da metodologia FSA para a segurança da navegação do Mar Báltico.

2.5 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Este capítulo dedicou-se a apresentar os conceitos e aspectos teóricos básicos a respeito da análise de risco, do transporte marítimo, da simulação computacional e do modelo matemático de estimativa de acidentes baseado no tráfego, e dessa forma propiciar o início do processo de entendimento da aderência entre os conceitos apresentados.

Através dessa exposição também foi possível perceber a relevância dos temas, e permitir a assimilação do que está sendo apresentado e discutido nos capítulos posteriores, já que se tratam de assuntos específicos e com particularidades, e que devido à sua heterogeneidade demandam pesquisa em distintas fontes e áreas do conhecimento.

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Conforme Gil (2002), uma pesquisa pode ser definida como um procedimento racional e sistemático que objetiva dar respostas aos problemas que são propostos. Ainda segundo Gil (2002), uma pesquisa se faz necessária quando não há informação suficiente para responder a um problema, ou então quando a informação encontra-se disponível, porém em um estado de desordem que não pode ser adequadamente relacionada ao problema encontrado.

Para que uma pesquisa seja desenvolvida é necessária a união dos conhecimentos disponíveis e a utilização cuidadosa de métodos, técnicas e outros recursos científicos para que ao longo do processo, que geralmente envolve inúmeras fases, seja alcançado um resultado satisfatório.

3.1 A QUESTÃO DA PESQUISA

Esse trabalho tem por objetivo responder a seguinte pergunta: Quais medidas podem ser adotadas para que seja possível diminuir a probabilidade de ocorrência de colisões, abalroações e encalhes envolvendo embarcações dentro de uma determinada área?

3.2 CARACTERÍSTICAS

Quanto aos objetivos, a pesquisa realizada pode ser definida como pesquisa prática ou também chamada pesquisa aplicada, pois a mesma buscou encontrar soluções às necessidades apresentadas na realidade, e dessa forma estabelecer ordem e controle na natureza. Em outras palavras, define-se como um teste prático das posições teóricas (LEÃO, 2016).

Como o trabalho se propôs a descobrir e observar fenômenos sem interferir ou modificá-los, pode ser caracterizado como um trabalho de pesquisa descritiva.

Quanto aos procedimentos técnicos, foram realizados os procedimentos de pesquisa bibliográfica e de estudo de caso.

O procedimento de pesquisa bibliográfica envolvido no trabalho é constituído quase que inteiramente com base em livros e artigos científicos. Segundo Gil (2002), os livros constituem as fontes bibliográficas por excelência, enquanto que os artigos, que geralmente fazem parte de periódicos científicos, constituem o meio mais importante para comunicação científica.

Como complemento à pesquisa bibliográfica, o autor recorreu ao procedimento de estudo de caso, pois os portos possuem características geográficas, físicas e técnicas próprias, e isso os caracteriza como indivíduos únicos dentro do contexto da pesquisa. Como o objetivo do trabalho é propor explicações concorrentes para o mesmo conjunto de eventos e indicar como essas explicações podem ser aplicadas a outras situações, o presente estudo caso pode ser definido como explanatório. (YIN, 2001).

A priori, não era de conhecimento do autor se poderiam ser adicionados ou até mesmo retirados outros casos à pesquisa, e, portanto era considerado um estudo multicaso, porém, como a pesquisa e aplicação da metodologia mostraram-se mais extensas e trabalhosas do que o esperado, o estudo foi realizado somente para o caso do Porto do Rio Grande visando assim a obtenção de resultados de melhor qualidade.

3.3 COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

A coleta de dados foi realizada em duas etapas. A primeira etapa iniciou-se através de um levantamento bibliográfico preliminar em torno do tema abordado. Esse levantamento teve início desde o momento em que o projeto de pesquisa inicial do autor foi submetido para ingresso no programa de mestrado. Portanto, trata-se de levantamento bastante específico e que foi sendo delimitado a medida que o tema escolhido para a dissertação foi tornando-se consistente. As fontes de pesquisa utilizadas foram principalmente livros e artigos publicados em periódicos científicos. Enfatiza-se aqui que o fato de o autor ser aluno regular de curso de mestrado na Universidade Federal de Santa Catarina possibilitou o acesso livre e aberto a valiosas fontes de pesquisa, tais como periódicos científicos e bases de dados de referência.

Concomitantemente com o levantamento bibliográfico preliminar, foi realizada em conjunto com o orientador a elaboração de um sumário preliminar para o projeto de pesquisa, onde foi possível ao autor ter uma visão mais ampla e coesa dos objetivos do projeto.

A segunda etapa do projeto de pesquisa constituiu-se da leitura seletiva do material obtido e teve como propósito identificar eventuais materiais que não apresentavam pertinência ao projeto proposto. Dentro da segunda etapa, após a leitura seletiva, foi realizada leitura analítica e interpretativa nos materiais selecionados, leituras essas que levaram ao autor a fazer anotações que julgou pertinentes ao estudo.

A escolha do caso (Porto do Rio Grande) a ser estudado foi feita baseando-se em dois aspectos: disponibilidade de dados e relevância do indivíduo dentro do contexto. O Porto do Rio Grande disponibiliza em seu *website* informações relevantes e atualizadas ao trabalho. Além disso, trata-se de um importante porto dentro do Sistema Portuário Brasileiro, ocupando a 4ª colocação em movimentação (em milhões de toneladas) no 2º trimestre de 2015 (ANTAQ, 2015).

3.4 PROTOCOLO DE APLICAÇÃO

Como se tratou de uma pesquisa que envolveu um estudo de caso fez-se necessária a elaboração de um protocolo que definiu a conduta adotada na sua aplicação. De acordo com Gil (2002), através da elaboração e adoção de um protocolo para aplicação do estudo de caso, aumenta-se a confiabilidade da pesquisa e torna-se fator de importância.

O protocolo proposto para aplicação do estudo de caso foi desmembrado nas seguintes etapas:

- Etapa 1 – Criação de Cenário Geográfico;
- Etapa 2 – Definição da Distribuição do Tráfego;
- Etapa 3 – Determinação dos Pontos de Referência (*Waypoints*);
- Etapa 4 – Definição da Análise;
- Etapa 5 – Obtenção dos Resultados; e
- Etapa 6 – Análise e Interpretação dos Resultados.

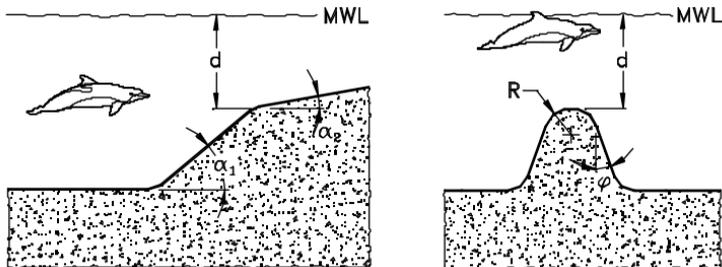
De uma forma mais detalhada, podem se descrever as etapas da seguinte forma:

Etapa 1 – Envolveu a criação de um cenário geográfico dentro do *software* GRACAT através da especificação de como as embarcações navegam, ou ao menos deveriam navegar, dentro do Porto (caso) em questão. Foram observadas nesse item as Cartas Náuticas e demais documentos que poderiam complementar as informações das cartas, tais como Roteiros e Avisos aos navegantes.

Etapa 2 – A definição da distribuição do tráfego também ocorreu dentro do *software* GRACAT e levou em conta os dados publicados pela administração do Porto que estava sendo analisado (Porto do Rio Grande). Como o nome sugere, essa etapa consistiu na inserção dos dados relativos ao tráfego de embarcações dentro da área do Porto, tais como número de atracações, tamanhos dos navios, etc.

Na Etapa 3, a determinação dos pontos de referência (*Waypoints*) se referiu a necessidade de que fossem determinados os pontos de referência, como por exemplo: tipo de solo (mole ou rígido) (Figura 16), pontos de terra e também segmentos de terra, para que dessa forma o *software* pudesse estimar de forma mais fidedigna possível a possibilidade de encalhes de embarcações.

Figura 16 - Definição de solo mole (esquerda) ou rígido (direita)



Fonte: Friis-Hansen (2000).

A Etapa 4 consistiu em definir dentro do *software* GRACAT qual o tipo de análise devia ser realizado. Primeiramente foi determinada a análise das colisões e abalroações.

O *software* possui a capacidade de analisar as colisões e abalroações de forma probabilística ou determinística. Nesse trabalho foi utilizada a função de análise probabilística de colisões e abalroações, já que o objetivo era de determinar a probabilidade de ocorrência de colisões e abalroações, e não a análise dos danos causados às embarcações envolvidas nas colisões e abalroações. Dessa forma, pode-se definir que foi realizada uma análise quantitativa e não qualitativa das colisões e abalroações.

Após a análise da probabilidade de ocorrência de colisões e abalroações realizou-se a análise da probabilidade de ocorrência de encalhes envolvendo embarcações. Para essa função, o *software* permite duas condições de encalhes distintas.

O encalhe em solo mole (com lodo no fundo, por exemplo) consiste naqueles em que a embarcação fica presa na areia ou lodo por exemplo. Já o encalhe em solo rígido ocorre quando a embarcação fica presa em algum objeto fixo (ex.: outra embarcação naufragada anteriormente), ou alguma rocha não aparente fora da água.

Na Etapa 5, como todos os dados foram inseridos corretamente, o *software* GRACAT procedeu aos cálculos realizando as análises

solicitadas. No *software* GRACAT, os resultados são apresentados separados por área, e com a correspondente probabilidade anual de ocorrência. Como cada análise (colisões e abalroações, e encalhes) é independente, os resultados são apresentados separadamente.

Após a realização das cinco primeiras etapas, chegou-se a sexta última etapa, que consistiu na análise e interpretação dos resultados obtidos. Nessa etapa foram compilados os dados obtidos e feita a interpretação dos resultados, visando retratar quais são as áreas mais propensas a acidentes dentro do caso estudado. O Quadro 4 representa resumidamente cada uma das etapas do protocolo proposto.

Quadro 4 – Resumo do Protocolo Proposto para aplicação do estudo de caso

Etapa	Descrição	Objetivo
1	Criação de Cenário Geográfico	Definição das características de navegação das embarcações na região estudada; Considerar informações presentes nas Cartas Náuticas e demais documentos (ex.: Roteiros e Avisos aos Navegantes).
2	Definição da Distribuição do Tráfego	Inserção de dados relativos a quantidade e qualidade do Tráfego Marítimo local.
3	Determinação dos Pontos de Referência (<i>Waypoints</i>)	Definição dos pontos de Referência dentro da área estudada; Considerar tipos de solo, pontos de terra e segmentos de terra.

Etapa	Descrição	Objetivo
4	Definição da Análise	Configurar o <i>software</i> para realizar análise probabilística das colisões e abalroações;
5	Obtenção dos Resultados	Confirmação dos dados inseridos; Apresentação dos resultados separados por áreas geográficas; Apresentação dos resultados de colisões, abalroações e encalhes separadamente;
6	Análise e Interpretação dos Resultados	Compilação dos resultados obtidos; Interpretação dos resultados.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Uma das limitações dessa pesquisa passou pelo fato de que não haveria tempo hábil para um estudo multicaso envolvendo todos os Portos, já que cada porto possui um contexto diferente, conforme abordado anteriormente, e que acaba por tornar muito difícil a análise de muitos casos simultaneamente devido à quantidade e complexidade de informações requeridas.

Mais uma limitação ocorre na etapa de interpretação dos dados obtidos, já que existe uma falsa sensação de certeza que o próprio pesquisador pode ter sobre suas conclusões. Embora esse problema possa aparecer em qualquer pesquisa, é mais comum no estudo de caso. (GIL, 2002).

Outra limitação identificada na pesquisa passa pela autenticidade dos dados disponibilizados, que não têm como ser comprovados, já que

a maior parte das informações utilizadas não estão apresentadas em nenhuma outra fonte de informação além da utilizada, e, portanto, dessa forma admite-se que os dados utilizados sejam confiáveis, apesar de não se ter maiores evidências a respeito.

Por último, registra-se o problema de não haver disponibilização por parte das autoridades competentes das informações específicas relativas ao número de acidentes envolvendo embarcações no litoral brasileiro, ao contrário do que ocorre em inúmeros países, tais como Estados Unidos, Portugal, entre outros. Caso essas informações fossem disponibilizadas, seria possível realizar a comparação dos resultados obtidos nas simulações realizadas com os resultados reais.

3.6 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Com a definição da metodologia apresentada nesse Capítulo do trabalho, tornou-se possível compreender como foram estruturadas as simulações que levaram a obtenção dos resultados propostos pelo trabalho.

4 PORTO DO RIO GRANDE E O MÉTODO PROPOSTO

4.1 PORTO DO RIO GRANDE

O Porto do Rio Grande é um porto marítimo público, localizado na cidade do Rio Grande, no litoral sul do Estado do Rio Grande do Sul, na margem oeste do Canal do Norte, que é o escoadouro natural da bacia hidrográfica da Lagoa dos Patos.

Em 1737, houve o primeiro registro da entrada de uma embarcação na Barra do Rio Grande, quando o Brigadeiro José da Silva Paes chegou com o objetivo de iniciar o povoamento desta região que passou posteriormente a ser conhecida como Rio Grande de São Pedro ou São Pedro do Rio Grande. A partir dessa data iniciou-se o desenvolvimento da cidade hoje conhecida como Rio Grande e de seu porto. A margem da Laguna dos Patos, onde hoje localiza-se o Porto Velho foi onde tiveram início as primeiras atividades portuárias.

Em 1846, o Governo Imperial criou a Inspetoria da Praticagem da Barra do Rio Grande, reduzindo-se assim os acidentes que ocorriam na Barra. Em 1869 foi construído o primeiro cais, denominado Cais da Alfândega, com 93 metros de extensão, e que foi concluído em 1872. Posteriormente, foi construído o cais localizado na atual Rua Riachuelo (Porto Velho), com extensão de 512 metros a partir do cais da Alfândega. No decorrer da construção desse cais, foi incluída a construção de um novo trecho de cais, iniciando na rua dos Andradas, junto ao cais da Alfândega até a rua General Neto, com um total de 200 metros de comprimento. Mais tarde, em 1915 foi inaugurada uma das mais importantes obras do porto: os Molhes da Barra. No mesmo ano, também foi concluída a construção do Porto Novo, que entrou em funcionamento no dia 15 de novembro.

Em 1970, pela dragagem do canal de acesso da Barra para navios calando até 40 pés e pela incorporação da área de expansão (Superporto), abriram-se amplas perspectivas de crescimento e desenvolvimento do Porto do Rio Grande. Desde 1996, o porto é administrado pela Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG), autarquia criada pela Lei Estadual nº 10.722, de 18 de janeiro de 1996 (SUPRG, 2017a).

Sua área de atuação compreende os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, assim como países vizinhos, como é o caso do Uruguai, o sul do Paraguai e o norte da Argentina.

A área do porto organizado do Rio Grande é constituída por instalações portuárias terrestres: cais e píeres de atracação e de

acostagem, além de armazéns, edificações em geral e vias internas de circulação rodoviária e ferroviária. A infraestrutura marítima é composta pelos acessos aquaviários, áreas de fundeio, bacia de evolução, e áreas adjacentes.

O Porto do Rio Grande está dividido em três áreas distintas:

- a) Porto Velho – compreende a estrutura histórica, além de 05 (cinco) armazéns e 640m de cais. Atualmente é utilizado em atividades de turismo e lazer e para atracação de barcos pesqueiros e frota de apoio e pesquisa (Figura 17);
- b) Porto Novo – possui 16 (dezesesseis) armazéns, 1.950m de cais e o prédio da administração. Atua como cais comercial, tendo 25 empresas como operadoras portuárias, movimentando carga geral, fertilizantes, contêineres, congelados, madeira, celulose, veículos, entre outras cargas (Figura 18); e
- c) Superporto – compreende 08 (oito) terminais de administração privada que operam contêineres, granéis agrícolas, derivados de petróleo, produtos químicos e fertilizantes. Além disso, abriga o Dique Seco, local destinado à construção de plataformas de prospecção de petróleo (Figura 19).

Figura 17 – Porto Velho



Fonte: SUPRG (2017b).

Figura 18 – Porto Novo



Fonte: SUPRG (2017b).

Figura 19 – Foto Aérea do Superporto



Fonte: SUPRG (2017b).

Um dos diferenciais do Porto do Rio Grande é a facilidade de logística, por causa das operações de multimodalidades. É um

importante fator na redução de custos e no aumento da eficiência, agregando maior valor às mercadorias que passam por suas instalações (SUPRG, 2012).

4.1.1 Infraestrutura aquaviária

O acesso marítimo ao porto do Rio Grande se inicia na barra do canal limitado pelos molhes leste e oeste do porto (Figura 20), com uma largura de 700m. Os molhes do Porto do Rio Grande foram construídos em 1915. O molhe oeste possui 2,2 km de extensão e o leste, 3,2 km. Foram necessárias 4,5 milhões de toneladas de pedras, que foram transportadas por 90 km de ferrovia, especialmente construída para esse fim. Os trilhos atualmente servem para passeio de turistas. Os molhes fixam a barra do canal e o protegem da ação das ondas e do assoreamento natural, garantindo uma navegação mais segura.

Figura 20 – Molhes da barra



Fonte: SUPRG (2017b).

A entrada de embarcações pelo canal de acesso pode ocorrer tanto no período diurno quanto no noturno devido ao emprego de boias e faroletes. É permitido o cruzamento de navios, exceto entre as boias 1-3 e 5-6 (entrada do Porto Novo) e as boias 7-9.

O canal interno do porto (do píer petroleiro à raiz dos molhes da barra – Superporto) possui 16 metros de profundidade, e a área fora dos molhes da barra, o canal externo do porto, possui 18 metros de profundidade.

O acesso fluvial ao Porto do Rio Grande ocorre pela Lagoa dos Patos, onde a navegação é realizada por embarcações de até 5,10 metros de calado, numa extensão de 250 quilômetros entre as cidades de Rio Grande e Porto Alegre. Registra-se que a sinalização existente na Lagoa dos Patos é deficiente, o que prejudica sobremaneira a navegação durante o período noturno. (SUPRG, 2012).

4.1.2 Trafego Marítimo

O Tráfego de embarcações no Porto do Rio Grande é regulamentado através do Regulamento de Exploração do Porto do Rio Grande. Este regulamento estabelece que os navios entrem na fila de entrada conforme ordem de chegada á Boia nº 1. Mediante a liberação do terminal, os navios podem adentrar ao canal, dirigindo-se ao berço de atracação.

No ano de 2014, a SUPRG registrou a passagem de 2.922 pelo Porto do Rio Grande, e no ano de 2016, registrou um total de 3.241 embarcações (Quadro 5), divididas da seguinte forma:

Quadro 5 – Movimentação de Embarcações 2016
(Porto do Rio Grande)

Mês	Embarcações (Barcaças + Navios)
Janeiro	232
Fevereiro	217
Março	252
Abril	283
Maiο	298
Junho	307
Julho	305
Agosto	269
Setembro	263
Outubro	255
Novembro	283
Dezembro	277

Mês	Embarcações (Barcaças + Navios)
Total	3.241

Fonte: Adaptado de SUPRG (2017b).

Conforme apresentado no Quadro 5, destaca-se a observância de maior movimento de embarcações nos meses de junho e julho, e média estável de movimento de embarcações durante o ano (média de 270 embarcações/mês).

4.1.2.1 Restrições operacionais

A SUPRG em conjunto com a Capitania dos Portos do Rio Grande do Sul (CPRS), visando a segurança da navegação na região do Porto do Rio Grande, estabeleceu algumas restrições às embarcações.

As restrições citadas nesse trabalho podem ser encontradas na publicação Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos do Rio Grande do Sul, de 2015.

Quanto à velocidade, cruzamento e ultrapassagem entre embarcações, as velocidades máximas permitidas, de acordo com a CPRS são:

- a) Canal da Barra do Rio Grande (das boias nº 1 e 2 até a Estação Naval do Rio Grande – velocidade máxima de manobra): oito nós;
- b) Canal de acesso ao Porto (da Estação Naval do Rio Grande até o Porto Novo): oito nós;
- c) Canal do Porto Novo: cinco nós;
- d) Canal do Porto Velho: cinco nós; e
- e) É proibido o cruzamento de navios nos trechos compreendidos entre os pares de boias 5/6 e 7/10 do canal de acesso do Superporto e o trecho compreendido entre os pares de boias 1/2 e 3/4 do canal de acesso ao Porto Novo.

Quanto às restrições de horário:

- a) Navios transportadores de produtos perigosos ou altamente poluentes e que não possuam casco duplo somente poderão navegar na área do Porto Organizado com luminosidade diurna;
- b) Embarcações pesqueiras com mais de 100 TAB só deverão entrar ou sair do Porto Velho no período diurno.

Restrições quanto ao porte das embarcações:

- a) Os valores máximos de porte bruto, comprimento e boca dos navios que demandem aos portos e terminais do Rio Grande são estabelecidos pela SUPRG, em função das limitações e características físicas de cada porto ou terminal, sob coordenação da Autoridade Marítima, conforme previsão na alínea E, inciso I do Art. 18 da Lei nº 12.815/2013, publicando-os em documentos normativos próprios (ordens de serviço – OS);
- b) a atracação nos dolphins de transbordo só é permitida para navios até 240 metros de comprimento, tendo comprimento mínimo de costado reto de 120 metros. Mediante consulta prévia, poderá ser autorizada a atracação de navios maiores (comprimento total máximo de 300m), porém limitado a um calado máximo de 8,5m (27,8 pés);
- c) no Porto Velho, a atracação a contrabordo está limitada a, no máximo, quatro pesqueiros ou três embarcações da Navegação Interior;
- d) a bacia de manobras do Porto Velho constitui-se da área fronteira ao cais e, face à sua exiguidade, somente poderão efetuar o giro navios de até cem metros de comprimento; e
- e) a bacia de manobras do Porto Novo constitui-se da área fronteira ao cais e nela poderão efetuar o giro navios de até 150 metros de comprimento.
- f) O Planejamento das manobras especiais de navios, Plataformas e Plataformas tipo FPSO, navios trazendo grandes módulos para os estaleiros e navios com o calado muito próximos do limite do canal de acesso as áreas do porto, deverão dar entrada nesta CP com no mínimo 5 dias úteis de antecedência, já com o parecer da Autoridade Portuária ratificado e baseado em dados técnicos para avaliação.

Demais restrições:

- a) Restrições de manobras:
 - a. Manobras de entrada e saída de popa com navios *Ro-Ro* só deverão ser realizadas no período noturno se o vento estiver com intensidade média abaixo de 15 nós e no período diurno com intensidade abaixo de 25 nós;

- b. Manobras de atracação com correnteza pela popa só deverão ser realizadas com a velocidade da corrente abaixo de 2 nós e vento inferior a 15 nós;
 - c. Manobras de atracação de navios a contrabordo só deverão ser realizadas se o vento estiver com intensidade abaixo de 20 nós;
 - d. Navios em faina de transbordo de produtos perigosos deverão interromper o bombeamento com vento superior a 25 nós;
 - e. Navios em faina de transbordo de produtos perigosos deverão desengajar com vento superior a 30 nós;
 - f. Só serão permitidas atracções noturnas de navios transportadores de cargas perigosas a contrabordo de outros se ambos possuírem casco duplo; e
 - g. Navios transportadores de produtos perigosos deverão ser capazes de entrar a barra com velocidade no fundo superior a 5 nós durante o período noturno (deverá ser informado a estação de praticagem a velocidade máxima de manobra a fim de que sejam feitos os cálculos para determinar a velocidade máxima esperada).
- b) Aos navios que possuem “*Thruster*”, é proibida a sua utilização com fluxo de descarga (aguagem) contra o cais por ocasião da atracação/desatracação nos trechos entre os cabeços 00 a 08 e 27 a 62 do Porto Novo;
 - c) Conforme determinação da FEPAM e do Serviço de Vigilância Sanitária, é proibido o recolhimento e a saída de resíduos sólidos dos navios nos portos do RS;
 - d) É proibido o tráfego de embarcações entre o cais e o píer, no Terminal TERGRASA, salvo as embarcações que, efetivamente, devam atracar para carga/descarga no referido Terminal;
 - e) São proibidas as atividades de pesca, esporte, recreio e mergulho, e o fundeio nos seguintes locais:
 - a. No canal de acesso, Terminais e bacia de manobras do complexo portuário do Rio Grande e nos canais de navegação interior;
 - b. Na área operacional do Píer Petroleiro, delimitada por um raio de duzentos metros a partir do referido Píer; e
 - c. Na área militar delimitada pelo polígono com os seguintes vértices:
Latitude 32°02'52" S Longitude 52°03'43" W;

Latitude 32°01'43" S Longitude 52°03'55" W;
Latitude 32°01'43" S Longitude 52°04'41" W; e
Latitude 32°03'17" S Longitude 52°04'07" W.

- f) Para os navios que necessitam operar a carga e descarga por um bordo específico (navios *Ro-Ro*, navios com guindastes em um dos bordos, etc.), a manobra de atracação com a correnteza (normalmente acima de 3 nós) pela popa, é considerada uma manobra especial e necessita ser cercada de extremo cuidado, a fim de sua realização ocorra com o máximo de precauções de segurança. O agente deverá efetuar prévia consulta à Autoridade Marítima que avaliará a situação do momento antes de autorizar a manobra do navio.

4.1.2.2 Condições de navegação

De acordo com a SUPRG, as variações meteorológicas e as características hidrológicas não comprometem o tráfego marítimo, ficando as operações portuárias afetadas pela disponibilidade de cais para atender a esse tráfego.

A variação média de maré é de 0,5 m, variando entre 0,3m e 1,5m. As ondas têm orientação perpendicular à costa, sendo 90% entre 0 a 3m e 1% acima de 5m. As velocidades das correntes máximas não ultrapassam 4 (quatro) nós.

4.1.2.3 Canal de acesso

As rotas de navegação utilizadas pelas embarcações que demandam o Porto do Rio Grande são as seguintes:

- a) Canal de Acesso ao Superporto;
- b) Canal de Acesso ao Porto Novo;
- c) Canal de Acesso à São José do Norte;
- d) Canal de Acesso à Lagoa dos Patos; e
- e) Canal de Acesso ao Porto Velho.

Os canais de acesso ao porto podem ser visualizados na Figura 21.

Figura 21 – Canais de acesso ao Porto do Rio Grande



Fonte: SUPRG (2012).

A entrada de embarcações pelo canal de acesso pode ocorrer tanto no período diurno quanto no noturno, devido ao emprego de boias e faroletes. É permitido o cruzamento de navios, exceto entre as boias 1-3 e 5-6 (entrada do Porto Novo) e as boias 7-9.

Por vezes a barra é declarada impraticável devido a condições meteorológicas ou oceanográficas. O Quadro 6 a seguir apresenta as estatísticas dessa impraticabilidade entre 2005 e 2011.

Quadro 6 – Situações de Impraticabilidade da Barra do Rio Grande

Ano	Total de Dias
2005	31
2006	22
2007	18
2008	26
2009	23
2010	25
2011	31
Média Anual	25

Fonte: Adaptado de SUPRG (2012).

Admitindo-se uma média de 8 horas de impraticabilidade em cada um desses dias, o número equivalente de dias indisponíveis seria de 8 dias/ano, ou seja, em torno de 2,2% de um ano. Trata-se de uma incidência baixa que provavelmente não resulta em perdas razoáveis para a disponibilidade do porto, inclusive porque as operações nos navios atracados não são necessariamente interrompidas nessas ocasiões.

Nos últimos anos foram realizadas algumas obras de dragagem, com investimentos da ordem de R\$ 196 milhões, sendo R\$ 147,5 milhões por parte da SEP, através do Programa de Aceleração e Crescimento (PAC), e R\$ 48,5 milhões por parte do Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Após as conclusões dessas obras, as profundidades máximas de acordo com a região ao longo do canal ficaram definidas pela SUPRG e Marinha do Brasil da seguinte forma:

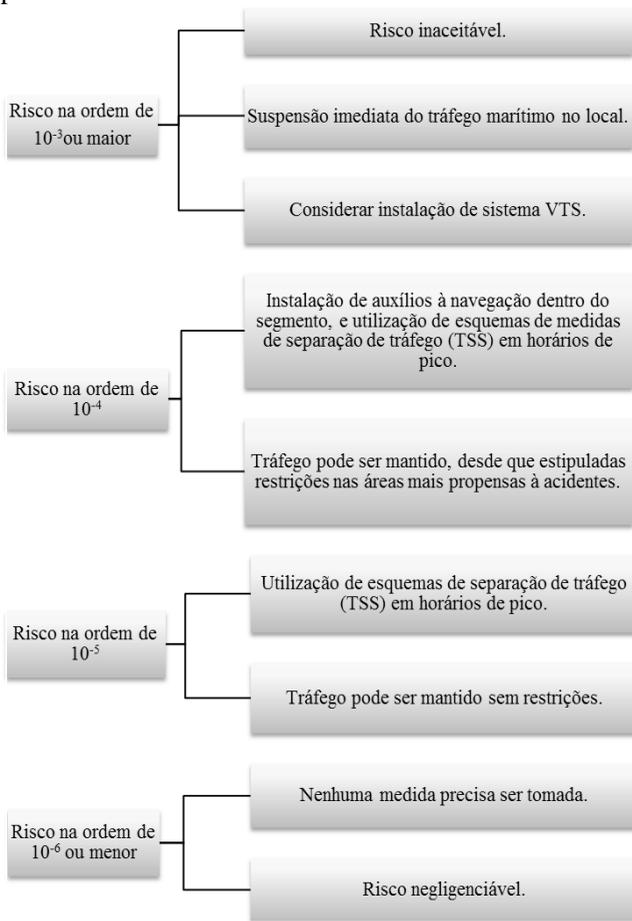
- a) Fora da Barra – 18m;
- b) Entre a Barra (molhes e Píer Petroleiro) – 16m; e
- c) Entre o Píer petroleiro e o Porto Novo – 10m. (SUPRG, 2012).

4.2 MÉTODO PROPOSTO

Levando-se em conta os critérios de aceitação de riscos individuais para atividades de navegação propostos pela HSE (2001), em que há 3 (três) níveis distintos (Item 2.1.4), em conjunto com os dados da infraestrutura aquaviária obtidos e apresentados nesse capítulo, as características e peculiaridades do tráfego marítimo informado pela autoridade portuária (SUPRG) e observado através de outras fontes, como por exemplo, o site *MarineTraffic*, além das restrições e condições específicas de navegação estabelecidas pela Capitania dos Portos do Rio Grande do Sul para o cenário do Porto do Rio Grande, possibilitou-se a elaboração de uma proposta de método (Figura 22) a fim de mitigar os riscos de acordo com a probabilidade de ocorrência de colisões, abalroações e encalhes verificada nos segmentos.

Para a elaboração desse método foi levado em conta o princípio da definição de níveis de risco estimáveis, inclusive com a determinação de uma região de risco como sendo de risco aceitável, mas que deve ser tão baixo quanto possível (ALARP) com a adoção de medidas de mitigação, conforme descrito por Soares e Teixeira (2001).

Figura 22 – Método proposto para mitigação dos riscos de acordo com probabilidade de ocorrência estimada



Fonte: Elaborado pelo autor (2017).

Como os critérios de risco aceitáveis para o tráfego marítimo são aceitos de forma global, a hipótese de que o modelo proposto de mitigação de riscos de ocorrência de encalhes possa ser adequado à aplicação em qualquer porto é tida como verdadeira, desde que utilizados dados e informações específicas da região em questão.

4.3 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Este capítulo dedicou-se a apresentar o histórico e demais informações relevantes do Porto do Rio Grande. Através do levantamento dessas informações, e conseqüentemente conhecendo-se melhor o contexto em que o porto está inserido, possibilitou-se ao autor a elaboração de um método proposto para mitigação dos riscos de acordo com a probabilidade de ocorrência estimada de acidentes, fazendo uso das informações obtidas ao longo do trabalho. Dessa forma, a simulação apresentada no próximo capítulo torna-se mais compreensível.

5 APLICAÇÃO DO SOFTWARE GRACAT

5.1 MODELAGEM DO CENÁRIO DE SIMULAÇÃO

A primeira etapa necessária à simulação através do *software* GRACAT passou pela criação do cenário geográfico da região objeto da simulação. O *software* permite a inserção de variáveis geográficas visando um modelamento fiel do cenário real. Conforme demonstrado por Friis-Hansen e Simonsen (2002), os resultados obtidos nas simulações realizadas pelo *software* GRACAT apresentam conformidade quando comparados aos dados reais de acidentes registrados, porém, a aderência dos resultados da simulação com a realidade passa pelo bom modelamento do cenário simulado dentro do *software*, ou seja, quanto mais informações e parâmetros forem introduzidos na simulação, mais fidedigno à realidade será o resultado obtido.

As especificações de como as embarcações navegam (ou ao menos deveriam), os perigos à navegação como os bancos de areia, pedras, cascos emergidos, e outros obstáculos, as profundidades e natureza do fundo, os locais de fundeio, os sinais de navegação, e outras informações menos relevantes da área do Porto do Rio Grande foram obtidas através das rotas de navegação pré-estabelecidas pela SUPRG (Figura 21) e na Carta Náutica 2101 – Porto do Rio Grande (Figura 23). Como complemento aos documentos anteriores, a NPCP-RS (2015) também contribuiu na obtenção de informações dos parâmetros operacionais e procedimentos especiais da operação portuária no Porto do Rio Grande.

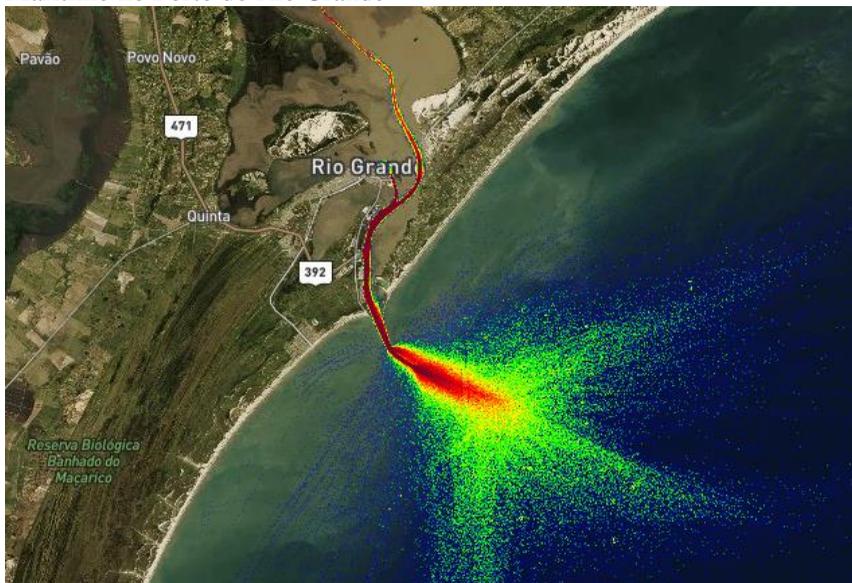
Figura 23 – Carta Náutica 2101 (Porto do Rio Grande)



Fonte: CHM (2016).

A segunda etapa consistiu na inserção dos dados relativos à distribuição do tráfego marítimo dentro da área do Porto do Rio Grande. As informações, tais como número de atracações, tamanhos dos navios, e modalidade de navegação das embarcações (longo curso, cabotagem, etc.) foram obtidas junto à SUPRG através de contato via *e-mail* e com informações estatísticas apresentadas em seu *website*. Além das informações originárias da SUPRG, foi possível obter um *heatmap* (mapa de calor) da densidade do tráfego marítimo no Porto do Rio Grande (Figura 24) por intermédio do *website Marine Traffic*, que oferece dados históricos de rastreamento de embarcações, portos ou áreas portuárias para seus assinantes. Os dados obtidos pelo *site* são procedentes dos sistemas AIS (*Automatic Identification System*) utilizados nas embarcações que circulam pela região.

Figura 24 – *Heatmap* (Mapa de Calor) da Densidade do Tráfego Marítimo no Porto do Rio Grande



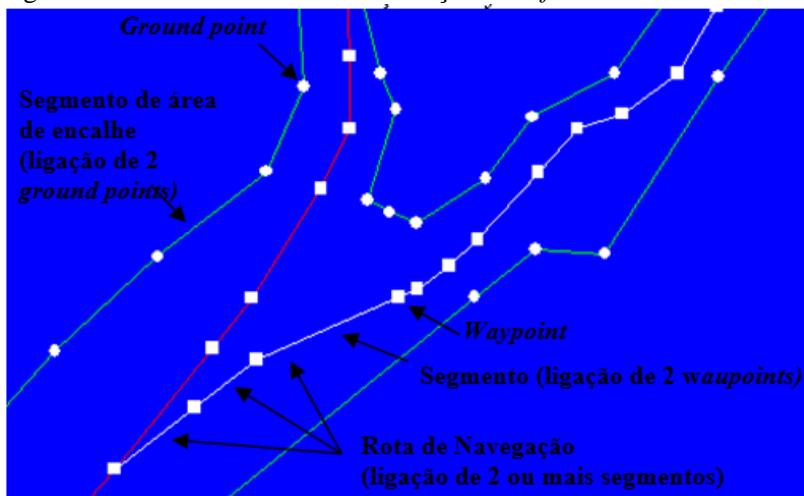
Fonte: *MarineTraffic* (2017).

Através das informações contidas na Carta Náutica 2101 – Porto do Rio Grande (Figura 23) foi possível completar a terceira etapa, que consistiu na determinação dos pontos de referência (*waypoints*) e pontos de encalhe (*ground points*).

Os *waypoints* são pontos de referência definidos por coordenadas geográficas (Latitude e Longitude), e que depois de interligados formam segmentos e posteriormente as rotas de navegação. Os *ground points* são pontos de referência, que assim como os *waypoints*, são definidos por coordenadas geográficas, mas que depois de interligados formam segmentos de áreas de encalhes.

A Figura 25 apresenta a tela com o cenário de simulação dentro do *software* GRACAT com a utilização de todos os elementos presentes na modelagem do cenário de simulação: *waypoints*, *ground points*, segmentos (ligação de 2 *waypoints*), segmentos de áreas de encalhes (ligação de 2 *ground points*) e rotas de navegação (ligação de 2 ou mais segmentos).

Figura 25 – Tela do Cenário de Simulação no *software* GRACAT



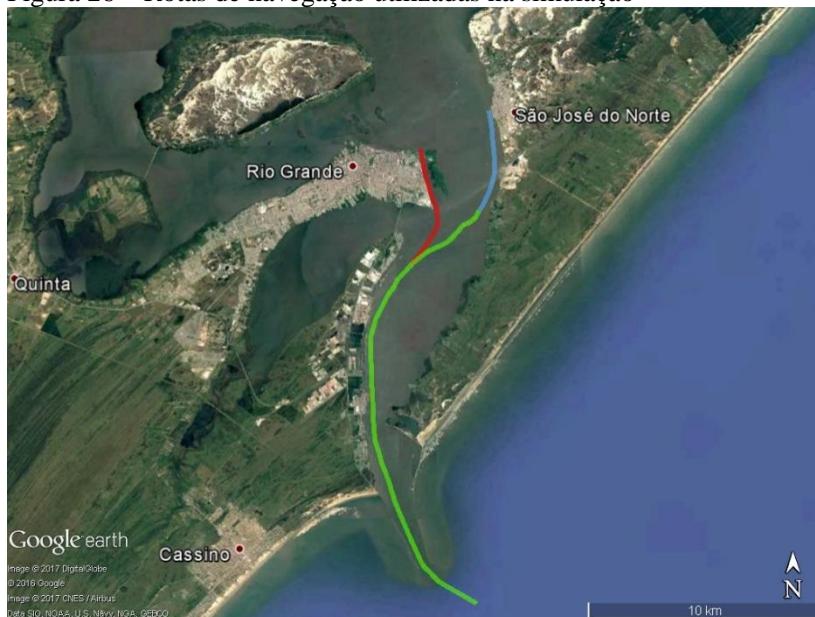
Fonte: Elaborado pelo autor.

Um total de 67 (sessenta e sete) *waypoints* foram definidos e conectados entre si, formando 66 (sessenta e seis) segmentos, que posteriormente estabeleceram as 2 (duas) rotas de navegação utilizadas na navegação dentro do Porto do Rio Grande. A escolha da localização exata de cada um dos *waypoints* é obtida visando traçar a rota de navegação com a menor distância possível.

A Rota número 1, ou simplesmente Rota 1, foi definida como a rota de navegação que dá acesso ao Porto Novo, estrutura essa composta de 9 (nove) áreas de atendimento portuário (SUPRG, 2012). A Rota número 2, ou simplesmente Rota 2, foi definida como a rota de navegação que provê acesso ao Super Porto (estrutura composta por 08 terminais de administração privada) e ao Estaleiro EBR em São José do Norte.

Para o estabelecimento da Rota 1 foi necessária a criação de 45 (quarenta e cinco) segmentos, e para a Rota 2 a criação de 51 (cinquenta e um) segmentos. As rotas utilizaram 31 (trinta e um) segmentos em comum, segmentos esses que representam o trajeto entre entrada do Canal de Acesso ao Porto até aproximadamente a altura do Terminal de Petroquímicos. A Figura 26 apresenta as 02 (duas) rotas estabelecidas para que fosse possível a realização da simulação, sendo a Rota 1 composta pelo traçado vermelho e verde, e a Rota 2 sendo composta pelo traçado azul e verde.

Figura 26 – Rotas de navegação utilizadas na simulação



Fonte: Adaptado de Software Google Earth (2017).

Simultaneamente à definição dos *waypoints*, com o propósito de se simular as probabilidades de encalhes, também foram definidos os *ground points* utilizados, e as áreas de encalhe potencial de cada rota de navegação. Conforme citado anteriormente, enquanto os *waypoints* são utilizados para simular as rotas, os *ground points* servem para simular os pontos de terra em ambos os lados da rota de navegação com a finalidade de se calcular as probabilidades de encalhes. Com o auxílio da Carta Náutica 2101 – Porto do Rio Grande (Figura 23) e dos softwares *Google Earth*, e *Memory Map* foram determinados 85 (oitenta e cinco) *ground points* e 81 (oitenta e um) segmentos de áreas de encalhes.

Finalizando a terceira etapa, além da inserção de todos os elementos citados, foi assumido que os navios que trafegam dentro da área do Porto do Rio Grande navegam a uma distância média de 410 pés (aproximadamente 125m) entre eles, com um desvio aceitável de 165 pés (aproximadamente 50m). A velocidade, conforme determinado na NPCP-RS (2015), foi estipulada em 8 (oito) nós no Canal da Barra e

Canal de Acesso ao Porto, e em 5 (cinco) nós no Canal do Porto Novo e Canal do Porto Velho.

Ressalta-se aqui que com a incorporação de todas essas informações ao *software* da forma mais fidedigna ao cenário real possível, maior será a precisão da simulação realizada.

5.1.1 Qualidade e confiabilidade dos dados coletados

Foi apontado por Chung (2004), que quando os dados de entrada de uma simulação forem imprecisos os resultados também serão imprecisos. Os dados obtidos nesse trabalho, na teoria, representam a realidade.

Os dados da movimentação portuária devem corresponder a toda movimentação portuária observada no Porto do Rio Grande, já que foram enviados pela própria autoridade portuária (SUPRG).

As informações sobre o cenário geográfico, obtidas nas cartas náuticas elaboradas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) são as fontes oficiais de informações relativas às águas de jurisdição brasileira, e, portanto, assim como os dados de movimentação, essas informações devem refletir a realidade geográfica local. A Carta Náutica relativa ao Porto do Rio Grande (Carta Náutica 2101) foi atualizada no mês de Julho de 2016.

Portanto, dessa forma, pode-se estabelecer empiricamente que as informações utilizadas na modelagem do cenário de simulação são as mais confiáveis possíveis, já que tem sua origem nas instituições diretamente responsáveis por sua obtenção, administração e atualização.

5.2 PARAMETRIZAÇÕES DA SIMULAÇÃO

Após a realização das três primeiras etapas, que consistiam em modelar o cenário da simulação computacional, fez-se necessária a execução da quarta etapa, que consistiu na definição do tipo de análise que seria executado na simulação.

Recorrendo-se ao manual do usuário do *software* GRACAT, foi possível obter maiores informações a respeito da definição da análise desejada. Conforme já citado anteriormente, para análise das colisões e abalroações, o *software* possui a capacidade de analisar as colisões e abalroações tanto de forma probabilística como determinística.

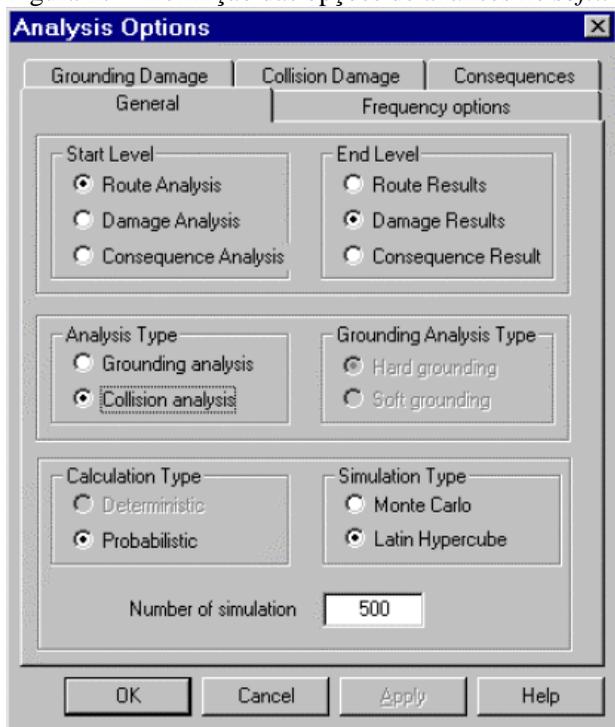
No presente trabalho foi utilizada a função de análise probabilística de colisões e abalroações, já que o objetivo principal do estudo foi determinar a probabilidade de colisões e abalroações

envolvendo as embarcações, e não adentrar no aspecto de análise dos danos causados às embarcações envolvidas nas colisões e abalroações.

Conforme mostra a Figura 27, é necessário que o usuário defina um nível inicial e final para a simulação, assim como se a análise é relativa a encalhes ou colisões e abalroações. Há também a opção de realizar a simulação utilizando dois métodos de amostragem: Monte Carlo e Hipercubo Latino. Conforme o manual apresenta, ambos os métodos convergem para o mesmo resultado, porém o método do Hipercubo Latino tem melhores resultados para simulações utilizando amostras menores, e, portanto foi o método escolhido para essa simulação.

Após a análise da probabilidade de ocorrência de colisões e abalroações foi realizada a análise da probabilidade de ocorrência de encalhes. Para essa função, o *software* permite duas condições de encalhes distintas, conforme descrito anteriormente (Item 3.4), e nesse caso específico somente foi realizada a análise de encalhes em solo mole.

Figura 27 – Definição das opções de análises no *software* GRACAT



Fonte: Adaptado de *Software* GRACAT (2017).

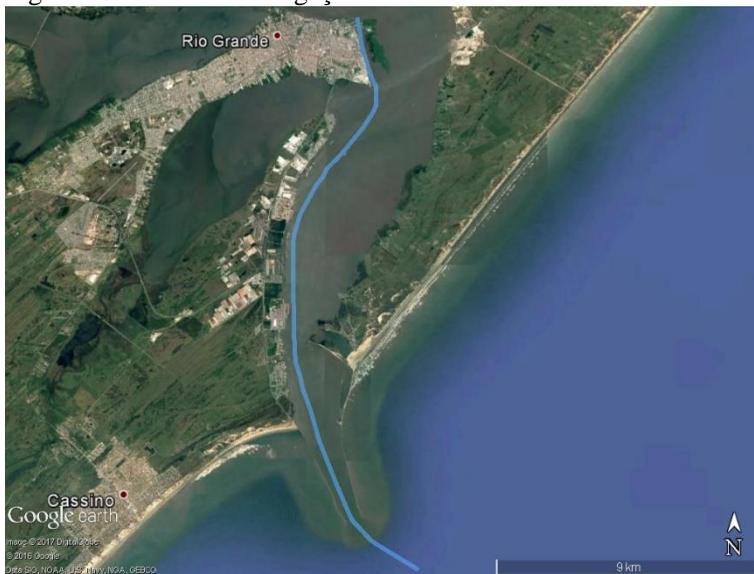
5.3 ANÁLISE DOS DADOS

Após a inserção dos dados e da parametrização da simulação, o *software* GRACAT aceitou as entradas, e procedeu às simulações, realizando as análises solicitadas pelo autor. Os resultados são apresentados separadamente por segmentos, e com a correspondente probabilidade anual de ocorrência. Cada análise (colisões e abalroações, e encalhes) é independente, e, portanto, apresentada separadamente. O modelo utilizado pelo GRACAT estima a frequência relativa de colisões e encalhes por ano por viagem para cada segmento dentro da rota de navegação estabelecida. Enfatiza-se aqui que o *software* GRACAT não faz distinção entre as colisões e abalroações, e, portanto, a partir desse ponto somente é considerada a probabilidade total de colisões, sejam elas envolvendo outras embarcações (abalroamento) ou não.

5.3.1 Frequência estimada de colisões

Para a Rota 1 (Figura 28), todos os segmentos calculados (total de 45) obtiveram probabilidade de no máximo 1.5989×10^{-8} colisões por ano de operação (considerando-se o tráfego atual), e a rota toda obteve probabilidade de colisão de 1.4401×10^{-6} por ano de operação (ou 0.000001 colisões/ano).

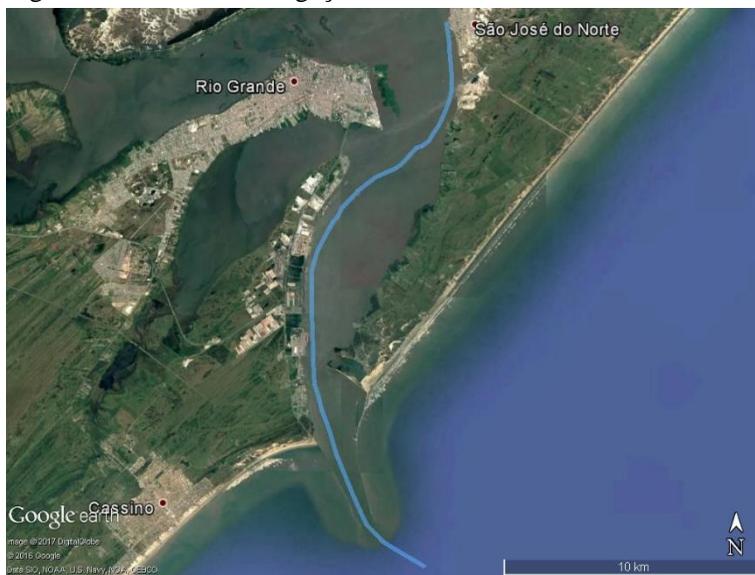
Figura 28 – Rota de Navegação nº1



Fonte: Adaptado de *Software Google Earth* (2017).

E para a Rota 2 (Figura 29), todos os segmentos calculados (total de 51) obtiveram probabilidade de no máximo 1.5989×10^{-8} colisões por ano de operação (considerando-se o tráfego atual), e a rota toda obteve probabilidade de colisão de 1.6365×10^{-6} por ano de operação (ou 0.000002 colisões/ano).

Figura 29 – Rota de Navegação n°2



Fonte: Adaptado de *Software Google Earth* (2017).

Dessa forma, é possível verificar que em ambas as rotas, os valores obtidos encontram-se nos mesmos patamares, tendo ordens de grandeza idênticas (10^{-6} para a rota toda e 10^{-8} para os segmentos separados).

5.3.1.1 Locais mais propensos à ocorrência de colisões

Como a probabilidade de colisões estimadas para os segmentos foi de no máximo 1.5989×10^{-8} , pode-se descartar a necessidade de se destacar e identificar quais segmentos são mais propensos à ocorrência de colisões, já que mesmo os segmentos com maior incidência teórica de colisões possuem um valor estimado de ocorrência classificado como risco negligenciável (risco de ocorrência menor que 10^{-6} ocorrências/ano).

5.3.2 Frequência estimada de encalhes

Para a Rota 1 (Figura 28), foi obtida uma probabilidade de ocorrência de 8.6169×10^{-4} encalhes por ano de operação (ou 0.000862 encalhes/ano), e para a Rota 2 (Figura 29), foi obtida uma probabilidade

de ocorrência de 4.8914×10^{-4} encalhes por ano de operação (ou 0.000489 encalhes/ano).

5.3.2.1 Locais mais propensos à ocorrência de encalhes

Diferentemente do que ocorre quanto a probabilidade de colisões estimadas, para as probabilidades de ocorrências de encalhes foram identificados 08 (oito) segmentos na Rota 1, e 05 (cinco) segmentos na Rota 2 que apresentaram uma probabilidade de ocorrência de encalhes que necessita atenção, e medidas de controle, pois se enquadram em área de risco aceitável.

O Quadro 7 apresenta os segmentos com maior probabilidade de ocorrência de encalhes dentro das 2 (duas) rotas simuladas:

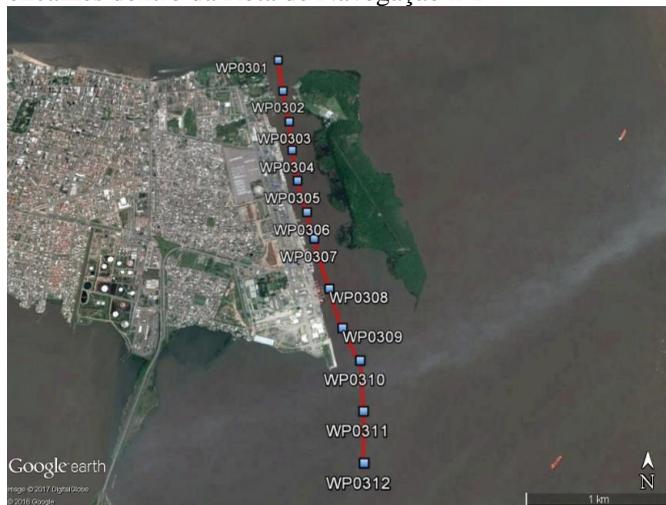
Quadro 7 – Segmentos com maior probabilidade de ocorrência de encalhes

Rota	Segmento	Probabilidade de ocorrência de encalhes/ano
Rota 1	L395	$3,3759 \times 10^{-5}$
	L396	$6,3497 \times 10^{-5}$
	L397	$7,2017 \times 10^{-5}$
	L399	$1,7793 \times 10^{-5}$
	L402	$5,0710 \times 10^{-5}$
	L403	$9,6443 \times 10^{-5}$
	L404	$2,6198 \times 10^{-4}$
	L405	$4,2597 \times 10^{-5}$
	Rota Completa (44 segmentos)	$8,6169 \times 10^{-4}$
Rota 2	L350	$5,4809 \times 10^{-5}$
	L352	$2,1056 \times 10^{-5}$
	L353	$1,1799 \times 10^{-5}$
	L356	$2,6014 \times 10^{-4}$
	L357	$1,0671 \times 10^{-5}$
	Rota Completa (51 segmentos)	$4,8914 \times 10^{-4}$

Fonte: Adaptado de *Software* GRACAT (2017).

A Figura 30 representa a localização dos segmentos com maior probabilidade de ocorrência de encalhes dentro da Rota 1:

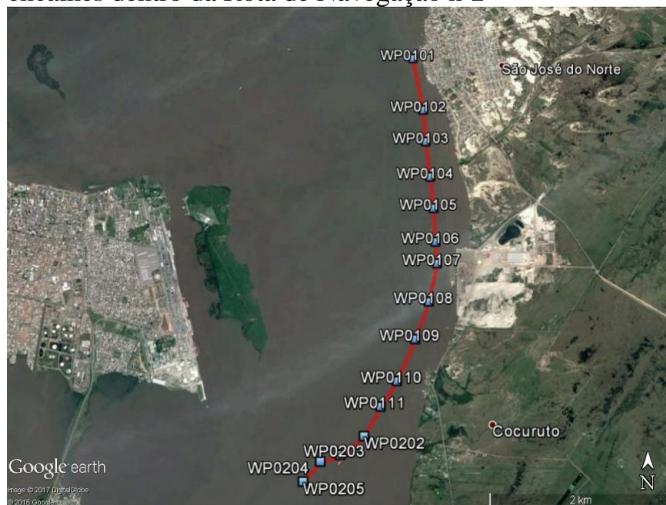
Figura 30 - Segmentos com maior probabilidade de ocorrência de encalhes dentro da Rota de Navegação n°1



Fonte: Adaptado de *Software Google Earth* (2017).

E a Figura 31 representa a localização dos segmentos com maior probabilidade de ocorrência de encalhes dentro da Rota 2:

Figura 31 – Segmentos com maior probabilidade de ocorrência de encalhes dentro da Rota de Navegação n°2



Fonte: Adaptado de *Software Google Earth* (2017).

Nota-se através da observação da Figura 30 e da Figura 31, que em ambas as rotas, os segmentos mais propensos a encalhes localizam-se próximos à costa. Além disso, a Carta Náutica 2101 apresenta a presença de 2 (dois) cascos de navios naufragados próximos à Rota de Navegação nº2, conforme mostra a Figura 32.

Figura 32 – Cascos de Navios Naufragados Próximos à Rota de Navegação nº2



Fonte: Adaptado de *Software Google Earth* (2017).

5.4 SÍNTESE DO CAPÍTULO

Nesse capítulo foi apresentada a modelagem do cenário e a parametrização do *software* GRACAT para que fosse possível simular o cenário mais autêntico à realidade possível. Todas as simulações foram realizadas sem problemas, e os resultados foram obtidos com sucesso. Os resultados obtidos são discutidos no próximo capítulo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O TEMA PESQUISADO E LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Por meio deste trabalho, num primeiro momento, foram identificados e apresentados os conceitos e aspectos teóricos do transporte marítimo, com foco nos acidentes e nos fatos da navegação, apresentados os princípios fundamentais da análise de risco aplicada aos acidentes marítimos e abordados os aspectos essenciais do modelo de estimativa de acidentes baseados no tráfego de embarcações. Constatou-se, assim, que os primeiros objetivos específicos apresentados no Capítulo 1 foram alcançados mediante pesquisa realizada no decurso da realização do trabalho.

Posteriormente, especificamente no Capítulo 5, foram apresentadas as simulações computacionais realizadas para obter as probabilidades de ocorrências de colisões, abalroações e encalhes dentro da área de navegação do Porto do Rio Grande/RS. Do mesmo modo, foram identificadas quais as áreas dentro de referido porto são mais propensas à ocorrência desses eventos. Para que isso fosse possível, foram definidas 02 (duas) rotas de navegação dentro do *software* GRACAT, permitindo o cumprimento dos 02 (dois) últimos objetivos específicos estipulados inicialmente.

Possibilitou-se, como um dos resultados do trabalho, comparar o pior cenário de probabilidade de ocorrência de colisões e abalroações (1.6365×10^{-6} ocorrências/ano na Rota 2) com o pior cenário de ocorrência de encalhes (pior cenário: 8.6169×10^{-4} ocorrências/ano na Rota 1), constatando-se que a probabilidade de ocorrência de encalhes é 526 vezes maior do que a probabilidade de colisões e abalroações, avaliando-se somente o pior cenário possível (cenário de maior risco provável) dentro da área estudada.

Os segmentos mais propensos às colisões e abalroações apresentaram valores dentro da faixa de risco considerada negligenciável de acordo com a HSE (2001) (Vide item 2.1.4), e, portanto, num primeiro momento, não necessitam qualquer tipo de atenção ou intervenção. Na concepção deste trabalho, havia uma expectativa de que ocorresse maior probabilidade de risco de colisões e abalroações, esperando-se, assim, a apresentação de um cenário mais preocupante, cenário esse que acabou não se configurando, considerando-se os resultados obtidos. Quando confrontados o volume de tráfego marítimo dos principais portos brasileiros com os principais

portos da Europa e da Ásia, por exemplo, é evidente que o volume de tráfego observado no Brasil é menor (WSC, 2015), e, por conseguinte, essa pode ser uma das hipóteses para que esse resultado tenha sido obtido na simulação. A outra hipótese levantada para a baixa propensão ocorrências dessa categoria de acidentes pode ser justificada pela utilização do *software* GRACAT. Isso porque o mencionado *software* utiliza os modelos matemáticos de Fujii e Tanaka (1971) e Macduff (1974) na determinação das colisões e abalroações, e como ambos os modelos consideram a densidade do tráfego marítimo como sendo uma distribuição normal, os resultados podem não estar refletindo a realidade, já que na prática ocorrem variações na densidade do tráfego, com horários e dias de picos de movimento, por exemplo.

Quanto aos segmentos mais propensos aos encalhes, foi possível observar que esses segmentos situam-se próximos ao Porto Novo na Rota 1, e próximos à costa na Rota 2. Na Rota 1, pode-se concluir que esses segmentos foram identificados por mais propensos aos encalhes devido ao estreitamento do canal de acesso, que nesse local específico possui em alguns pontos largura em torno de 0.06 milhas náuticas (aprox. 111 metros), enquanto que na Rota 2, além de determinados pontos do canal possuírem 0.04 milhas náuticas de largura (aprox. 74 metros), ainda há em alguns pontos a incidência de cascos de navios naufragados, conforme mostram a Carta Náutica 2101 e a Figura 32, corroborando, assim, para uma maior estimativa de probabilidade de encalhes nessa parcela da rota.

Dentro da simulação dos segmentos mais propensos aos encalhes, foi verificado que alguns segmentos (total de 13) apresentam valores dentro da faixa de risco considerada aceitável e, portanto, necessitam de medidas de intervenção por parte das autoridades competentes, para que sejam reduzidos os riscos de navegação dentro de suas áreas. Conforme estabelecido na NORMAM/26-DHN, em áreas com risco aceitável é recomendável a utilização de sistemas VTS, que apesar de se tratarem de sistemas com altos custos financeiros de instalação e operação (NAE, 1996), devem ter sua implantação considerada e estudada em conjunto com aplicação de análises de viabilidade financeira e análises de risco mais específicas, já que se trata de ferramenta reconhecida internacionalmente no aumento da segurança do tráfego marítimo. Porém, é provável que para o nível de risco observado nos segmentos simulados no presente trabalho, medidas mais simples e menos dispendiosas financeiramente, tais como, limites e regras para operação, instalação de auxílios a navegação, esquemas de separação de tráfego

(TSS) em horários de pico, podem ser suficientes para mitigação da probabilidade de risco verificada.

Com relação à ferramenta computacional utilizada, o *software* GRACAT, pode-se assegurar que é uma ferramenta confiável, pois segundo Friis-Hansen e Simonsen (2002) houve conformidade entre os resultados obtidos através das simulações quando os resultados foram comparados aos dados reais de acidentes registrados em algumas regiões onde foi utilizado.

Uma das limitações desse estudo passa pelo fato de que não é possível comparar os resultados obtidos com a realidade, já que não estão disponíveis informações a respeito de colisões e abalroações e encalhes para os portos brasileiros como um todo, e não somente para o Porto do Rio Grande, objeto do presente estudo. Destaca-se também como uma limitação o fato de que muitas das embarcações (principalmente as pequenas) que navegam no litoral brasileiro não possuem sistemas AIS, e, portanto, passam despercebidas nos sistemas de monitoramento das autoridades portuárias, causando assim uma dissonância nos dados oficiais de tráfego com a realidade. Outra limitação relacionada à falta de informações deve-se à falta de detalhamentos e especificidades a respeito da manobrabilidade utilizada nas embarcações e, portanto, nas simulações foram assumidos valores padrão, os quais são próximos aos utilizados, mas muito provavelmente não exatamente equivalentes.

Conforme a IMO (2002), os fatores humanos são um dos aspectos que mais contribuem tanto para a causa como para a prevenção de acidentes, e como os modelos matemáticos utilizados pelo *software* GRACAT não consideram variáveis ambientais e fatores humanos, por exemplo, é possível que também haja um incremento na margem de incerteza dos resultados das simulações, e, portanto, pode-se concluir que a utilização do *software* GRACAT pode e deve servir como ferramenta para estimativa das probabilidades de colisões e abalroações. Contudo, para um estudo mais confiável, recomenda-se realizar as simulações de formas seccionadas e com informações mais detalhadas, considerando assim a característica específica de cada tipo de embarcação, variações climáticas, manobrabilidade, etc. Entende-se, por fim, que para o estudo das probabilidades de encalhes, o *software* mostra-se mais confiável, já que suas ocorrências não dependem preponderantemente do volume de tráfego observado.

6.2 RECOMENDAÇÕES QUANTO A MITIGAÇÃO DOS RISCOS NA OPERAÇÃO PORTUÁRIA

A fim de se evitarem prejuízos à vida humana, ao meio ambiente, e ao patrimônio, as medidas de proteção e mitigação de riscos devem ser sempre consideradas, principalmente no transporte marítimo, atividade indispensável ao desenvolvimento e ao comércio mundial.

Não somente sistemas e tecnologias de alto custo devem ser considerados como métodos eficientes de redução de riscos no tráfego marítimo. Limites Operacionais, Regras de Operação, Auxílios à Navegação e Esquemas de Separação de Tráfego (TSS) são exemplos de que, com baixo ou nenhum investimento financeiro envolvido, pode haver mitigação de riscos.

Os sistemas VTS, apesar de seu alto custo de instalação e operação, devem ser considerados quando houver uma alta densidade de tráfego marítimo envolvido, ou quando houver predominância de trânsito de embarcações que transportem cargas perigosas e que apresentem riscos às vidas humanas e ao ambiente marinho.

Sempre que disponíveis, as simulações computacionais devem ser utilizadas para que haja aprofundamento nas questões técnicas da segurança do tráfego marítimo, já que comprovadamente se trata de uma ferramenta que possibilita a experimentação em curtos períodos de tempo, a redução dos requisitos analíticos e facilita a demonstração de modelos complexos.

Recomenda-se à DPC, autoridade responsável pela gerência da segurança do tráfego aquaviário no Brasil, que elabore Relatórios de Investigação de Acidentes Marítimos sobre todos, ou pelo menos sobre os mais relevantes acidentes envolvendo embarcações, abrangendo em seus relatórios, o máximo de informações técnicas possíveis, e incluindo recomendações e lições aprendidas com as ocorrências, diminuindo assim a probabilidade de ocorrência daquele tipo de acidente novamente, conforme fazem autoridades e agências correlatas de outros países.

Às autoridades marítimas competentes (no Brasil a Marinha do Brasil), recomenda-se que acompanhem e fiscalizem o tráfego marítimo de forma cada vez mais eficaz, já que no que tange às leis, normas e convenções pesquisadas, foi possível verificar que quanto aos aspectos regulatórios a segurança no tráfego marítimo está bem alicerçada para que seja um ambiente seguro.

Recomenda-se também que seja ampliada a exigência de utilização de sistemas AIS para todas as embarcações e não somente

para embarcações específicas, aumentando assim a segurança da navegação e a confiabilidade dos dados de tráfego marítimo observados, já que de acordo com a IMO (2014), esses dispositivos podem servir como auxílio na tomada de decisões de prevenção de colisões com outras embarcações, por exemplo.

6.3 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Como um acréscimo à pesquisa realizada, sugere-se a realização das mesmas simulações para o Porto do Rio Grande, considerando-se cenários com incremento no volume do tráfego marítimo (por exemplo, +10%, +20% e +50%) com o propósito de se verificar o comportamento das probabilidades de ocorrência de colisões, abalroações e encalhes nessas situações.

Propõe-se também a realização de trabalhos semelhantes utilizando modelos e *softwares* distintos, já que conforme Nyman (2009) existem 07 (sete) opções de *softwares* disponíveis para essa mesma categoria de análise, e caso possível, com a inclusão de aspectos relativos ao fator humano, já que de acordo com a IMO (2002), trata-se de um importante aspecto tanto para a causa como para a prevenção de acidentes.

No caso de futura disponibilização dos dados relativos aos acidentes ocorridos dentro do Porto do Rio Grande, também se faz interessante a realização de um trabalho avaliando as causas e consequências dessas ocorrências e comparando os resultados verificados com os resultados obtidos nas simulações realizadas nesse trabalho.

E, por último, sugere-se a elaboração de estudos e simulações semelhantes para outros portos brasileiros, incrementando-se assim o número de publicações na área de análise risco aplicada à segurança do tráfego marítimo, assunto esse, que ainda carece de publicações em nosso país.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS - ANTAQ. **Boletim anual de movimentação de cargas 2013**: análise da movimentação de cargas nos portos organizados e terminais de uso privado. Brasília, 2014. Disponível em:

<<http://web.antaq.gov.br/Portal/Anuarios/Anuario2013/Tabelas/AnaliseMovimentacaoPortuaria.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS - ANTAQ. **Boletim informativo portuário**: 1º trimestre de 2017. Brasília, 2017.

Disponível em: <<http://portal.antaq.gov.br/wp-content/uploads/2017/03/Boletim-Informativo-1%C2%B0T2017.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS - ANTAQ. **Boletim informativo portuário**: 2º trimestre de 2015. Brasília, 2015.

Disponível em: <<http://portal.antaq.gov.br/wp-content/uploads/2017/03/Boletim-Portu%C3%A1rio-correspondente-ao-segundo-trimestre-de-movimentac%C3%A7%C3%A3o-de-carga-.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2017.

ANDERSON, J. H. **Testimony of John H.** Washington, EUA:

Transportation Issues, Resources, Community, and Economic Development Division of the General Accounting Office, 1996.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE RECURSOS HÍDRICOS - APRH.

Glossário de Gestão Costeira Integrada. Lisboa, 2007. Disponível em: <<http://www.aprh.pt/rcgi/glossario/index.html>>. Acesso em: 02 dez. 2016.

AUSTRALIAN MARITIME SAFETY AUTHORITY - AMSA. Evaluating the role of VTS in reducing risk: an Australian perspective. **IALA Bulletin** 2012/3. p.34-6, 2013. Disponível em:

<<https://www.amsa.gov.au/navigation/services/reefvts/documents/REEFVTS-article-IALA-Bulletin-2012-3.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2017.

BONATO, G. **Porto de Santos prevê movimentar volume recorde em 2017 com expansão da soja e do açúcar**. [S. l.], 2017. Disponível em:

<<http://br.reuters.com/article/businessNews/idBRKBN14N1BE>>. Acesso em 14 mar. 2017.

BRASIL. COMANDO DA MARINHA. DHN. **Normas da autoridade marítima para serviço de tráfego de embarcações (VTS): NORMAM-26/DHN**. Brasília, 2015.

BRASIL. Decreto nº 24.585, de 5 de julho de 1934. Aprova e manda executar o regulamento do Tribunal Marítimo Administrativo. **Diário Oficial da União**, Brasília, 06 fev. 1935.

BRASIL. Lei 11.518 de 2007. Acresce e altera dispositivos das Leis nos 10.683, de 28 de maio de 2003, [...] e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 06 set. 2007.

BRASIL. Lei Federal nº 2.180, de 5 de fevereiro de 1954. Dispõe sobre o Tribunal Marítimo. **Diário Oficial da União**, Brasília, 08 fev. 1954.

BRASIL. Lei nº 12.815, de 5 de junho de 2013. Dispõe sobre a exploração direta e indireta pela União de portos e instalações portuárias e sobre as atividades desempenhadas pelos operadores portuários; [...] e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 05 jun. 2013.

BRASIL. Lei nº 9.537, de 11 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a segurança do tráfego aquaviário em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 12 dez. 1997. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19537.htm>. Acesso em: 30 jul. 2017.

BRASIL. Medida Provisória (MP) nº 369 de 07 de maio de 2007. Acresce e altera dispositivos da Lei no 10.683, de 28 de maio de 2003, para criar a Secretaria Especial de Portos, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 08 maio 2005.

BRASIL. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **PAC 2**: relatório de lançamento. Brasília, 2010.

BURKLEY, G. Sense and nonsense on cruise ship bridges. **Seaways Magazine**, set. 2016.

CASTRO JÚNIOR, O. A. **Direito marítimo**: made in Brasil. São Paulo: Lex Editora, 2007.

CASTRO JÚNIOR, O. A. **Gerenciando o Risco nas atividades marítimas e portuárias**: a importância da limitação da responsabilidade civil. Brasil, 2014.

CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA - CHM. **Cartas Raster**: cartas da costa brasileira. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-raster/raster_disponiveis.html>. Acesso em: 15 abr. 2017.

CHANEV, C. **Shipbuilding Companies**. [S. l.], 2015. Disponível em: <<http://www.cruisemapper.com/wiki/769-shipbuilding-companies>>. Acesso em: 05 maio 2016

CHARNIAK, E. Bayesians Networks without Tears. **AI Magazine**, v. 12, n. 4, 1991.

CHUNG, C. **Simulation modeling handbook**: a practical approach. Boca Raton, Flórida: CRC Press. Boca Raton, 2004.

CORRÊA FERNANDES, A. L. **A Organização marítima e a questão da pirataria**: perspectivas para o desenvolvimento do comércio marítimo nacional. 2012. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Escola de Estudos da Escola Superior de Guerra. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.esg.br/images/Monografias/2012/FERNANDESA.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2017.

DANTAS, L. A. **Modelo de gestão baseado na conformidade legal de plataformas de petróleo operando em águas jurisdicionais brasileiras**. 2006. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

DEGRASSI, S. **The seaport network Hamburg**. Tese (Doutorado) – Departamento de Geografia Econômica, Universidade de Hamburgo. Hamburgo, 2001.

DIAS, A. et al. **Metodologia para análise de risco**: mitigação de perda de SF₆ em disjuntores. Florianópolis, 2011.

El País. **Prestige judge finds “no criminal responsibility” for huge oil disaster**. Madrid, 2013. Disponível em:

<https://elpais.com/elpais/2013/11/13/inenglish/1384345343_305910.html>

. Acesso em: 29 nov. 2016.

FLEURY, P. **A Infraestrutura e os desafios logísticos das exportações brasileiras**. [S. l.], 2005. Disponível em: <<http://www.ilos.com.br/web/a-infraestrutura-e-os-desafios-logisticos-das-exportacoes-brasileiras/>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

FOWLER, T. G.; SORGARD, E. Modeling ship transportation risk. **Risk Analysis**, v. 20, n. 2, maio 2000.

FRIIS-HANSEN, P. **Basic modeling principles and validation of software for prediction of frequencies**. Lyngby, Dinamarca: Technical University of Denmark: Department of Naval Architecture and Offshore Engineering, 2000.

FRIIS-HANSEN, P.; SIMONSEN, B. C. **GRACAT**: software for grounding and collision risk analysis. **Marine Structures**, v. 15, p. 383-401, 2002.

FUJII, A. P.; TANAKA, K. Traffic capacity. **Journal of Navigation**, v. 24, 1971.

GIBERTONI, C. A. C. **Teoria e prática do direito marítimo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Renovar, 2005.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE - HSE. **Reducing Risks, protecting people**: HSE's decision-making process. Norwich, 2001.

HENLEY, E. J.; KUKAMOTO, H. **Reliability Engineering and Risk Assessment**. Nova jersey: Prentice-Hall, 1981.

HUGHES, T. Vessel Traffic Services (VTS): are we ready for the new millenium?. **Journal of Navigation**, v. 51, p 404-420. 1998.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF MARINE AIDS TO NAVIGATION AND LIGHTHOUSE AUTHORITIES – IALA. **IALA Guideline No. 1028**: on the Automatic Identification System (AIS). v. 1, pt. 1, ed. 1.3. Saint Germain en Laye, 2004.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION - IMO. **Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process.** Londres, 2002.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION - IMO. **Guidelines for Vessel Traffic Services:** Resolution A.578(14) of the international maritime organisation, 1985.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION - IMO. International Shipping: carrier of world trade. **IMO News**, ed. 3. Londres, 2005.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION - IMO. **Resolution A.1106(29):** revised guidelines for the onboard operational use of shipborne Automatic Identification Systems (AIS). Londres, 2014.

KAPLAN, S.; GARRICK, B. J. On the quantitative definition of risk. **Risk Analysis**, v. 1, n. 1, 1981.

KRISTIANSEN, S. **Maritime Transportation:** safety management and risk analysis. Amsterdam. Elsevier, 2008.

LAPLACE, P. S. Probability. In: HUTCHINS, M. A.; ADLER, M. J.; FADIMAN, C. **Gateway to the great books:** mathematics. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1990.

LEÃO, L. M. **Metodologia do estudo e pesquisa:** facilitando a vida dos estudantes, professores e pesquisadores. Petrópolis, RJ: Vozes, 2016.

LI, S.; QIANG, M.; QU, X. An overview of maritime waterway quantitative risk assessment models. **Risk Analysis**, v. 32, n. 3, 2012.

LOPES, J. **Corredores Mineiro-Energéticos 2020:** impactos marítimos do Afro-Índico no Canal de Moçambique. Maputo, 2003.

MACDUFF, T. Probability of vessel collisions. **Ocean Industry**, v. 9, 1974.

MARINE TRAFFIC. **Mapa de Navios em Tempo Real:** AIS: tráfego de navios e posicionamento. [S. l.], 2017. Disponível em: <<https://www.marinetraffic.com/>>. Acesso em: 22 jan. 2017.

MARINHA DO BRASIL. **Normas para a Capitania dos Portos.**

Disponível em:

<<https://www.mar.mil.br/cprs/cprs/segtrafego/npcp/npcprs.htm>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

MARQUES, R. L.; DUTRA, I. **Redes bayesianas: o que são, para que servem, algoritmos e exemplos de aplicações.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2002.

MARTINS, E. M. O. **Curso de Direito Marítimo.** v. 1. Barueri: Manole, 2008.

MATURANA, Marcos Coelho. **Aplicação das redes bayesianas na análise do erro humano em acidentes de colisão.** 2010. 160f. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo, 2009.

MERRICK, J. R. W. et. al., The Prince William Sound Risk Assessment. **Interfaces**, v. 32, n. 6, p. 25-40, 2002.

MERRICK, J. R. W.; VAN DORP, J. R.; DINESH, V. Assessing uncertainty in simulation based maritime risk assessment. **Risk Analysis**, v. 25, 2005.

MERRICK, J. R. W.; VAN DORP, R., Speaking the Truth in Maritime Risk Assessment. **Risk Analysis**, v. 26, n. 1, 2006.

MODARRES, M. **Risk analysis in engineering: probabilistic techniques, tools and trends.** Boca Raton: CRC Press, 2006.

MODARRES, M.; KAMINSKIY, M.; KRIVTSOV, V. **Reliability engineering and risk analysis: a practical guide.** 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2009.

MOSLEH, A.; DIAS, A. **Towards an integrated framework for aviation hazard analysis.** University of Maryland Report, 2003.

NASCIMENTO, J. M. A. **Simulador Computacional para Poços de Petróleo com Método de Elevação Artificial por Bombeio Mecânico.** 2005. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2005.

NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING - NAE, **Vessel Navigation and Traffic Services for Safe and Efficient Ports and Waterways: Interim Report**. The National Academies Press, 1996.

NATIONAL GEOSPATIAL-INTELLIGENCE AGENCY - NGA. **World Port Index**. 19. ed. Maryland, 2009.

NYMAN, T. **Review of collision and grounding risk analysis methods which can utilize the historical AIS data and traffic patterns in seaways**. Atenas, 2009.

OGATA, P. H. **Avaliação do perigo de Colisão entre aeronaves em operação de aproximação em pistas de Aterrisagem Paralelas**. 2003. 138f. Dissertação (Mestrado) – USP. São Paulo, 2003.

PEGDEN, C. D.; SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. **Introduction to simulation using SIMAN**, 2. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1995.

PEREIRA, D. M. et al. **Apostila de Sistemas de Transportes**: disciplina TT 056 – Sistemas de Transportes. Universidade Federal do Paraná, 2013.

PIANC. **Canais de acesso**: um guia para projetos. Relatório do Grupo de Trabalho II-30. Bruxelas, 2002.

PORT OF HELSINKI (Porto de Helsinque). **VTS – Vessel Traffic Service**. Helsinki, 2017. Disponível em: <<http://www.portofhelsinki.fi/en/services-companies/vts-vessel-traffic-service>>. Acesso em 22 abr. 2017.

RAPOSO, A. **As bandeiras de conveniência**. Lisboa: Instituto Hispano-Luso-Americano de Direito Marítimo, 1989.

REASON, J. **The contribution of latent human failures to the breakdown of complex systems**. Londres: Philosophical Transactions of the Royal Society, 1990.

RODRIGUE, J.; COMTOIS, C.; SLACK, B. **The Geography of Transport Systems**. 1. ed. Nova Iorque, 2006.

RODRIGUES, P. R. A. **Introdução aos Sistemas de Transporte no Brasil e à logística Internacional**. 5. ed. Rev. e Ampl. São Paulo, 2014.

ROELEVEN, D. et al. Inland waterway transport: modeling the probabilities of an accident. **Safety Science**, v. 19, 1995.

SANTOS, M. G. F. **Análise de acidentes com embarcações em águas sob jurisdição brasileira**: uma abordagem preventiva. 2013. Dissertação (Mestrado) – UFRJ, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Eng. Ambiental. Rio de Janeiro, 2013.

SANTOS, S. **Características de Um Porto**. Disciplina ECV5126 – Portos de Mar, Rios e Canais II – Aula 5. Curso de Graduação em Eng. Civil - UFSC. Notas de Aula. 2008.

SARACENI, P. P. **Transporte Marítimo de petróleo e derivados**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2012.

SARDINHA, A. **Registro de Navios**: Estados de Bandeira. Coleção Mar Fundamental. Lisboa, 2013.

SECRETARIA DE PORTOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA - SEP. **PNLP 2015**: Plano Nacional de Logística portuária: Sumário Executivo. Brasília, DF, 2015a.

SECRETARIA DE PORTOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA - SEP. **Sistema Portuário Nacional**. Brasília, DF, 2015b. Disponível em: <<http://www.portosdobrasil.gov.br/>>. Acesso em 10 abr. 2016.

SOARES, C. G.; TEIXEIRA, A. P. Risk assessment in maritime transportation. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 74, 2001.

STEIN, M. A. **Bandeiras de Conveniência**: Análise jurídica e econômica. 2011. 126f. Dissertação (Mestrado em Direito) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2011.

STEINBERG, P. E. **The Social Construction of the Ocean**. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press, 2001.

STOPFORD, M. **Maritime Economics**. 3. ed. Inglaterra. 2009.

SUPERINTENDÊNCIA DO PORTO DO RIO GRANDE - SUPRG.

Conheça o Porto do Rio Grande: A grandeza do Porto do Rio Grande não está somente no nome. Rio Grande, 2017b. Disponível em:

<http://www.portoriogrande.com.br/site/sobre_porto_conheca.php>. Acesso em: 12 abr. 2017.

SUPERINTENDÊNCIA DO PORTO DO RIO GRANDE - SUPRG.

Histórico: Conheça a História do Porto do Rio Grande. Rio Grande, 2017a. Disponível em:

<http://www.portoriogrande.com.br/site/sobre_porto_historico.php>. Acesso em: 12 abr. 2017.

SUPERINTENDÊNCIA DO PORTO DO RIO GRANDE - SUPRG. **Plano Mestre do Porto do Rio Grande.** Rio Grande, 2012.

SZWED, P. et al. A Bayesian paired comparison approach for relative accident probability assessment with covariate information. **European Journal of Operational Research**, v. 169, 2006.

TECHKISSES. **How do automatic identification systems work?**. 2013.

Disponível em: <<http://www.techkisses.com/automatic-identification-systems/>>. Acesso em 12 mar. 2017.

THE WORLD BANK (Banco Mundial). **Quality of port infrastructure.** Washington, 2017. Disponível em:

<<http://data.worldbank.org/indicator/IQ.WEF.PORT.XQ>>. Acesso em: 02 fev. 2017.

TRUCCO P. et al. A Bayesian Belief Network modelling of organisational factors in risk analysis: A case study in maritime transportation . **Reliability Engineering and Systems Safety**, v. 93, n. 6, 2008.

UNITED STATES COAST GUARD - USCG. **Vessel Traffic Services.**

2014. Disponível em:

<<https://www.navcen.uscg.gov/?pageName=vtsMain>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

VALE. **Guia Navio Valemax.** Rio de Janeiro, 2012.

VAN DORP, J. et al. A risk management procedure for the Washington State Ferries. **Risk Analysis**, v. 21, 2001.

WEBB, R. D. G.; LAMOUREUX, T. M. **Human Reliability and Ship Stability**, Toronto, Canadá: Department of National Defense, 2003.

WISWALL JÚNIOR, F. L. **Flags of Convenience**: United States Shipping Policies and the World Market. Westport, Inglaterra: Quorum Books, 1996.

WORLD SHIPPING COUNCIL - WSC. **Top 50 World Container Ports**. Washington, 2015. Disponível em: <<http://www.worldshipping.org/about-the-industry/global-trade/top-50-world-container-ports>>. Acesso em 26 mar. 2017.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YLITALO, J. **Ship-Ship Collision Probability of the Crossing Area between Helsinki and Tallinn**. Helsinque, Finlândia: Helsinki University of Technology, 2009.