



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL

AVALIAÇÃO E ANÁLISE DE RISCO EM SISTEMAS DE BALIZAMENTO:
UM ESTUDO DE CASO PARA REGIÃO AMAZÔNICA

CLAUDIO PATRICK LOPES RIBEIRO

Orientação: Prof. Dr. Nélio Moura de Figueiredo

Belém
2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

R484a Ribeiro, Claudio Patrick Lopes.
AVALIAÇÃO E ANÁLISE DE RISCO EM SISTEMAS DE
BALIZAMENTO: UM ESTUDO DE CASO PARA REGIÃO
AMAZÔNICA / Claudio Patrick Lopes Ribeiro. — 2023.
223 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Nélio Moura de Figueiredo
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de
Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval, Belém, 2023.

1. Auxílios à Navegação. 2. Balizamento. I. Título.

CDD 623.8

CLAUDIO PATRICK LOPES RIBEIRO

**AVALIAÇÃO E ANÁLISE DE RISCO EM SISTEMAS DE BALIZAMENTO:
UM ESTUDO DE CASO PARA REGIÃO AMAZÔNICA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval – PPGENAV, do Instituto de tecnologia – ITEC, da Universidade Federal do Pará – UFPA, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Naval.

Linha de Pesquisa: Sistemas de Transporte Aquaviário.

Orientador: Prof. Dr. Nélio Moura de Figueiredo

Orientação: Prof. Dr. Nélio Moura de Figueiredo

Belém

2023

CLAUDIO PATRICK LOPES RIBEIRO

**AVALIAÇÃO E ANÁLISE DE RISCO EM SISTEMAS DE BALIZAMENTO:
UM ESTUDO DE CASO PARA REGIÃO AMAZÔNICA**

Esta defesa final foi julgada e aprovada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval da Universidade Federal do Pará.

Belém, 24 de Novembro de 2023.

Prof. Dr. Mounsi Said

(Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval – UFPA)

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Nélio Moura de Figueiredo

PPGNAV/UFPA

Orientador

Prof. Dr. Hito Braga de Moraes

PPGNAV/UFPA

Examinador Interno

Prof. Dr. Pedro Igor Dias Lameira

PPGNAV/UFPA

Examinador Interno

Prof. Dr. Lucélia Marques Lima da Rocha

SEDUC/PA

Examinador Externo

Dedico este trabalho de coração à minha amada família, cujo amor e apoio foram a fonte de minha inspiração. Cada página é um reflexo da nossa força unida, e este mestrado é tão de vocês quanto é meu. Com gratidão infinita por serem minha rocha e luz ao longo desta jornada.

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação de mestrado é o resultado de uma jornada marcada por bênçãos e apoio incondicional, e expressei minha profunda gratidão a todos que desempenharam papéis fundamentais nesse percurso.

Agradeço a Deus por ser a fonte da minha força e sabedoria, guiando-me em cada passo deste caminho acadêmico.

Ao meu pai Claudio Ribeiro, você tem sido minha fonte inesgotável de inspiração, sabedoria e apoio ao longo de toda a minha vida. Seus conselhos sábios e encorajamentos constantes foram à âncora que me manteve firme nos momentos desafiadores. Agradeço por seu sacrifício incansável, por acreditar em meus sonhos e por ser meu exemplo de dedicação e perseverança. Cada conquista minha é, de fato, um reflexo do seu amor e da sua orientação.

À minha Mãe Leonor Ribeiro, sua presença ao longo da minha vida foi minha maior bênção. Sua fé inabalável em mim sempre foi meu impulso. Agradeço por ser a força silenciosa por trás das minhas realizações, por cada sacrifício feito para me ver crescer e por ser a pessoa extraordinária que moldou meu caráter.

É impossível não lembrar o amor eterno da minha amada irmã Karin Sidartha. Embora não esteja fisicamente presente para compartilhar este momento, sinto sua influência inspiradora em cada momento da minha vida. Suas palavras de incentivo, sua alegria contagiante e seu espírito resiliente são uma constante lembrança de que, mesmo na ausência física, seu legado vive.

À minha querida esposa Giselle Ribeiro, agradeço por ser minha fonte de força, amor e inspiração. Este trabalho é dedicado a você, como uma expressão de gratidão pelo seu apoio incondicional e pelo amor que permeia cada palavra. Cada conquista é compartilhada, e cada obstáculo superado é uma vitória nossa. Seu encorajamento constante foi a luz nos dias escuros, e sua crença em mim foi a faísca que manteve viva minha determinação.

Ao meu querido filho Victor Ribeiro, sua presença foi a luz que iluminou meu caminho. Suas risadas foram meu alívio nos momentos de tensão, e sua compreensão infantil trouxe perspectivas valiosas aos desafios. Agradeço por compartilhar comigo não apenas os momentos de celebração, mas também os dias de dedicação intensa aos estudos. Seu apoio constante, mesmo quando eu estava imerso em livros e pesquisas, foi a força que me impulsionou a persistir.

Ao meu orientador professor Nélio Figueiredo, agradeço pela orientação sábia, paciência e inspiração contínuas.

Aos dedicados professores, meu reconhecimento por partilharem conhecimento e estímulo ao longo desta jornada.

Cada um de vocês contribuiu para a concretização deste sonho, e este trabalho é tão de vocês quanto é meu. Com humildade e gratidão, celebro essa conquista em conjunto.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das vias e suas interferências e efeitos.....	21
Tabela 2 - Relação Causal entre Perigos e Consequências	39
Tabela 3 - Descrições de probabilidade.....	43
Tabela 4 - Descrições do impacto.....	44
Tabela 5 - Matriz de valor de risco.....	46
Tabela 6 – Descrição das faixas de riscos	47
Tabela 7 - Cartas Náuticas do Rio Amazonas	53
Tabela 8 - Auxílios à Navegação - Rio Amazonas.....	55
Tabela 9 - Histórico de Incidentes e Acidentes	58
Tabela 10 - Cartas Náuticas - Rio Pará e Estreitos.....	63
Tabela 11 - Histórico de Incidentes e Acidentes na Navegação.....	64
Tabela 12 - Cartas Náuticas - Rio Tapajós	67
Tabela 13 - Auxílios à Navegação - Rio Tapajós	68
Tabela 14 - Histórico de Incidentes e Acidentes na Navegação - Rio Tapajós.....	69
Tabela 15 – Cartas Náuticas do rio Trombetas.....	72
Tabela 16 - Histórico de Incidentes e Acidentes na Navegação - Rio Trombetas	73
Tabela 17 - Fatores para Identificação de Perigos.....	75
Tabela 18 - Características Principais - Rio Amazonas	78
Tabela 19 - Matriz de Resultados - Rio Amazonas	78
Tabela 20 - Características Principais - Rio Pará	83
Tabela 21 - Matriz de Resultados - Rio Pará.....	86
Tabela 22 - Características Principais - Rio Tapajós.....	88
Tabela 23 - Matriz de Resultados - Rio Tapajós	90
Tabela 24 - Características Principais - Rio Trombetas	92
Tabela 25 - Matriz de Resultados - Rio Trombetas.....	93
Tabela 26 - Lista de Auxílios à Navegação - Fixos e Flutuantes - Rio Pará e Estreitos	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da Pesquisa	14
Figura 3 - Fluxograma metodológico simplificado	36
Figura 4 - O processo SIRA de avaliação de risco	40
Figura 5 - Vias Navegáveis - Região Hidrográfica Amazônica	50
Figura 6 - Rio Amazonas.....	51
Figura 7 - Tráfego de embarcações no Rio Amazonas.....	52
Figura 8 - Fluxo de Embarcações - Rio Amazonas	53
Figura 6 – Rio Pará.....	61
Figura 9 - Fluxo de Embarcações - Rio Pará e Estreitos	62
Figura 10 - Área de Estudo - Rio Tapajós	66
Figura 11 - Fluxo de Embarcações - Rio Tapajós	67
Figura 12 - Localização - Rio Trombetas.....	71
Figura 13 - Fluxo de Embarcações - Rio Trombetas.....	72

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviário
AIS	Sistema Automático de Identificação
CHM	Centro de Hidrografia da Marinha
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ENC	Electronic Navigation Chart
EVTEA	Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental
IALA	International Association of Lighthouse Authorities
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMO	International Maritime Organization
MTPA	Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil
NPCF	Normas e Procedimentos da Capitania Fluvial
PHE	Plano Hidroviário Estratégico
PIANC	Permanent International Association of Navigation Congresses
PNLP	Plano Nacional de Logística Portuária
PNRH	Plano Nacional De Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Hipótese	12
1.2. Objetivos.....	12
Objetivo geral.....	12
Objetivos específicos.....	12
1.3. Justificativa	13
1.4. Fluxograma do Trabalho	14
1.5. Estrutura do Trabalho	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. Panorama do Transporte Aquaviário.....	16
2.2. Vias Navegáveis Interiores.....	17
2.3. Parâmetros de Navegação em Vias Navegáveis Interiores	18
2.4. Segurança na Navegação em Vias Navegáveis Interiores.....	22
2.5. A Necessidade de Sinalização Náutica	24
2.6. Estabelecimento de Auxílios à Navegação.....	25
2.7. Trabalhos Relacionados à Segurança da Navegação	26
2.8. Normativas Nacionais e Internacionais sobre Balizamento de Hidrovias	27
IALA - International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities.....	27
- NORMAM 17 - Normas da Autoridade Marítima para Auxílios à Navegação	28
2.9. Análises De Risco Utilizadas No Cenário Hidroviário	30
SIRA (Simplified IALA Risk Assessment)	33
3. MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1. Estruturação Metodológica	35

3.2.	Seleção e Obtenção de Dados.....	37
3.3.	Processo SIRA.....	37
3.3.1.	Seleção de Zonas	41
3.3.2.	Identificação de Perigos	41
3.3.3.	Desenvolvimento de Cenários.....	42
3.3.4.	Probabilidade e Impacto	43
3.3.5.	Matriz de Aceitabilidade de Riscos	46
3.3.6.	Avaliação de Opções de Controle de Riscos	47
3.3.7.	Matriz de Risco	48
3.3.8.	Elaboração de Resultados	48
4.	ESTUDO DE CASO	49
4.1.	Caracterização Geral da Área de Estudo.....	49
4.2.	Caracterização Específica da Área de Estudo	50
4.2.1.	Rio Amazonas	50
4.2.2.	Movimentação e Tráfego.....	51
4.2.3.	Batimetria – Cartas Náuticas	53
4.2.4.	Auxílios Fixos e Flutuantes Existentes para Navegação	54
4.2.5.	Histórico de Incidentes Marítimos	58
4.2.6.	Avaliação de Probabilidade e Impacto	58
4.2.7.	Rio Pará.....	60
4.2.8.	Movimentação e Tráfego.....	61
4.2.9.	Batimetria – Cartas Náuticas	62
4.2.10.	Auxílios Fixos E Flutuantes Existentes Para Navegação	63
4.2.11.	Histórico de Incidentes na Navegação	64
4.2.12.	Avaliação de Probabilidade e Impacto	64
	Rio Tapajós	65
4.2.13.	Movimentação e Tráfego.....	66

4.2.14.	Batimetria – Cartas Náuticas	67
4.2.15.	Auxílios Fixos E Flutuantes Existentes Para Navegação	68
4.2.16.	Histórico de Incidentes na Navegação	69
4.2.17.	Avaliação de Probabilidade e Impacto	69
	Rio Trombetas.....	71
4.2.18.	Movimentação e Tráfego.....	72
4.2.19.	Batimetria – Cartas Náuticas	72
4.2.20.	Auxílios Fixos e Flutuantes Existentes para Navegação	73
4.2.21.	Histórico de Incidentes na Navegação	73
4.2.22.	Avaliação de Probabilidade e Impacto	73
4.2.23.	Perigos e riscos	74
4.2.24.	Tipos de perigos	74
4.2.25.	Fatores de risco	75
4.3.	Desenvolvimento de cenários	75
4.3.1.	Abalroamento.....	76
4.3.2.	Encalhe	76
4.3.3.	Colisão.....	76
4.3.4.	Naufrágio	76
4.3.5.	Probabilidade e impacto	76
4.3.6.	Matriz de Aceitabilidade do Risco	76
4.3.7.	Avaliação de opções de controle de risco.....	77
5.	RESULTADOS	78
5.1.	Resultados Analisados	78
5.1.1.	Rio Amazonas	78
	Rio Pará	83
5.1.2.	Rio Tapajós	88
	Rio Trombetas.....	92

6. CONCLUSÕES.....	94
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
8. APÊNDICES	106

RESUMO

Ao examinar a estrutura de transporte historicamente estabelecida no Brasil, evidenciou-se a ausência de uma abordagem sistemática e multimodal, assim como a falta de uma perspectiva estratégica a médio e longo prazo. Essas circunstâncias resultam na criação de uma infraestrutura deficiente e desigual entre os diferentes modais, como é notável no caso do transporte hidroviário.

Portanto, o estudo em questão concentrou-se na análise da infraestrutura de segurança da navegação nos rios da Amazônia, com ênfase nos cursos fluviais dos rios Pará, Amazonas, Tapajós e Trombetas, abrangendo 159 Sinais de Auxílio à Navegação.

Ao longo dos últimos anos, esses sinais têm enfrentado contínuos desafios de degradação devido a altos índices de vandalismo, abalroamento e dificuldades no atendimento.

Dessa forma, a pesquisa teve como objetivo compreender as vias de navegação internas mencionadas, em conjunto com a avaliação das condições atuais dessas rotas, a fim de avaliar e analisar os sistemas de balizamento nelas existentes.

Para alcançar esse objetivo, foi essencial recorrer a parâmetros normativos que governam o processo de avaliação e análise de riscos de balizamento de uma hidrovia.

Palavras chaves: Vias Navegáveis. Balizamento. Segurança da Navegação.

ABSTRACT

When examining the transport structure historically established in Brazil, the absence of a systematic and multimodal approach was evident, as well as the lack of a strategic perspective in the medium and long term. These circumstances result in the creation of a deficient and unequal infrastructure between different modes, as is notable in the case of waterway transport.

Therefore, the study in question focused on the analysis of navigation safety infrastructure in the Amazon rivers, with emphasis on the river courses of the Pará, Amazonas, Tapajós and Trombetas rivers, covering 159 Navigation Aid Signals.

Over the past few years, these signs have faced continuous challenges of degradation due to high rates of vandalism, collisions and difficulties in servicing.

Thus, the research aimed to understand the mentioned internal navigation routes, together with the assessment of the current conditions of these routes, in order to analyze and evaluate the beacon systems existing on them.

To achieve this objective, it was essential to resort to normative parameters that govern the process of sizing, risk analysis and marking of a waterway.

Keywords: Waterways. Beaconing. Navigation Security.

1. INTRODUÇÃO

No que concerne a logística de transportes de cargas instituída historicamente no Brasil, pode-se observar que a ausência de uma política sistêmica e multimodal de transportes, assim como de uma visão estratégica de médio e longo prazo, ocasionaram uma má distribuição dos modais de transporte no Brasil. Fato este, constatado pelo predomínio do modal rodoviário nas movimentações de cargas em relação as demais variantes disponíveis.

Nesse contexto, percebe-se que o modal aquaviário que poderia assumir a dianteira do processo logístico, dinamizador e concentrador dos transportes de cargas, se encontra muito aquém de suas reais possibilidades e potencialidades, apesar de toda a vocação natural disponível em grande parte do território nacional, que por sua vez, acaba se destacando como um verdadeiro contrassenso a realidade brasileira.

O transporte aquaviário sob ótica holística é uma modalidade que pode ser desenvolvida pela navegação tanto em hidrovias interiores, quanto por meio da cabotagem marítima. Apresentando características diferenciadas, quando comparado aos outros modais, tais como: baixos custos de transportes, grande capacidade de movimentação de cargas, sendo também muito seguro e menos impactante ao meio ambiente.

O Estado do Pará se destaca em relação aos demais estados da federação, não somente por apresentar uma grande extensão territorial, mas por dispor de características naturais que o diferenciam a exemplo de sua extensa rede hidrográfico, composto por rios longos e navegáveis, os quais estão se transformando em corredores de exportação de cargas, principalmente as provenientes do agronegócio, com ênfase ao rio Tapajós e seu percurso navegável, situado no Oeste Paraense, que se destaca como um vetor logístico para o escoamento de grãos.

Nos Estados do Pará e Amazonas, observam-se rios que possuem importância inquestionável e de destaque para a economia da região, como os rios Pará, Amazonas, Tapajós e Trombetas, que se destacam na área logística, haja vista que por intermédio destes rios, torna-se possível não somente o abastecimento de cidades e comunidades ribeirinhas, mas também o escoamento de parte da produção agrícola e mineral das regiões Norte e Centro-Oeste do país.

Tendo em vista a demanda expressiva do setor aquaviário para o aumento da capacidade logística da Região Amazônica, evidencia-se a necessidade de garantir a segurança da navegação por todos os trechos de acesso, fato este que se caracteriza

como de suma importância, com a necessidade de execução de levantamentos hidrográficos (LH) e balizamentos com eficácia para que, dessa forma, a segurança na navegação seja alcançada.

Concomitantemente às problemáticas destacadas, o correto desenvolvimento do setor hidroviário da Região Amazônica confronta-se em outras intempéries, a exemplo da falta de auxílios à navegação pelos quais os navegantes são guiados de forma segura através dos rios e canais ao longo de rotas preferenciais de forma a diminuir distâncias e tempos de trânsito, bem como evitar acidentes na navegação, por intermédio da evidenciação de perigos à navegação ao longo das vias navegáveis.

Nesse sentido, torna-se fulcral e evidente a necessidade de prover auxílios à navegação nas vias navegáveis da Região Amazônica, bem como de realizar a manutenção constante dos auxílios existentes. Estes auxílios, por sua vez, são fixados de forma permanente a superfícies rígidas que exigem amarração ao leito do mar por poitas de concreto e outros dispositivos. Entretanto, mesmo com a utilização destes dispositivos de fixação, o movimento de terra, as correntes e marés podem destruir ou movimentar esses sinais, que podem também ser prejudicados pelos altos índices de vandalismo e abaloamento da região, fatos estes que prejudicam significativamente a navegação.

Arelado a fatores naturais e humanos destacados como intempéries para o correto funcionamento dos sinais de navegação, soma-se o fato desses auxílios, que são responsáveis por guiar os navegantes, serem escassos e, muitas vezes, inexistentes em determinadas vias navegáveis. Portanto, tem-se que a inexistência, a não realização de manutenção e o posicionamento incorreto de parte desses auxílios à navegação, que podem prejudicar os navegantes com prejuízos materiais em embarcações e cargas, não garantindo a salvaguarda da vida humana e ocasionando possíveis efeitos prejudiciais ao meio ambiente quando acidentes acontecem em virtude de não haver balizamento em determinada via navegável.

Evidencia-se que a navegação de embarcações na Amazônia caracteriza-se por ser desafiadora devido à falta de conhecimento das condições dos rios, assim como em virtude da falta de cartas náuticas atualizadas e de auxílios à navegação em todos os rios navegáveis.

Pontua-se, nesse sentido, a necessidade de realização de pesquisas, de projetos e de estudos como forma de caracterizar, avaliar e analisar estas vias navegáveis sob diferentes óticas. Uma forma de avaliar a segurança nestes cursos fluviais caracteriza-se

por ser a análise de risco dos sistemas de balizamento e sinalização, sendo uma forma de avaliação amplamente utilizada pela comunidade científica como forma de identificação e análise de possíveis problemas que podem impactar negativamente as principais iniciativas de projetos de engenharia.

Nesse diapasão, a área de estudo da presente pesquisa conteve-se aos rios Pará, Amazonas, Tapajós e Trombetas com 159 Sinais de Auxílios à Navegação, que ao longo dos últimos anos, têm sido continuamente degradados, em decorrência dos altos índices de vandalismo, abalroamento e dificuldade no atendimento dos subsídios apresentados no Programa de Trabalho para os Auxílios à Navegação (PTAN), da Marinha do Brasil.

Portanto, a presente pesquisa visa implementar um estudo acerca das vias de navegação interiores em questão, em consonância com a verificação das condições atuais destas vias, de modo a caracterizar, avaliar e analisar os balizamentos existentes nas mesmas. Para isso, faz-se necessário recorrer a parâmetros normativos, tendo como destaque principal os regulamentos da IALA, IMO, SOLAS e dentre outros que regem o cenário do dimensionamento, da análise de risco e do balizamento de uma hidrovia, sendo necessária a reunião de características hidrográficas, geométricas e geomorfológicas, assim como conhecimentos das embarcações tipo que irão utilizá-las.

1.1. Hipótese

Os sistemas de balizamentos de rios da Região Amazônica em sua maioria são obsoletos, defasados, deficientes e, muitas vezes, incapazes de fornecer todas as informações necessárias de rotas e de áreas seguras para uma navegação franca e segura.

1.2. Objetivos

Objetivo geral

Realizar uma avaliação e análise de risco de auxílios à navegação em rios da Amazônia, visando a garantia da segurança da navegação, a salvaguarda de vida humana e a prevenção da poluição hídrica, tendo por base os parâmetros normativos preconizados, sobretudo, pela IALA com a metodologia SIRA.

Objetivos específicos

a) Caracterizar os dados relativos aos auxílios à navegação constantes em cartas náuticas dos trechos em análise para os rios Amazonas, Pará, Tapajós e Trombetas;

- b)** Analisar os parâmetros relacionados às condições de tráfego, condições de navegação, condições da via navegável, parâmetros geomorfológicos dos rios, aspectos quantitativos e qualitativos dos auxílios à navegação existentes.
- c)** Avaliar o nível de risco dos rios em análise, em comparação com o atual nível de risco considerado nas normativas adotadas.
- d)** Evidenciar e comparar a realidade dos balizamentos existentes para os rios das áreas de estudo que foram o cerne da pesquisa.

1.3. Justificativa

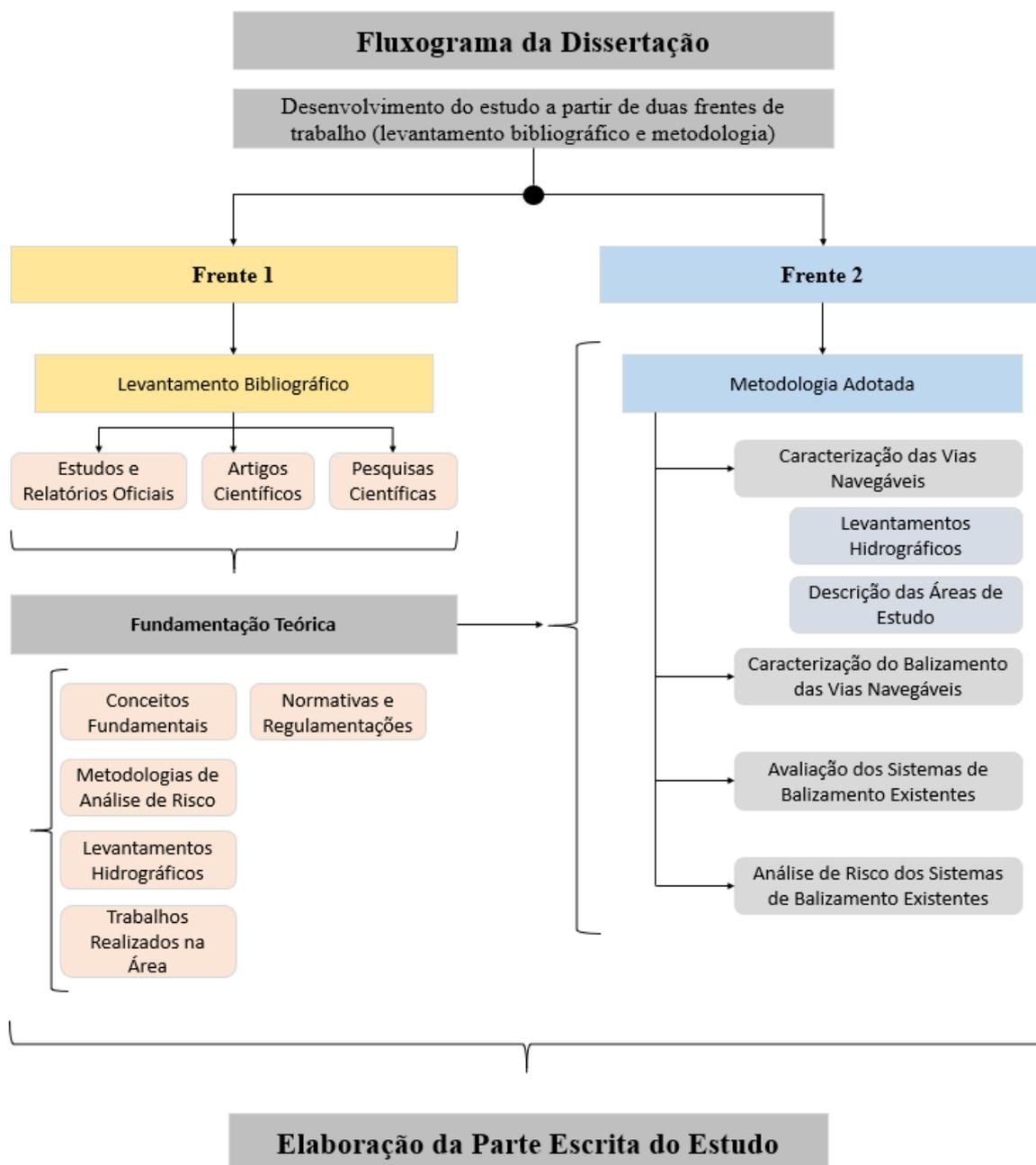
A ausência de infraestrutura adequada e a dinâmica peculiar dos rios amazônicos, caracterizada por mudanças sazonais nos níveis da água, bancos de areia flutuantes e uma vegetação densa, demandam uma abordagem específica no que diz respeito à implementação e otimização de auxílios à navegação. Este projeto de pesquisa busca proporcionar uma compreensão dos desafios enfrentados pelos navegadores na região e propõe uma avaliação e análise com o intuito de garantir a segurança e eficiência da navegação fluvial.

Outro fator de atenção nesta pesquisa está relacionado às características dos Rios da Amazônia, que se caracterizam por serem detentores grandes extensões com muitas áreas que ainda não foram hidrografadas e que possuem balizamento defasado ou inexistente. Além disso, os altos índices de abalroamento e vandalismo aliados a escassez de recursos para manutenção do balizamento existente agravam a situação de riscos à segurança da navegação.

Portanto, evidencia-se a necessidade de realização de estudos no sentido de avaliar e analisar os riscos do atual sistema de navegação de rios da Amazônia no tocante ao sistema de balizamento existente, como forma de gerar conclusões e evidências das condições de navegação.

1.4. Fluxograma do Trabalho

Figura 1 - Fluxograma da Pesquisa



Fonte: Autor (2022).

1.5. Estrutura do Trabalho

Esta seção visa apresentar a estrutura desta dissertação, com destaque para a divisão dos capítulos, conforme a disposição abaixo.

Já exposto, o Capítulo 1 faz a apresentação do trabalho através da introdução, objetivos gerais e específicos, assim como sua estrutura e fluxograma. Retratando ao contexto da pesquisa, evidenciando as motivações e contextualizando o transporte

aquaviário e descrevendo as necessidades de balizamento para que este se desenvolva corretamente.

O Capítulo 2 destaca-se pela revisão bibliográfica, buscando contextualizar as temáticas norteadoras do presente trabalho, com destaque para os conceitos fundamentais para o entendimento correto da pesquisa, bem como uma caracterização do crescimento e panorama do transporte aquaviário, apresentando as necessidades de se levar em consideração os fatores que possibilitam uma navegação segura, com destaque ao balizamento de hidrovias.

O Capítulo 3 apresenta o detalhamento da metodologia utilizada na dissertação, com a discriminação dos dados utilizados, assim como a forma de caracterização dos rios utilizados como áreas de estudo e apresentando a metodologia adotada para realização do estudo de análise de risco.

O Capítulo 4 destaca-se pela apresentação de diversas características e particularidades das regiões de estudo, caracterizando quanto a hidrologia, geomorfologia, importância e densidades de tráfego.

O Capítulo 5 apresenta a compilação das informações, dados e parâmetros obtidos nos tópicos anteriores com modelo proposto e apresentado na metodologia, para as áreas de estudo, evidenciando os resultados obtidos na caracterização, avaliação e análise de risco.

O Capítulo 6 apresenta as considerações finais do trabalho, assim como identifica e recomenda o aprofundamento desse estudo, visando o aperfeiçoamento do conhecimento gerado até o presente momento.

O Capítulo 7 informa as referências bibliográficas utilizadas no embasamento teórico da pesquisa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta capítulo tem como finalidade ilustrar um breve resumo do panorama de trabalhos realizados no campo de balizamento de hidrovias, focando em análises de balizamentos existentes e análises de risco, além de esmiuçar o embasamento teórico necessário para o entendimento e para a conclusão deste trabalho.

2.1. Panorama do Transporte Aquaviário

O transporte aquaviário adquire uma importância inquestionável e de destaque para as relações comerciais mundiais, haja vista que constitui uma alternativa amigável aos modais tradicionais de transporte ferroviário e rodoviário e é responsável pela maior parte do comércio exterior (MIHIC, 2011). Nesta ótica, a navegação interior tem importância preponderante no volume de carga transportada pelo modal aquaviário, principalmente no transporte de cargas e passageiros (HAURELHUK, 2016).

O transporte de produtos pela água requer menos combustível e é significativamente mais barato por tonelada do que os modais de transporte terrestre ou aéreo (AHADI, 2018). Dentro da análise do cenário do transporte aquaviário, destaca-se o sistema de navegação interior como parte importante deste. As vias navegáveis interiores são sistemas de grande escala, compostos por rios naturais e canais artificiais, utilizados principalmente para o transporte de passageiros e cargas (SEGOVIA, 2019).

O modal de transporte aquaviário é considerado o mais eficiente para grandes volumes de carga e longas distâncias (Smith, 2012; Talluri et al., 2016; Zhao et al., 2016). No Brasil, a navegação interna está em constante crescimento, correspondendo a 33% do total de cargas transportadas no país em 2016, o equivalente a 83,8 milhões de toneladas de carga (Menescal et al., 2016). Segundo Teixeira et al. (2018), apesar de seu potencial estar longe de ser plenamente explorado, grande parte do volume de carga está sendo transportada via fluvial para os portos que irão redirecionar essas cargas para o mercado externo, principalmente devido à expansão do agronegócio no Brasil.

Como características principais do referido modal, destacam-se vantagens relacionadas ao contexto ambiental, com impactos reduzidos e capacidade de se adequar as tendências e perspectivas mundiais relacionadas ao viés da sustentabilidade (LINDSTAD & SANDAAS, 2016; LING-CHIN & ROSKILLY, 2016). Da mesma forma, observam-se impactos técnico-econômicos decorrentes da capacidade estrutural para grandes quantidades de carga (Dedes et al., 2016), que demonstraram grande possibilidade de economia em virtude de ter uma relação capacidade/custo muito

superior aos demais modais. Outra variável que contribui significativamente para o modal hidroviário são os custos operacionais (Sakalis e Frangopoulos, 2018), que são reduzidos em comparação aos demais modos tradicionais de transporte.

Nesse sentido, evidencia-se a importância do referido modal para o desenvolvimento da logística do país, haja vista que este apresenta vantagens preponderantes e de destaque em relação aos demais modais. Entretanto, apesar das vantagens apresentadas pelo transporte aquaviário, as políticas de infraestrutura são colocadas em detrimento às políticas para os demais modais, fato este que acarreta em atrasos no desenvolvimento das hidrovias, que frequentemente apresentam intensos problemas relacionados à falta de estudos, levantamentos hidrográficos e realização/manutenção de sinalização náutica.

2.2. Vias Navegáveis Interiores

Apesar das dificuldades enfrentadas no que concerne ao desenvolvimento do transporte aquaviário, tem-se que as vias navegáveis interiores estão sendo cada vez mais demandadas em decorrência, principalmente, do maior custo-benefício do transporte aquaviário em comparação aos outros modais de transportes, entretanto, a segurança nestas vias navegáveis não estão se desenvolvendo na mesma velocidade (VIDAN, 2010).

Na Amazônia, as vias navegáveis constituem uma importante forma de transporte de cargas e passageiros, em virtude da extensa malha hidroviária existente. Segundo dos Santos et al (2018) e SRNU (2006), a Amazônia possui a maior bacia hidrográfica do planeta, possuindo uma vasta gama de rios navegáveis além de um tráfego de embarcações considerável. Esta compreende mais de 60% do território brasileiro, com uma área de aproximadamente 6.925.674 quilômetros quadrados e possuindo mais de 40% dos recursos hídricos do país com uma extensão de mais de 50 mil quilômetros de rios navegáveis (MMA, 2006).

Os rios desta região apresentam diversas multifuncionalidades de grande relevância para o desenvolvimento regional, tais como o consumo direto e indireto das populações ribeirinhas (POJO et al., 2014), além do transporte de cargas e pessoas, tanto por populações tradicionais quanto por empresas multinacionais de grande porte (FILGUEIRAS et al., 2018) tornando os rios amazônicos extremamente importantes socioeconomicamente para a região.

A utilização destes rios é feita das mais diversas formas, desde o consumo direto e indireto das populações ribeirinhas (POJO et al., 2016) até o transporte de cargas e pessoas por empresas multinacionais de grande porte. Ao dar destaque ao uso para o transporte de pessoas, sabe-se que este transporte movimentava grande parte da população rural no seu dia a dia.

2.3. Parâmetros de Navegação em Vias Navegáveis Interiores

Segundo Azambuja (2005) a navegação interior possui inúmeras vantagens em relação aos demais modais, dentre eles um bom rendimento energético e pequeno impacto ambiental, entretanto, mesmo com essas vantagens, este modal apresenta-se como subutilizado. Tal fato reitera a necessidade de valorização deste tipo de navegação de modo a considerar os aspectos hidroviários favoráveis ao transporte na região estudada.

Padovezi (2003), tendo como objetivo realizar o entendimento sobre o cenário da navegabilidade em vias interiores elabora um panorama a respeito de particularidades e aspectos da navegação interior, conforme descrito:

Ao contrário dos oceanos, a maioria dos rios apresenta dificuldades importantes para a sua utilização como hidrovia, principalmente quando se deseja operar com embarcações de grande porte. Os rios apresentam condições de navegabilidade diferentes ao longo do ano, enquanto o oceano proporciona condições operacionais praticamente permanentes. Nos rios, geralmente, aparecem restrições de profundidade, trechos estreitos, curvas fechadas, que exigem cuidados especiais com os sistemas de propulsão e de manobras das embarcações.

Nesse contexto, as características físicas do canal de navegação limitam o uso do mesmo por intermédio de parâmetros como os supracitados. Ao trabalhar no projeto de um novo layout portuário ou manutenção e análise de infraestrutura costeira, a publicação da Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC, 2014) é uma ferramenta valiosa para dimensionar canal de navegação (KAARSEMAKER, 2010). A avaliação das características dos fluxos naturais existentes deve ser o primeiro passo para o planejamento hidroviário (KUWAHARA, 2012).

As dimensões de um canal de navegação são uma questão muito importante para a segurança da navegação e, portanto, são calculadas com base nos parâmetros endógenos e exógenos da via (PAULAUSKAS, 2012). No projeto de novas hidrovias, essa questão deve ser resolvida por um esforço conjunto de organizações e indivíduos

responsáveis pelo projeto do canal, e organizações e indivíduos responsáveis pela navegação segura no canal após sua conclusão (ABRAHAM, 2010).

Nesse sentido, têm-se como exemplo as pesquisas realizadas por Liu et al. (2015), que realizaram uma análise acerca da manobrabilidade de navios em vias interiores, destacando as dificuldades de se operar nesse tipo de configuração, pois a navegação fluvial apresenta um cenário mais complexo do que a operação de navios em mar aberto.

A navegação em vias navegáveis interiores apresenta grande nível de dificuldade em virtude, também, do fato das embarcações terem de navegar na maior parte do tempo sem que haja auxílios, a exemplo da presença de rebocadores em áreas portuárias. Nesse contexto, as condições da via navegável precisam ser suficientes para prover uma navegação segura, bem como a manobrabilidade do navio nessas condições destaca-se como de fundamental importância, haja vista que influencia diretamente nos critérios que permeiam a segurança da navegação.

Tem-se que ao analisar o cenário hidroviário brasileiro, pode-se perceber que a maioria dos rios necessita de aprimoramentos para uma navegação segura e de caráter comercial (SANTANA & TACHIBANA, 2004). Para tanto, segundo Ferreira et al. (2015), para que a navegação em uma determinada via ocorra de forma plena e em atendimento aos padrões normativos de segurança e economicidade, apresenta-se como fulcral a necessidade de dimensionamento do sistema de navegação de uma forma geral, assim como a realização de obras de balizamento, haja vista que as mesmas são de fundamentais para auxiliar o navegante.

Na navegação, quando se trata de navios interiores, comboios de embarcações, nível de lâmina d'água navegável, manobras durante a navegação e a própria velocidade de navegação, a análise necessita de ser mais sensível, haja vista que a navegação cautelosa, somada a redução de segurança, assim como a redução de velocidade, geralmente representam uma manobra em vias interiores (PRŠIĆ et al., 2011). Ainda segundo Pršić et al. (2011), existem quatro tipos de manobra muito diferentes na via fluvial: ultrapassando, passando, girando e passando sob uma ponte. Tem-se que todas as referidas manobras possuem sinalizações (boias e outros sinais náuticos) estipuladas a nível internacional como forma de auxiliar na manobra da embarcação e tendo em vista a necessidade constante de realização dessas manobras em vias interiores, pode-se perceber o quão importante é o balizamento correto para a navegação.

O traçado do eixo do canal de navegação, assim como o dimensionamento do balizamento existente no mesmo, deve ser compatíveis com as características da embarcação de projeto e com as condições da rede de drenagem do rio, sendo necessário, nesse sentido, não somente estudos relacionados à geomorfologia e hidrografia dos rios, como também um estudo das embarcações potenciais de navegação na determinada via navegável (FERREIRA et al., 2015).

Segundo Silva (2015), ao levar em consideração os canais navegáveis, parâmetros e critérios de dimensionamento, faz-se necessária uma estrita análise em relação às questões de navegabilidade e ao correto desenvolvimento dos seus canais fluviais, bem como seu reflexo no dia a dia desse modal de transporte. Nesse sentido, destaca-se que não somente as questões geométricas devem ser levadas em consideração, mas também os mecanismos capazes de prover o uso correto das vias navegáveis, como os levantamentos hidrográficos, as obras de dragagem e derrocamento e, principalmente, as obras de sinalização náutica.

Padovezi (2003) apresenta em suas pesquisas um fechamento sobre a sensibilidade da navegabilidade em vias interiores, assim como os cuidados necessários na navegação, principalmente quando se identificam as características mais restritivas desse binômio e seus efeitos e interferências sobre a segurança, meio ambiente e eficiência das embarcações. Nesse sentido, apresenta-se a Tabela 1 elucidando a relação das características das vias e seus efeitos e interferências sobre a segurança, meio ambiente e eficiência do transporte por embarcações.

Tabela 1 - Características das vias e suas interferências e efeitos

Característica da via	Efeitos sobre a segurança da	Efeitos sobre o meio ambiente	Efeitos sobre a eficiência do
Trecho com águas rasas	Perda de velocidade e alteração de manobrabilidade; Choques no fundo.	Efeito de sucção de material do fundo do rio (suspensão)	Perda de velocidade; Maior consumo de combustíveis
Trecho estreito	Choque com margens	Interferência nas margens por ondas	Restrição de velocidade
Curvas fechadas	Necessidade de manobras extras; Choque com margens.	Possibilidade de choques com margens.	Necessidade de manobras extras, acréscimo de tempo de viagem.
Obras de arte (pontes, eclusas)	Possibilidade de colisões, inclusive de grande periculosidade.	-	Exigência de manobras precisas, restrições de alturas de passadiços.
Condições ambientais adversas (ventos, correntezas, neblina)	Necessidade de bons propulsores e de manobras	-	Maior consumo de combustíveis; Acréscimo de tempo de viagem,
Locais com formações de ondas	Movimentos excessivos, riscos de rupturas de amarras e instabilidades.	-	Aumento de resistência ao avanço; Maior consumo de combustíveis.
Troncos e outros materiais flutuando	Probabilidade de choques no casco, propulsores e lemes.	-	-
Trechos com altas velocidades de correntes	Exigência de sobrepotência e de poder de manobra	-	Maior consumo de combustíveis

Grandes variações de nível d'água ao longo do ano	-	-	Problemas em águas baixas; Restrições operacionais.
Área de preservação ambiental	-	Suspensão de material do fundo do rio e ameaça à estabilidade das margens;	Restrição de paradas, grande autonomia, limite de intensidade de tráfego.

Fonte: Padovezi (2003).

2.4. Segurança na Navegação em Vias Navegáveis Interiores

Indo em contrapartida ao aumento da utilização das vias navegáveis da região amazônica, evidencia-se que o transporte hidroviário na referida região apresenta-se de forma precária e insegura (BASTOS, 2006). E diante desse contexto, tem-se que quando não existem cuidados com segurança na utilização, estas vias navegáveis são caracterizadas por apresentarem um alto risco à carga transportada, ao meio ambiente e aos que usufruem das mesmas (MOU, 2016).

O sistema de navegação interior caracteriza-se como um sistema complexo sujeito aos efeitos de múltiplos fatores e constituído de quatro elementos principais: homem, veículo, meio ambiente e gestão (ZHANG, 2014). Segundo Wal (2007), os acidentes não são ocasionados por somente um fator, mas sim resultantes de uma série de fatores que constituem uma interação complexa entre falha mecânica, erro humano e causas naturais.

Padovezi (2012) afirma que, na Região Amazônica, existe um grande número de embarcações e rios que apresentam problemas de segurança relacionados a deficiências de projetos, precariedades técnicas e falta de manutenção adequada, fatos estes que são causadores de acidentes na referida região.

Entretanto, não somente relacionado a deficiências das embarcações, os acidentes também são ocasionados imperícias, negligências, imprudências, fatores ambientais e, principalmente, fatores relacionados às infraestruturas das vias navegáveis (BASTOS, 2006).

Os acidentes na navegação afetam negativamente o ser humano, o meio marinho meio ambiente e as atividades no entorno da região de ocorrência do acidente. Os efeitos dos acidentes variam de ferimentos leves a fatalidades e podem ocasionar desde

danos insignificantes à danos muito graves ao meio no geral (RAHMAN, 2017). Estes acidentes, por sua vez, destacam-se por terem fatores principais de ocorrência e caracterizam-se por, geralmente, afetarem em larga escala o meio ambiente, a sociedade e a economia.

Do ponto de vista da engenharia, os acidentes podem ser tratados como um problema de controle do sistema e que tecnologias modernas e inovadoras podem ser desenvolvidas e utilizadas no sentido de reduzir as ocorrências (AWAL; HASEGAWA, 2017). Conforme descrito por Uddin et al. (2017) e Iqbal et al. (2008), os fatores que geram os acidentes de via navegável são fatores de projeto de embarcação, fatores de ambiente operacional, fatores humanos e fatores educacionais.

Segurança de navegação significa que os navios podem navegar e operar com segurança, evitando colisões, aterramento e minimizando erros de navegação para proteger a vida humana, o meio ambiente e as propriedades circundantes (RAHMAN; NAJIB, 2017). Para conseguir isso, a Organização Marítima Internacional (IMO), desde 1959, introduziu várias medidas sob a forma de convenções, recomendações e outros instrumentos que seus membros continuam a aplicar e (OSNIN; ABDUL RAHMAN, 2018).

Os acidentes em vias navegáveis interiores, sendo um dos principais tipos de acidentes aquaviários, caracterizam-se por serem falhas significativas que põem em perigo os sistemas de transporte. Além disso, os riscos associados a essas falhas podem ser catastróficas para o sistema, a sociedade e o meio ambiente. Isso destaca a importância de elaboração de metodologias apropriadas para avaliar e gerenciar o risco associado (LING-CHIN & ROSKILLY, 2016).

Muitos estudiosos introduziram uma ampla gama de métodos para modelar o risco, utilizando o conceito de probabilidade e consequência de um acidente; no entanto, esses modelos muitas vezes empregam suposições críticas sobre o comportamento dos sistemas de transporte hidroviário, que podem parecer não serem apoiados por evidências.

Reafirmando as questões supracitadas, diversos sistemas de suporte à navegação foram idealizados de modo a constituírem um dispositivo facilitador essencial para aprimorar a capacidade de evitar colisões e aumentar a segurança da navegação (OZTURK; CICEK, 2019).

Diferentes estudos analisaram a segurança e os riscos da navegação marítima e a ocorrência de acidentes no setor marítimo (VALDEZ BANDA et al., 2015). Por

exemplo, vários modelos foram propostos para avaliar o risco acidental de embarque em uma área marítima (LI; MENG; QU, 2012; OZBAS, 2013; MAZAHERI; MONTEWKA; KUJALA, 2014). Outras pesquisas abordaram os tipos de acidentes que ocorrem em um zona marítima (MULLAI; PAULSSON, 2011; QU; MENG; LI, 2012; HÄNNINEN; VALDEZ BANDA; KUJALA, 2014) e outros foram focados em tipos de embarcação específicos, por exemplo embarcações de pesca (JIN; THUNBERG, 2005; WANG et al., 2005) e petroleiros (LEE; JUNG, 2013; LEHIKOINEN et al., 2013).

2.5. A Necessidade de Sinalização Náutica

A Organização Marítima Internacional (IMO) estabeleceu recomendações na Convenção para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS), que detalham os equipamentos de navegação que os navios de diferentes tamanhos devem carregar (IALA, 2011).

A SOLAS também requer que os navios possuam cartas náuticas atualizadas e outros documentos náuticos. Esses regulamentos, nos termos da própria Convenção, não restringem as Autoridades de Sinalização Náutica no estabelecimento de sistemas de auxílios à navegação que atendam a requisitos específicos, em determinadas áreas carregar (IALA, 2011). Em outras palavras, essa não restrição pode ser compreendida como o reconhecimento pela IMO do papel preponderante dos sinais náuticos na segurança da navegação, informando aos países signatários da Convenção SOLAS que eles não devem se considerar desobrigados de prover sinalização náutica com base na premissa de que os auxílios à navegação obrigatórios, a bordo das embarcações, são suficientes para uma navegação segura carregar (IALA, 2011).

A Sinalização Náutica não é uma atividade que é objeto de regulamentos internacionais, como outras atividades envolvendo a navegação marítima; porém, a expansão do tráfego marítimo internacional motivou a criação, em 1957, da Associação Internacional de Sinalização Náutica – a IALA, que rapidamente expandiu seu quadro de países membros, congregando os maiores especialistas no assunto em seu quadro técnico. Esse pessoal pioneiro lançou-se ao estudo de todos os aspectos envolvidos nessa atividade. Essa Associação pioneira, décadas antes da popularização do conceito de Organização Não governamental como hoje é conhecida, vem sendo muito bem-sucedida em fazer valer sua opinião nos assuntos de sua alçada, no cenário internacional, sendo, atualmente, admitida como organização consultora da própria IMO.

Apesar de não terem inicialmente força de lei, suas Recomendações, Convenções e Sistemas de Balizamento têm sido adotados e, quando é o caso, mesmo convertidos em leis e normas pelos países membros carregar (IALA, 2011). O exemplo mais notório desse fato é o Sistema de Balizamento Marítimo que integrou as dezenas de esquemas empregados pelos diversos países costeiros do planeta em dois grandes Sistemas.

Hoje em dia, a IALA expandiu tanto seus horizontes que a sinalização náutica convencional é apenas um dos assuntos que a Associação estuda regularmente.

2.6. Estabelecimento de Auxílios à Navegação

A Organização Marítima Internacional (IMO) exige que os Governos forneçam Auxílios à Navegação como o volume de tráfego determina e o grau de risco requer (SOLAS 74/78). De acordo com a Guarda Costeira dos EUA, uma situação a ser evitada, a menos que circunstâncias específicas incomuns justifiquem o estabelecimento de auxílios à navegação em áreas não devidamente mapeadas ou onde convidariam os inexperientes a tentar uma navegação que ainda seria perigosa apesar da existência de sinalização náutica (USCG, M16500. 7A (a)). O crescente tráfego na região da Amazônia seria por si só uma condição primordial para o estabelecimento de auxílios à navegação.

Os Auxílios à Navegação (AtoN) compreendem uma parte do conjunto de ferramentas necessárias para planejar e executar com segurança a derrota de uma viagem. Outra dessas ferramentas é a carta náutica usada pelos navegantes para identificar as profundidades necessárias para traçar uma rota com segurança. A carta de navegação também mostra as posições de auxílios à navegação que incluem sinais fixos e flutuantes usados para identificar canais e rotas de navegação segura, bem como perigos conhecidos para a navegação na área na pretendida.

Embora sejam indispensáveis aos marinheiros para ajudar a identificar rotas de navegação seguras, as cartas de navegação fornecem apenas uma representação estática dos resultados dos levantamentos hidrográficos que podem ter ocorrido anos, décadas ou mesmo séculos atrás. Sua representação de auxílios à navegação indica os locais de onde eles deveriam estar se estiverem na posição e com manutenções adequadas. Os avisos aos navegantes são emitidos pelas autoridades competentes para atualizar as cartas de navegação com alterações provisórias até a alteração definitiva da carta. No

entanto, não há garantia de que esses avisos sejam suficientemente abrangentes ou atualizados para garantir uma navegação segura.

2.7. Trabalhos Relacionados à Segurança da Navegação

Pode-se perceber que muitos trabalhos são evidenciados na literatura no que tange à segurança da navegação. Nesse sentido, evidenciam-se diversas pesquisas e abordagens por parte da comunidade científica e analisando acidentes, avaliando a segurança em rios, elaborando metodologias de estimativa de riscos, simulando o tráfego e dentre outras abordagens.

Sawano, Hamada & Arola (2011) adotaram tanto a estática quanto a dinâmica análise para conduzir a análise do tráfego da embarcação e avaliação da segurança de Estreito de Soja.

Goerlandt & Kujala (2011) aplicaram a simulação de Monte Carlo, técnica para obter uma previsão significativa dos dados relevantes dos fatores dos eventos de colisão para um estudo de caso no Golfo da Finlândia mostrando concordância razoável com acidente registrado e dados. Já Wang et al. (2013a) apresenta um esquema analítico microscópico investigação de acidente de colisão de duas embarcações.

Talavera et al. (2013) propuseram um método para analisar as informações contidas em uma distribuição conhecida do tráfego de embarcações em uma hidrovia para construir a estrutura Dempster-Shafer correspondente. O método quantifica a incerteza inerente aos caminhos que os navios navegarão no futuro, das informações fornecidas pelo sistema AIS nos caminhos seguidos pelos navios no passado. Bons resultados obtidos com o estudo do caso das Ilhas Canárias. Zhang et al. (2015) propuseram um método para detectar possíveis colisões de navios quase perdidos a partir de dados do AIS e discute como dados podem ser usados para obter mais insights sobre a segurança do transporte marítimo.

Zaman et al. (2015a) e Zaman et al. (2015b) estudaram sobre segurança da navegação usando dados AIS para navios-tanque no Estreito de Malaca. Os dados do AIS foram implementados como fonte de dados para identificação de perigos e probabilidade de colisão do navio para a etapa de avaliação de risco na avaliação formal de segurança.

Com base na análise dos dados do AIS, Xiao et al. (2015) desenvolveram uma aplicação primária de simulação multiagente para tráfego marítimo no rio Yangtze, que fornece uma representação realista de o tráfego marítimo. Xiao et al. (2012) propuseram

uma abordagem estatística para extração e compreensão dos comportamentos de tráfego de navios nas vias navegáveis usando os dados do AIS. O entendimento é importante quando o navio realista simulações são realizadas e para análise de risco marítimo. (SANG et al., 2015) usando dados AIS e método de campo potencial artificial para desenvolver uma navegação e utilizou técnicas de simulação de Monte Carlo para simular o tráfego marítimo no estuário do rio Tejo.

2.8. Normativas Nacionais e Internacionais sobre Balizamento de Hidrovias

IALA - International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities

A IALA (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities) é uma associação técnica internacional sem fins lucrativos. Fundada em 1957, fornece subsídios para as autoridades de navegação, fabricantes, consultores e institutos científicos e de treinamento de todas as partes do mundo, oferecendo a eles a oportunidade de trocar e comparar suas experiências e realizações.

Considerando as necessidades dos navegantes, os desenvolvimentos tecnológicos e os requisitos e restrições inerentes às diversas autoridades marítimas, foram criados diversos comitês técnicos que reúnem especialistas de todo o mundo. O trabalho desses comitês visa desenvolver padrões comuns das melhores práticas por meio da publicação de normas, recomendações, diretrizes e cursos modelo da IALA. Este trabalho garante que os navegantes tenham a disposição Auxílios à Navegação, que atenderão às suas necessidades tanto agora como no futuro.

Assim, a IALA contribui para a redução dos acidentes marítimos, para o incremento da salvaguarda da vida humana no mar e da propriedade, bem como para a proteção do ambiente marinho. A IALA também incentiva a cooperação entre as nações para ajudar os países em desenvolvimento a estabelecer uma rede de auxílios navegação de acordo com o grau de risco da via navegável considerada.

Acerca das principais normativas e guidelines da IALA para auxílio à navegação, destaca-se:

- IALA. (2008). IALA Guideline No. 1062 on the Establishment of AIS as an Aid to Navigation. Edition 1. 6–7.
- IALA. (2010). IALA Guideline No. 1081 On Virtual Aids to Navigation, Edition 1. Saint Germain en Laye, France. 5.

- IALA. (2011). IALA Recommendation A-126 On The Use of the Automatic Identification System (AIS) in Marine Aids to Navigation Services Edition 1.
- IALA. (2014a). IALA International Dictionary of Aids to Marine Navigation as cited in IALA NAVGUIDE Aids to Navigation Manual. 2014. Seventh Edition. 30.
- IALA. (2014b). IALA International Dictionary of Aids to Marine Navigation as cited in IALA NAVGUIDE Aids to Navigation Manual. 2014. Seventh Edition, 75.
- IALA. (2014c). IALA International Dictionary of Aids to Marine Navigation as cited in IALA NAVGUIDE Aids to Navigation Manual. 2014. Seventh Edition. Appendix D: Maritime Buoyage System and Other Aids to Navigation: Historical Perspective. 4.
- IALA. (2014d). IALA International Dictionary of Aids to Marine Navigation as cited in IALA NAVGUIDE Aids to Navigation Manual. 2014. Seventh Edition. 72.

- NORMAM 17 - Normas da Autoridade Marítima para Auxílios à Navegação

No contexto de normativas nacionais, destaca-se a NORMAM 17/DHN - Normas da Autoridade Marítima para Auxílios à Navegação, desenvolvida pela Diretoria de Hidrografia e Navegação, tendo como propósito estabelecer normas, procedimentos e instruções sobre auxílios à navegação, para aplicação nas Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB), contribuindo, conseqüentemente, para a segurança da navegação, a salvaguarda da vida humana no mar e a prevenção de poluição nas vias navegáveis (DHN, 2021).

A normativa em questão tem seu embasamento legal alicerçado nas normativas e legislações que seguem:

- a) Decreto-Lei nº 1.023/1969, alterado pelos Decretos nº 70.198/1972, 91.848/1985 e 878/1993 - que dispõe sobre a cobrança da Tarifa de Utilização de Faróis (TUF);
- b) Lei nº 6421/1977 - que fixa as diretrizes para a proteção e utilização dos faróis, faroletes e demais sinais visuais de auxílio à navegação na costa brasileira;
- c) Lei nº 8.617/1993 - que dispõe sobre o Mar Territorial, a Zona Contígua, a Zona Econômica Exclusiva (ZEE) e a Plataforma Continental Brasileira e dá outras providências;
- d) Lei nº 9.537/1997, regulamentada pelo Decreto nº 2.596/1998 - que dispõe sobre a Segurança do Tráfego Aquaviário (LESTA) em Águas Jurisdicionais Brasileiras e dá outras providências;

- e) Lei nº 10.233/2001 - que, em seu Capítulo VII, criou o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, regulamentada pelo Decreto nº 4.129/2002 e pelo Decreto nº 10.367/2020;
- f) Lei nº 11.959/2009 - que dispõe sobre a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura e da Pesca;
- g) Lei nº 12.815/2013 - que dispõe sobre a exploração direta e indireta pela União de portos e instalações portuárias e sobre as atividades desempenhadas pelos operadores portuários;
- h) Decreto nº 50.962/1961 - que autoriza o Ministério das Relações Exteriores a promover a adesão da Diretoria de Hidrografia e Navegação à Associação Internacional de Autoridades em Auxílios à Navegação Marítima e Faróis (AISM/IALA);
- i) Decreto nº 92.267/1986 - que aprovou o Sistema de Balizamento Marítimo, Região B, da Associação Internacional de Autoridades em Auxílios à Navegação Marítima e Faróis (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities - AISM/IALA) para utilização no balizamento marítimo e das águas interiores do Brasil;
- j) Decreto nº 96.000/1988 - que dispõe sobre a realização de pesquisa e investigação científica na plataforma continental e em Águas sob Jurisdição Brasileira, e sobre navios e aeronaves de pesquisa estrangeiros em visita aos portos ou aeroportos nacionais, em trânsito nas Águas Jurisdicionais Brasileiras ou no espaço aéreo sobrejacente;
- k) Decreto nº 10.576/2020, que dispõe sobre a cessão de uso de espaços físicos em corpos d'água de domínio da União para a prática da aquicultura;
- l) Portaria nº 156/MB, de 3 de junho de 2004, que Estabelece a Estrutura da Autoridade Marítima e delega competências aos Titulares dos Órgãos de Direção Geral, de Direção Setorial e de outras Organizações Militares da Marinha, para o exercício das atividades específicas;
- m) Normas da Autoridade Marítima para Obras, Dragagens, Pesquisa e Lavra de Minerais Sob, Sobre e às Margens das Águas sob Jurisdição Brasileira - (NORMAM-11/DPC);
- n) Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos - (NORMAM-25/DHN);
- o) Normas da Autoridade Marítima para Serviço de Tráfego de Embarcações (VTS) - (NORMAM26/DHN);

- p) Normas da Autoridade Marítima para Navegação e Cartas Náuticas - (NORMAM-28/DHN);
- q) Especificações da Organização Hidrográfica Internacional (OHI) para Levantamentos Hidrográficos - S-44;
- r) Decisão Plenária nº 0864/2016 do CONFEA, de 19 de agosto de 2016, que dispõe sobre quais categorias profissionais exigem as competências técnicas necessárias para elaboração de projetos de auxílios à navegação e quais profissionais de engenharia estão habilitados para se responsabilizarem tecnicamente pela operação e manutenção de auxílios à navegação;
- s) Lei nº 6.496/1977, que institui a Anotação de Responsabilidade Técnica na prestação de serviços de engenharia, de arquitetura e agronomia; autoriza a criação, pelo Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia - CONFEA, de uma Mútua de Assistência Profissional; e dá outras providências; e
- t) Portaria nº 48/1999, da DGN, com fulcro no Decreto nº 2.596/1998, regulamentando as atividades de supervisão e fiscalização da DHN, junto às Administrações dos Portos, quanto ao balizamento dos canais de acesso e bacias de evolução, nos portos nacionais.

2.9. Análises De Risco Utilizadas No Cenário Hidroviário

As análises de risco caracterizam-se como processos de identificação e análise de possíveis problemas que podem impactar negativamente as principais iniciativas de projetos de engenharia, a fim de ajudar as organizações a evitar ou mitigar esses riscos (ZAMAN et al., 2015a). A análise de riscos é um componente do gerenciamento de riscos (KESHK; MAAROUF; ANNANY, 2018).

A literatura faz uso constante de metodologias de análise de risco com o objetivo de antecipar e reduzir o efeito de resultados nocivos de eventos adversos; auxiliar no processo de decisão ao avaliar se deve avançar com um projeto; planejar respostas para falhas ou perdas de tecnologia ou equipamentos de eventos adversos, naturais e causados pelo homem e identificar o impacto e preparar-se para mudanças no ambiente estudado (DIKMEN; BIRGONUL, 2006).

O processo de gerenciamento de riscos envolve algumas etapas principais (BYE; AALBERG, 2018). Primeiro ameaças potenciais são identificadas. Em seguida, é aplicada uma análise quantitativa e/ou qualitativa dos riscos para estudar os riscos identificados. A análise quantitativa de riscos mede a probabilidade esperada de risco para prever perdas financeiras estimadas por riscos potenciais. A análise qualitativa de

riscos não utiliza números, mas analisa ameaças e determina e estabelece métodos e soluções de mitigação de riscos (BACCARINI; SALM; LOVE, 2004).

No contexto do transporte aquaviário, tem-se que a avaliação de riscos é destacada como um pilar fundamental para a navegação segura de embarcações em vias navegáveis interiores e no transporte marítimo (OZTURK & CICEK, 2019).

Tendo em vista isso, uma série de trabalhos e pesquisas científicas foram desenvolvidas no sentido de avaliar e gerenciar os riscos de determinado evento no contexto do transporte aquaviário (CHEN et al., 2019), como em Qu, Meng & Suyi (2011), Valdez Banda et al. (2015), Goerlandt & Kujala (2011) e entre outros.

Ao observar-se as pesquisas realizadas sobre gerenciamento de riscos, há um foco crescente em criações de estruturas de análise de risco, focando sobre questões como entender e descrever riscos e como usar a análise de riscos na tomada de decisões (AVEN; ZIO, 2014). Além disso, tem havido apelos à criação de métodos para comunicar incertezas na análise de riscos (PSARAFTIS, 2012). Na área de aplicação do transporte marítimo, existem alguns marcos teóricos, por exemplo baseado em simulação de sistema (Harrald et al., 1998), técnica de conflito de tráfego (DEBNATH; CHIN, 2010) e Redes Bayesianas (BNs) (MONTEWKA et al., 2010).

No contexto de pesquisas desenvolvidas, tem-se que Goerlandt & Montewka (2015) propõe uma estrutura para análise de risco de sistemas de transporte marítimo, onde a análise de risco é entendida como uma ferramenta para apoio à decisão argumentativa. Os referidos autores avaliaram o desempenho do sistema criado por intermédio de um caso estudo de derramamento de óleo de navios-tanque em uma colisão navio-navio. O modelo funciona como uma comunicação e ferramenta de argumentação, servindo como auxílio para pensar em evidências e suposições qualitativas avaliação de efeito. A avaliação das evidências é usada juntamente com uma análise de sensibilidade para selecionar hipóteses alternativas para a quantificação do risco, enquanto a avaliação do efeito de premissa é usada para transmitir uma argumentação além do modelo. Com base nisso, um julgamento deliberado da incerteza é feito na segunda etapa de análise de risco, complementada com uma avaliação global da força das evidências.

Podem-se observar diversos outros estudos na área, como por exemplo em Qu, Meng & Suyi (2011), que realizaram uma avaliação de risco para acidente de colisão em Cingapura, onde o modelo de sobreposição do domínio do navio de quaternário difuso (FQSD) é implementado como um dos indicadores para refletir o nível de risco.

Weng & Xue (2015) estimaram a frequência de colisão em vias navegáveis interiores de Cingapura usando a violação do domínio de navio de formato circular como critério, que foi desenvolvido e introduzido na pesquisa de Chai, Weng & De-Qi (2017).

Além disso, Goerlandt & Kujala (2011) estabeleceram uma simulação de tráfego marítimo com modelos para estimar a probabilidade de colisão onde o domínio do navio é utilizado como critério para encontros perigosos.

Valdez Banda et al. (2015) avaliaram os riscos de acidentes em operações de navegação de inverno, analisando modelo de identificação de riscos da navegação no inverno e revisando os dados de acidentes extraídos de quatro períodos para a localidade em questão.

Observa-se, então, que com relação aos riscos de navegação uma quantidade considerável de pesquisas teóricas foi realizadas globalmente e uma série de realizações, desde avaliações qualitativas e empíricas iniciais até avaliações quantitativas, foram realizadas (WANG et al., 2013b; VANDER HOORN; KNAPP, 2015).

Lois et al. (2004) analisaram estatísticas de acidentes de navios de cruzeiro usando um método formal de avaliação de segurança com base no qual eles propuseram contramedidas relevantes para controle de riscos e prevenção de acidentes.

Zheng et al. (1997) consideraram a segurança navegacional das áreas costeiras e portuárias e analisaram as principais causas de acidentes de navios em portos usando análise relacional cinza. Zhang et al. (2013) realizaram uma avaliação abrangente do risco de navegação usando uma rede bayesiana para estudar dados de acidentes na hidrovia do rio Yangtze.

Ronza et al. (2003) aplicaram o método de análise de árvore de falhas para prever a frequência de acidentes na área portuária. Zheng & Zhang (2010) estudaram as leis de segurança e fatores de risco para o tráfego de águas interiores, após o qual estabeleceram um modelo de análise de segurança usando um método de avaliação abrangente difuso para avaliar o status de segurança do transporte por vias navegáveis interiores.

Evidencia-se, portanto, que muitos estudos são realizados no sentido de desenvolvimento de análises de risco no cenário do transporte aquaviário, com a elaboração de metodologias e processos de avaliação de riscos. Entretanto, observa-se por intermédio das pesquisas supracitadas que as mesmas se distanciam da área que estuda os balizamentos de vias navegáveis, haja vista que as mesmas se concentram em

avaliar os riscos de colisões de embarcações e riscos presentes em áreas portuárias e marítimas.

O fato da existência de poucos estudos relacionados a sistemas de transporte por vias navegáveis interiores observa-se que aumentam as dificuldades de avaliar seus riscos de navegação, em virtude, principalmente, de sua complexidade dinâmica e os vários fatores influenciadores das condições de navegação (DOBBINS & JENKINS, 2011; ZHANG et al., 2013). Além disso, existem muitas incertezas envolvidas na avaliação do risco de navegação de uma via navegável interior, haja vista que os dados objetivos às vezes são incompletos e sua coleta é dispendiosa e demorada, especialmente na situação de tomar em conta os fatores que envolvem recursos humanos e aspectos gerenciais (ZHANG et al., 2016).

Para tanto, tendo em vista a necessidade de realização de análise de riscos em vias navegáveis interiores no sentido de avaliar os balizamentos existentes nessas vias, destacam-se as publicações de IALA (2017), que descrevem e sugerem metodologias de realização de análises de risco.

IALA (2017) faz uso e sugere o uso do processo SIRA (Simplified IALA Risk Assessment), que consiste no método simplificado de avaliação de riscos da IALA, como metodologia para realização de análises de risco de sistemas de balizamento. O referido processo prevê a realização de sete etapas principais (Figura 4): Seleção da hidrovia a ser analisada; definição zonas de avaliação e descrição de cada área, identificação dos perigos dentro de cada zona e desenvolvimento de cenários associados, avaliação da probabilidade e impacto de cada cenário, identificação e priorização de possíveis opções de controle de risco, produção de um relatório abrangente da avaliação de risco; e comunicação do resultado aos tomadores de decisão.

SIRA (Simplified IALA Risk Assessment)

Para as organizações responsáveis pela implementação e manutenção de Aids to Navigation (AtoN), identificar e evitar riscos são uma prioridade, devendo-se fornecer confiabilidade de serviço AtoN para garantir a passagem tranquila das embarcações e a segurança da navegação.

Nesse cenário, o desafio desta garantia encontra-se crescendo à medida que as autoridades enfrentam cada vez mais congestionamentos em seus portos e precisam atracar navios maiores e mais rápidos do que nunca.

A avaliação de risco pode identificar a demanda de tráfego e o impacto de redirecionar esse tráfego para um corredor menor. De acordo com a Convenção sobre a Segurança da Vida Humana no Mar (SOLAS), o Capítulo V refere-se especificamente à segurança da navegação para todas as embarcações no mar. A legislação estabelece que cada Governo Contratante se compromete a fornecer, conforme julgar prático e necessário, individualmente ou em cooperação com outros Governos Contratantes, os Auxílios à Navegação que o volume de tráfego justifique e o grau de risco exija.

O risco no sentido marítimo é avaliado no nível de probabilidade e a consequência potencial caso ocorra um evento. A necessidade de os provedores AtoN realizarem uma avaliação de risco completa nunca foi tão importante. Qualquer interrupção no serviço, impacto na segurança ou no meio ambiente pode ter um alto custo financeiro para os operadores.

Nesse sentido, a Associação Internacional de Ajudas Marítimas às Autoridades de Navegação e Farol (IALA) desenvolveu recomendações e diretrizes internacionais, bem como ferramentas de avaliação de risco (IWRAP, PAWSA e SIRA) para ajudar a medir e avaliar o risco, com destaque para metodologia SIRA (Simplified IALA Risk Assessment).

O Modelo Simplificado de Avaliação de Risco (SIRA) foi desenvolvido como um meio econômico para avaliar o risco. Baseia-se na probabilidade de ocorrência de um incidente indesejado e, caso ocorra, na gravidade ou consequência do seu impacto. O SIRA usa critérios de risco para determinar uma classificação de probabilidade. Com base no valor do risco, o SIRA fornece a ação proposta a ser tomada (IALA, 2017).

O processo SIRA é baseado nos princípios estabelecidos na Diretriz 1018 da IALA sobre gestão de risco. O risco é definido como o produto de dois fatores – a probabilidade (ou probabilidade) de ocorrência de um incidente indesejável e, se ocorrer, a gravidade de seu impacto potencial de longo e curto prazo (ou consequência). A compreensão satisfatória do ambiente marítimo e dos padrões de tráfego marítimo é um primeiro passo essencial para entender o nível de risco dentro de um porto. O SIRA foi projetado para auxiliar esse processo, identificando perigos e incidentes indesejáveis. Isso leva a uma estimativa qualitativa do risco e à produção de opções potenciais de controle de risco para reduzir esse risco a níveis aceitáveis (IALA, 2017).

Um perigo é algo que pode causar um incidente indesejável. O pensamento básico por trás do método SIRA baseia-se na relação causal fundamental entre os

perigos e as consequências de incidentes indesejáveis, que os perigos podem causar (IALA, 2017).

Com base nos perigos identificados, uma série de possíveis incidentes ou cenários são identificados por um grupo de partes interessadas. O SIRA aborda cada incidente ou cenário indesejado, como o encalhe de uma embarcação em um recife ou a colisão entre duas embarcações. A probabilidade ou probabilidade de ocorrência de cada cenário indesejado é estimada, bem como seu impacto (ou consequências), considerando as consequências de curto e longo prazo (IALA, 2017).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

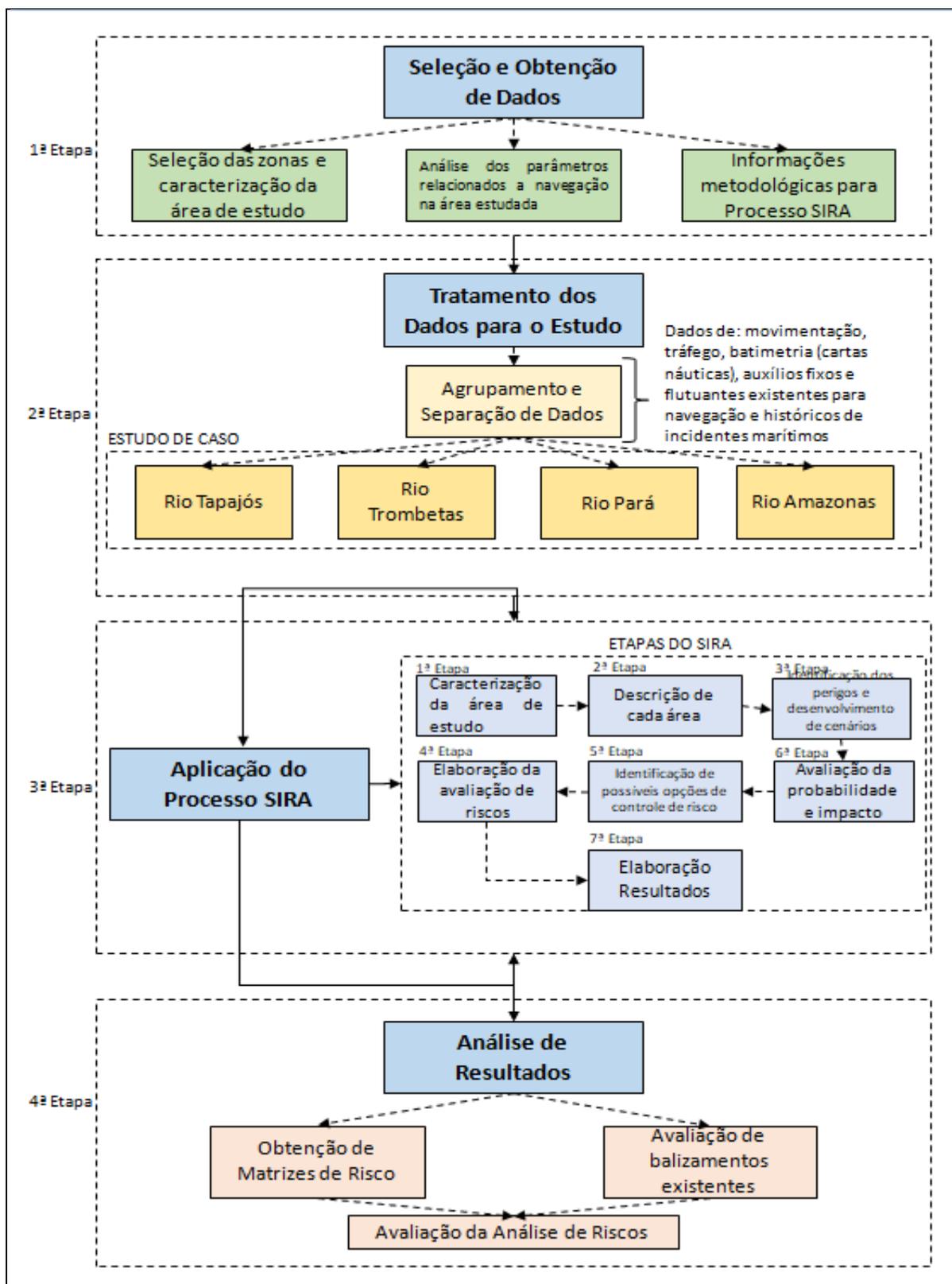
3.1. Estruturação Metodológica

Conforme com as informações supracitadas e por intermédio do entendimento do tipo de pesquisa realizada, destacou-se que para a avaliação e análise de riscos dos objetivos propostos, o trabalho em questão buscou como premissa de sua construção a execução dos objetivos específicos de uma maneira geral.

Desse modo, tem-se que a frente inicial, se deu a partir da seleção e obtenção dos dados dos sistemas de balizamento dos rios Amazonas, Pará, Tapajós e Trombetas, bem como na fundamentação teórica de pesquisas, documentos das Autoridades Marítimas e Portuárias, artigos e trabalhos publicados.

As demais etapas corresponderam ao posterior, tratamento dos dados, seguido da aplicação metodológica do Processo SIRA (Simplified IALA Risk Assessment) e a eventual geração de resultados com a análise dos mesmos. O fluxograma metodológico destacado na Figura 3 denota as etapas adotadas para a execução da pesquisa em questão.

Figura 2 - Fluxograma metodológico simplificado



Fonte: Autor (2022).

3.2. Seleção e Obtenção de Dados

As principais informações utilizadas na pesquisa e sua forma de obtenção foram:

- **Características dos Sinais** – Lista de Faróis obtida junto a Diretoria de Hidrografia e Navegação, no documento intitulado Lista de Faróis.
- **Situação dos Sinais** – Lista de Sinais Irregulares obtida junto ao Centro de Hidrografia e Navegação do Norte
- **Cartas Náuticas** – Centro de Hidrografia da Marinha
- **Dados sobre volumes de cargas transportadas** - Anuário Estatístico obtido junto à Agência nacional de Transporte Aquaviário.
- **Histórico de Acidentes** – Capitania dos Portos da Amazônia Oriental
- **Histórico de Vandalismo e Abalroamento** - Centro de Hidrografia e Navegação do Norte

3.3. Processo SIRA

O processo SIRA é baseado nos princípios estabelecidos na Guideline 1018 da IALA sobre gestão de risco, que tem como objetivo identificar perigos, incidentes ou cenários indesejados em uma determinada região. Isso levou a uma estimativa qualitativa do nível de risco e a produção de potenciais opções de controle para reduzir esse risco a níveis aceitáveis.

Lidar com “risco” é um aspecto intrínseco da existência humana. O estabelecimento dos primeiros faróis representava uma maneira tangível de resolver alguns dos problemas que surgiram quando os seres humanos decidiram aventurar-se ao mar, e depois para o comércio global e o transporte em massa de pessoas por navios.

A definição tradicional de risco é a probabilidade de ocorrência de um evento indesejado, multiplicado pelo impacto ou consequência desse evento, conforme evidencia a Equação 1.

$$R = P \cdot C (1)$$

Em que R é o risco associado, P é a probabilidade de ocorrência e C é a consequência do evento analisado.

Eventos indesejados incluem privação, perda ou lesão de pessoas, propriedades ou meio ambiente. E, nesse sentido, o gerenciamento de risco é um termo aplicado a um processo (lógico e sistemático) fundamental para estas análises, conforme evidenciado.

Com os avanços da navegação eletrônica, ao navegante foram fornecidas em tempo real informações adicionais para ajudar na navegação. O impacto positivo no controle e navegação de navios precisa ser incorporado ao processo formal de avaliação de risco.

Para opções de controle de risco, o desenvolvimento contínuo da navegação eletrônica e interfaces homem-máquina podem fornecer novas possibilidades. No entanto, as medidas de controle de risco dos auxílios à navegação físicos continuará sendo importantes para as necessidades de todos os grupos de usuários.

O SIRA é uma ferramenta básica por considerar opções de controle de risco que abrangem os possíveis incidentes indesejáveis que a autoridade competente deve atender como parte de suas obrigações sob os Regulamentos 12 e 13 do Capítulo V da SOLAS.

No entanto, uma análise satisfatória do ambiente marítimo e dos padrões de tráfego marítimo é essencial para avaliar o nível de risco de uma hidrovia. O SIRA foi projetado para auxiliar esse processo.

A aplicação metodológica consistiu na utilização do processo SIRA, que é baseado nos princípios estabelecidos na Diretriz 1018 da IALA sobre gerenciamento de riscos. Sendo este risco definido como o produto de dois fatores - a probabilidade (ou probabilidade) de um incidente indesejável ocorrer e se ocorrer, a gravidade de seu potencial impacto a longo e curto prazo (ou consequência).

O gerenciamento de riscos envolve um processo estruturado que identifica perigos e cenários com riscos associados antes de tomar medidas para reduzir o risco para Tão baixo quanto razoavelmente praticável (ALARP), aceitável para interessados.

Se a via navegável analisada for extensa ou complexa, poderá ser dividida em uma ou mais zonas para cada análise. Nesse caso, vale a pena considerar a interação entre zonas.

Um perigo é algo que pode causar um incidente indesejável. O pensamento básico por trás do método SIRA repousa sobre a relação causal fundamental entre perigos e as consequências de incidentes indesejáveis que os perigos podem causar. A referida relação causal é ilustrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Relação Causal entre Perigos e Consequências

Perigo	Cenário indesejável /Incidente	Impacto/Consequência
Natural	Encalhe	Curto prazo
Econômico	Colisão	Longo Prazo
Técnico	Abalroamento	Outros
Humano	Naufrágio	
Operacional	Outros	
Complexidade da via navegável		

Fonte: Adaptado de IALA (2017).

A identificação de perigos deve basear-se em informações disponíveis, como dados ambientais, adequação de cartas náuticas, estado do mar e força do vento, fluxo das marés, visibilidade restrita, gelo, visibilidade de fundo, riscos naturais e perigos, natureza do fundo do mar, profundidade variável, volume de tráfego e outros fatores.

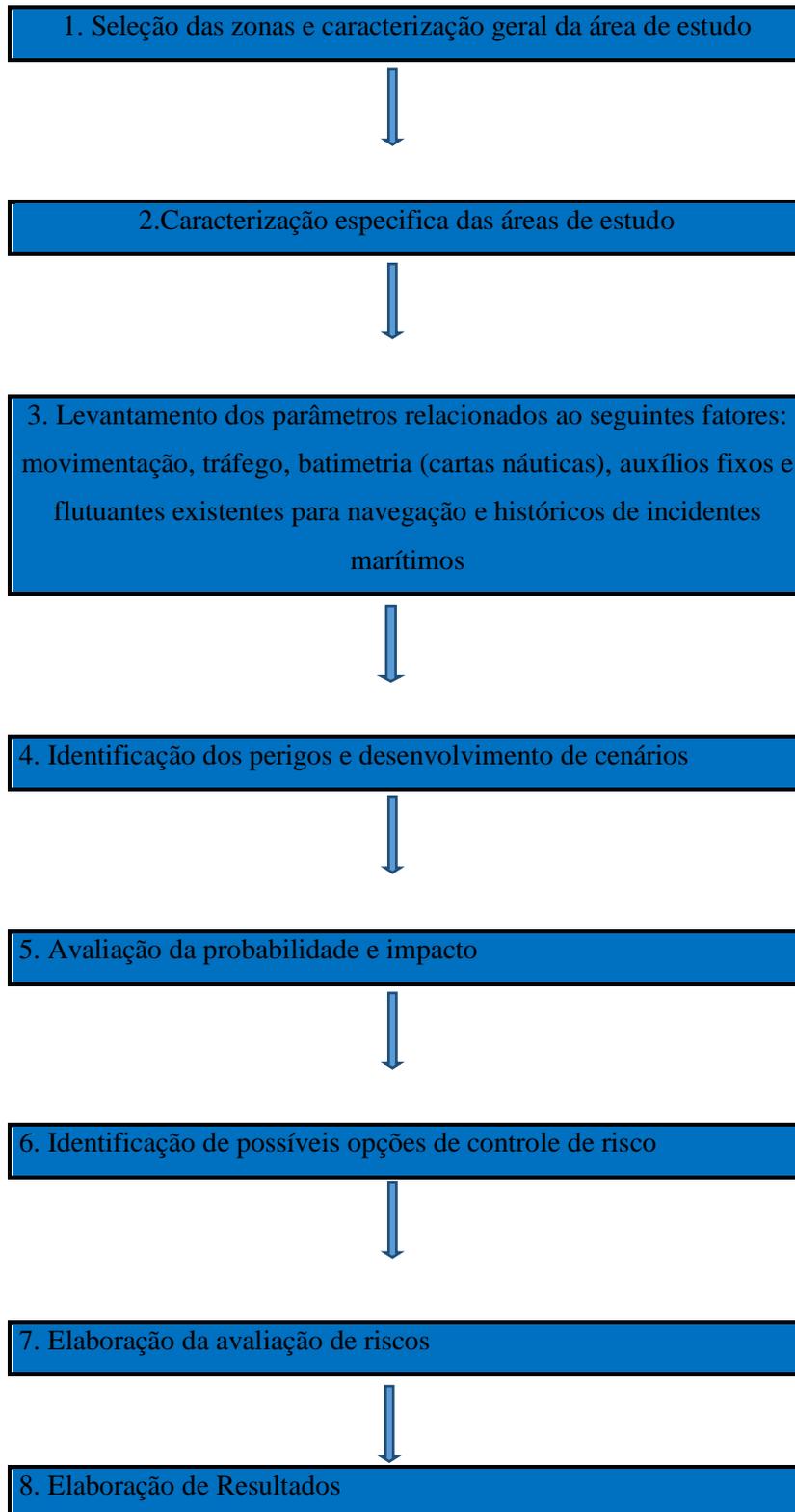
Com base nas embarcações, condições de tráfego, condições de navegação, condições da via navegável, parâmetros geomorfológicos dos rios, aspectos quantitativos e qualitativos dos auxílios à navegação existentes, o SIRA aborda cada incidente ou cenário indesejado, como o encalhe de uma embarcação em um recife ou a colisão entre dois navios.

A probabilidade de ocorrência de cada cenário indesejado é estimada, bem como seu impacto (ou consequências), considerando as consequências de curto e longo prazo.

O processo de avaliação de risco do SIRA é baseado na Diretriz 1018 da IALA e inclui as etapas descritas no fluxograma da Figura 4, conforme descritas também no fluxograma metodológico (Figura 3) da pesquisa em questão.

Na Figura 4 evidenciam-se as macroetapas correspondentes ao processo simplificado de avaliação de riscos propostos por IALA (2017), consistindo em sete etapas principais.

Figura 3 - O processo SIRA de avaliação de risco



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Ainda conforme o fluxograma descrito na Figura 4 faz-se necessária a descrição detalhada de cada etapa metodológica descrita no fluxograma metodológico da Figura 3 e no fluxograma referente ao processo SIRA da Figura 4. Desse modo, detalharam-se as referidas etapas, conforme segue.

3.3.1. Seleção de Zonas

No que tange a segurança da navegação o SIRA (2021) preconiza que ao se dividir as hidrovias em regiões ou zonas geográficas definidas, foi possível realizar uma avaliação de risco de cada zona e opções de controle de risco desenvolvidas para essa zona.

A referida seleção foi feita da seguinte forma:

- Volume de tráfego;
- Batimetria (cartas);
- Auxílios fixos e flutuantes existentes para navegação;
- Histórico de incidentes marítimos, como colisões e encalhes;

A qualidade da descrição da zona foi importante, pois essas informações foram usadas para identificar perigos, possíveis incidentes ou cenários indesejados, a probabilidade de ocorrência e os possíveis riscos a curto e longo prazo.

3.3.2. Identificação de Perigos

Após a seleção das hidrovias e das zonas de análise, o SIRA (2021) recomenda a identificação dos perigos envolvidos na utilização das vias navegáveis analisadas.

A identificação de perigos foi baseada em todas as informações relevantes disponíveis, incluindo:

- Volume de tráfego de navios;
- Geometria das rotas na área, pontos de estrangulamento do tráfego e curvas acentuadas;
- Perigos isolados, incluindo destroços e obstruções;
- Qualidade dos dados hidrográficos e informações cartográficas disponíveis;
- Profundidade mínima segura necessária para a operação da embarcação na hidrovia;
- Passagens por um canal estreito, águas restritas ou entrada de porto;
- Possíveis efeitos: pouca visibilidade ou iluminação;

- Histórico de incidentes marítimos, como colisões e encalhes.

Identificados os perigos, foram ser usadas cartas de maior escala que abrangem a zona e, quando disponíveis, gráficos de densidade do AIS que são muito úteis para descrever rotas reais dentro de cada zona.

3.3.3. Desenvolvimento de Cenários

Conforme o SIRA (2021), os perigos identificados podem levar a vários incidentes ou cenários indesejados diferentes. Cada perigo deve ser cuidadosamente identificado, e os possíveis cenários que isso possa causar, foram identificados e registrados. Os incidentes ou cenários indesejados foram classificados da seguinte maneira:

- Encalhe;
- Colisão;
- Abalroamento;
- Naufrágio;
- Outros.

Concernente às probabilidades de ocorrência dos cenários identificados, tem-se que:

A probabilidade de encalhe dependerá de muitos fatores, como a batimetria, calado e velocidade das embarcações e movimentos de embarcações em geral dentro da zona. Deve-se considerar o efeito da amplitude das marés, taxa máxima e direção do fluxo das marés em áreas críticas. A probabilidade de colisões depende das condições de navegação, configuração da hidrovia, tipo e volume de tráfego. Os tipos básicos de colisões são: colisões frontais, ultrapassagens e curvas. Uma análise de as rotas e sua geometria, combinadas com o volume e a mistura de tráfego, revelaram um provável cenário de colisão em cada zona.

A possibilidade de uma embarcação atingir um objeto fixo feito pelo homem (abalroamento) depende da existência de tais estruturas ao longo das rotas e densidade do tráfego.

O naufrágio pode estar relacionado à qualidade do navio, juntamente com a experiência da tripulação que opera o navio.

A falha estrutural pode ser uma falha da própria embarcação ou um recurso externo à embarcação. Isso pode ser causado por condições ambientais extremas, manutenção deficiente ou até interferência maliciosa.

O envolvimento humano é um fator significativo, pois a causa de muitos cenários indesejados pode estar relacionada a erro humano. Como tais fatores humanos devem formar uma consideração importante na avaliação geral dos riscos.

3.3.4. Probabilidade e Impacto

O SIRA (2021) especifica cinco níveis de probabilidade e cinco níveis de impacto que cada tipo de incidente indesejado ou cenário criaria. Cada um recebe uma pontuação a partir da qual um valor de risco é calculado a partir do produto de probabilidade e impacto. As pontuações de probabilidade e impacto podem ser avaliadas com base nos critérios da Tabela 4.

Na Tabela 3 evidenciam-se as descrições de probabilidade e suas classificações (de muito raro a muito frequente), com suas respectivas pontuações e probabilidades de ocorrência em um dado período de tempo.

Tabela 3 - Descrições de probabilidade

Classificação	Pontuação	Probabilidade
Muito raro	1	Muito raro ou improvável, ocorrerá apenas em circunstâncias excepcionais e não mais de uma vez a cada 20 anos
Raro	2	Raro, pode ocorrer a cada 2-20 anos.
Ocasional	3	Ocasional, pode ocorrer a cada 2 meses a 2 anos.
Frequente	4	Frequente, pode ocorrer uma vez por semana a cada 2 meses.
Muito frequente	5	Muito frequente, pode ocorrer pelo menos uma vez por semana.

Fonte: Adaptado de IALA (2017).

Conforme descrito anteriormente, na Tabela 4 denotam-se as descrições do impacto, com a evidenciação das pontuações de acordo com a descrição, bem como os critérios de interrupção do serviço, critérios de impacto humano, financeiro e no meio ambiente.

Os referidos critérios foram identificados e, de acordo com a pontuação do impacto, pode-se constatar a necessidade de interrupções no serviço, bem como identificar a ocorrência de impactos humanos (lesões e fatalidades), assim como perdas financeiras ou danos ambientais.

Tabela 4 - Descrições do impacto

Descrição	Pontuação	Critério Interrupção do Serviço	Critério Impacto Humano	Critério Financeiro	Meio Ambiente
Insignificante	1	Sem interrupção do serviço além de alguns atrasos	Nenhuma lesão em humanos, talvez incômodo significativo	Perda, incluindo perdas parciais de terceiros, menos de US\$ 1.000	Nenhum dano
Menor	2	Perda de alguns serviços não permanentes como fechamento de um porto ou via navegável por até 4 horas	Pequena Lesão em um ou mais indivíduos podendo exigir hospitalização	Perda, incluindo perdas parciais de terceiros, US\$ 1.000 - 50.000.	Pequenos danos em curto prazo ao meio ambiente
Grave	3	Interrupção de serviços sustentada como fechamento de um porto ou hidrovía para 4-24 horas	Lesões em vários indivíduos que necessitam hospitalização	Perda, incluindo perdas parciais de terceiros de \$ 50.000-5.000.000.	Danos a curto prazo para o ambiente em uma pequena área,

Maior	4	Interrupção de serviço sustentada como fechamento de um porto principal ou hidrovia por 1 a 30 dias permanente ou perda irreversível de Serviços	Lesões graves em muitos indivíduos ou perda de vida.	Perda, incluindo perdas parciais de terceiros de \$ 5.000.000-50.000.000	Longo prazo para dano irreversível para o ambiente em uma área limitada
Catastrófico	5	Interrupção de serviços sustentada como fechamento de um porto principal ou hidrovia por meses ou anos	Lesões graves em numerosos indivíduos e / ou perda de várias vidas.	Perda, incluindo perdas de terceiros de mais de \$ 50.000.000	Danos irreversíveis para o ambiente em uma grande área.

Fonte: Adaptado de IALA (2017).

3.3.5. Matriz de Aceitabilidade de Riscos

Tendo determinado as pontuações de probabilidade (Tabela 3) e impacto (Tabela 4) por consenso, o valor do risco pode ser calculado de acordo com a matriz da Tabela 5.

Tabela 5 - Matriz de aceitabilidade de risco

		PROBABILIDADE / (POSSIBILIDADE)				
		MUITO RARO (1)	RARO (2)	OCASIONAL (3)	FREQUENTE (4)	MUITO FREQUENTE (5)
CONSEQUÊNCIA (IMPACTO)	CATASTRÓFICO (5)	5	10	15	20	25
	PRINCIPAL (4)	4	8	12	16	20
	SEVERA (3)	3	6	9	12	15
	MENOR (2)	2	4	6	8	10
	INSIGNIFICANTE (1)	1	2	3	4	5

Fonte: Adaptado de IALA (2017).

Calculados os valores de risco a partir da matriz da Tabela 5, tem-se como próximo passo a determinação se esses riscos são aceitáveis ou não. O SIRA especifica quatro níveis de faixas de cores de risco. Eles são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 – Descrição das faixas de riscos

Risco	Categoria do Risco	Ação Requerida
1-4	Verde	Baixo risco, não exigindo opções adicionais de controle de risco, a menos que possam ser implementados a baixo custo em termos de tempo, dinheiro e esforço.
5-8	Amarelo	Risco moderado que deve ser reduzido para o mais baixo possível (ALARP) pela implementação de opções adicionais de controle que provavelmente para exigir financiamento adicional
9-12	Âmbar	Alto risco para o qual esforços substanciais e urgentes devem ser feitos para reduzi-lo a níveis ALARP dentro de um período de tempo definido. É provável que haja um financiamento significativo necessários e os serviços podem precisar ser suspensos ou restritos até que as opções de controle de riscos forem acionadas.
15-25	Vermelho	Risco muito alto e inaceitável, para o qual substancial e imediata melhorias são necessárias. Pode ser necessário grande financiamento e portos e é provável que as hidrovias sejam forçadas a fechar até que o risco seja reduzido a um nível aceitável.

Fonte: Adaptado de IALA (2017).

3.3.6. Avaliação de Opções de Controle de Riscos

Usando os conceitos do SIRA (2021) determinou-se que o objetivo da avaliação foi identificar opções de mitigação de risco para cada incidente indesejável reduzindo o risco para um nível aceitável. Estes incluíram:

- Melhor coordenação e planejamento;
- Treinamento e educação adicionais;
- Novo ou aplicação das regras e procedimentos existentes;
- Informações hidrográficas, meteorológicas e de navegação gerais melhoradas;
- Auxílios aprimorados à prestação de serviços de navegação;
- Comunicações via rádio aprimoradas;

- Gerenciamento ativo de tráfego, como Vessel Traffic Services;
- Mudanças na hidrovia;
- Melhores sistemas de apoio à decisão;

Devido à natureza do processo, o resultado da avaliação de riscos foi qualitativo / subjetivo, mas o objetivo é chegar a um consenso sobre cada opção de controle de risco, para que os argumentos necessários possam ser apresentados para garantir as medidas mais apropriadas.

As opções de mitigação de risco recomendadas resultantes devem ser priorizadas para facilitar a tomada de decisão.

3.3.7. Matriz de Risco

Baseado na matriz apresentada no item 4.6. do SIRA (2021) elaborou-se a avaliação de risco considerando os cenários, indicando a quantificação do risco e considerações associadas a cada cenário.

Isso permite que se determine as soluções apropriadas para implementar as medidas sugeridas, reduzindo o risco a um nível aceitável.

3.3.8. Elaboração de Resultados

Após a realização de todas as etapas metodológicas, fez-se necessária a preparação de um registro formal do processo de avaliação de riscos e seus resultados. O relatório forneceu evidências do processo de decisão e medidas de mitigação de risco consideradas e recomendadas. O relatório incluiu:

- Descrição da hidrovia e zonas individuais;
- Perigos e cenários identificados dentro de cada zona;
- Medidas mitigadoras identificadas e recomendadas; e
- A matriz de riscos completa.

4. ESTUDO DE CASO

4.1. Caracterização Geral da Área de Estudo

Como forma de utilizar o processo metodológico supracitado, aplicou-se a metodologia de análise de riscos para quatro rios amazônicos pertencentes à Região Hidrográfica Amazônica: Amazonas, Pará, Tapajós e Trombetas. Dessa forma, faz-se necessário o entendimento da referida região hidrográfica de modo geral, para que, posteriormente, possam ser discutidos os rios referentes aos estudos de caso.

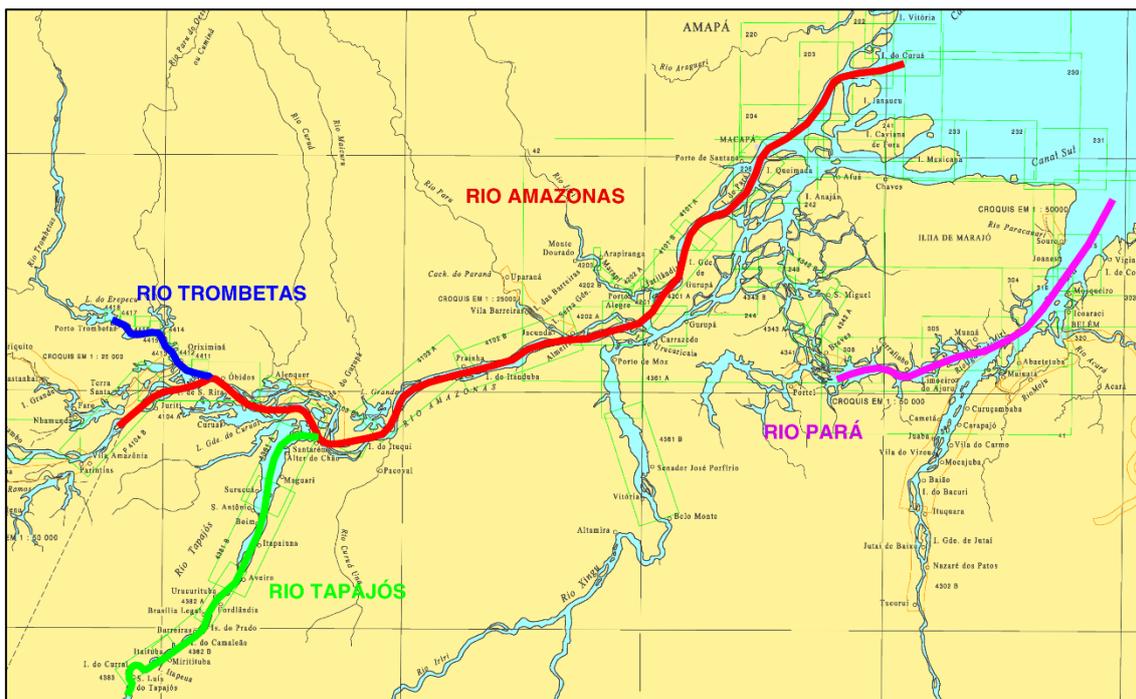
Concernente à região hidrográfica em que os rios analisados estão presentes, tem-se que o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2003) define a Região Hidrográfica Amazônica como sendo constituída pela Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas, situada em território nacional, e pelas bacias hidrográficas da Ilha de Marajó e do estado do Amapá.

Portanto, a Região Hidrográfica diferencia-se da Bacia Hidrográfica por estar totalmente localizada em território brasileiro, abrangendo os estados do Amazonas, Acre, Rondônia, Roraima, Pará, Amapá e norte do Mato Grosso, ocupando uma área de 3,8 milhões de quilômetros quadrados, correspondendo a 45% da área total do país.

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) define o tráfego na região como sendo formado por uma frota aquaviária interior de longo curso, transportando carga geral, combustíveis e, mais recentemente, grãos, por uma vasta frota de embarcações mistas que servem a uma intensa e pulverizada navegação regional (BRASIL, 2006, p.49). Os rios Amazonas e Solimões são de grande porte e têm uma vasta rede de afluentes navegáveis por embarcações regionais. A ANTAQ (2012) lista 87 empresas autorizadas a realizar o transporte de cargas na Bacia Amazônica, além de outras 64 empresas de caráter misto que atuam no transporte de passageiros e cargas.

A Figura 05 ilustra as rotas hidroviárias da região.

Figura 4 - Vias Navegáveis - Região Hidrográfica Amazônica



Fonte: AUTOR (2022).

4.2. Caracterização Específica da Área de Estudo

A área de estudo referente à Bacia Amazônica abrange uma área, que engloba os estados do Pará, Amapá e Amazonas. Os rios amazônicos que fazem parte do estudo são: Amazonas, Pará, Tapajós e Trombetas.

4.2.1. Rio Amazonas

Segundo a AHIMOR (2011), é o segundo rio mais extenso do mundo, com 6.515 quilômetros. Destes, cerca de 3.220 quilômetros estão dentro do Brasil. Nasce nos Andes peruanos com o nome de Marañón, dividindo-se, no Brasil, em dois trechos: um que se estende de Tabatinga (AM) até a confluência com o Rio Negro, denominado Solimões; e outro próximo a Manaus (AM) e Amazonas, que vai da confluência até a foz no Atlântico.

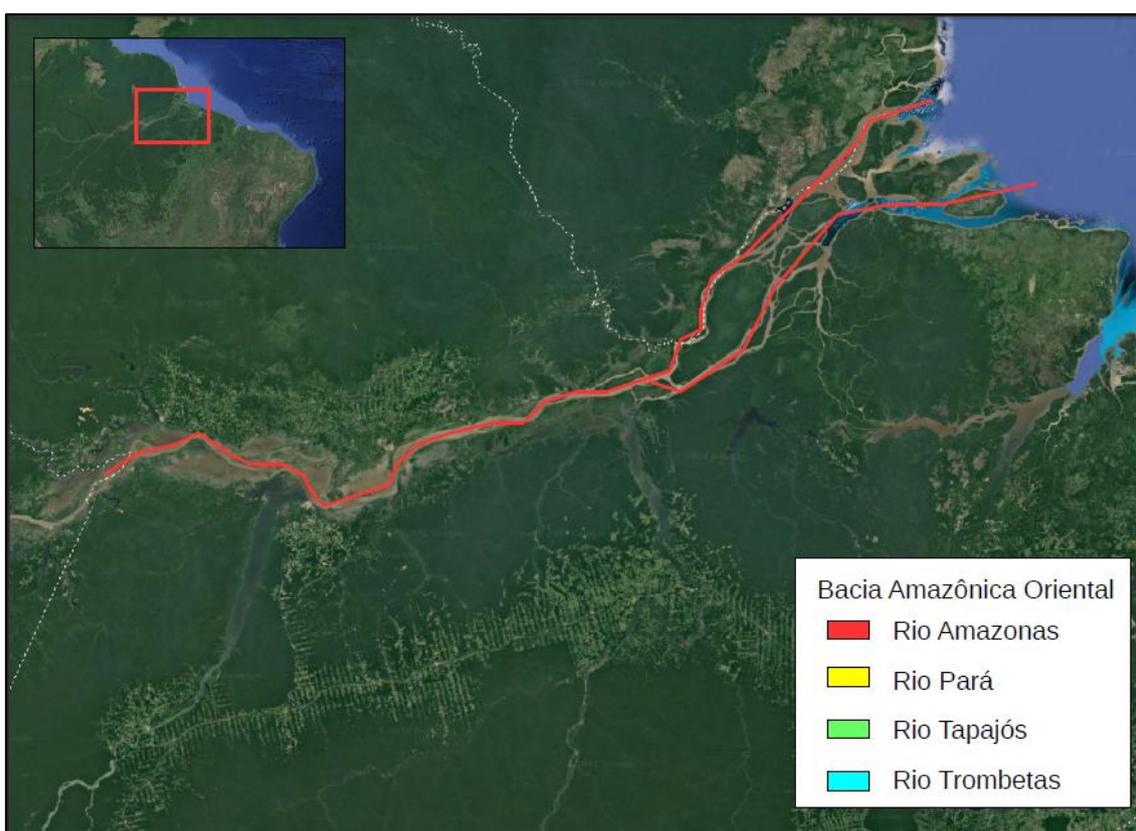
Esta é uma via de grande relevância, pois além da existência de cidades importantes às suas margens, é confluência de outros cursos d'água navegáveis, tais como o Madeira e o Tapajós. É um rio tipicamente de planície com declividade mínima, tendo queda média de 2 centímetros por quilômetro.

O rio tem o seu período de águas baixas em junho e de águas altas em novembro, tendo a estação seca como a mais propícia à navegação. A extensão com o nome de Amazonas (Baixo Amazonas) possui aproximadamente 1.508 quilômetros e vai da confluência com o Rio Negro (próximo a Manaus) até a foz no Atlântico.

No Rio Amazonas não há restrição à navegação. São permitidas navegações tanto de longo curso quanto de cabotagem, sendo que podem ser feitas por navios com calado de até 11 metros durante a cheia e de cerca de 8 metros de calado durante a seca (AHIMOR, 2011).

A Figura 6 evidencia o curso fluvial em questão.

Figura 5 - Rio Amazonas



Fonte: AUTOR (2022).

4.2.2. Movimentação e Tráfego

Tendo em vista que uma das etapas principais do processo SIRA é a delimitação do rio e sua área de estudo, destacou-se a movimentação de cargas para o Rio Amazonas, bem como as características de tráfego de embarcações para este curso fluvial.

Nesse sentido, tem-se que, segundo dados da ANTAQ (2021), o rio Amazonas tem um total de cargas movimentadas em 2021 de, aproximadamente, 11.130.679

toneladas, sendo este um valor significativo e considerável, levando em consideração todos os tipos de carga movimentada na hidrovia, desde insumos agrícolas a contêineres.

Concernente ao fluxo de embarcações no referido curso fluvial, tem-se que este caracteriza-se por ser intenso, sendo navegado por diversos tipos de embarcação, desde embarcações miúdas a embarcações de grande porte.

Na Figura 7 evidencia-se a configuração da navegação do rio Amazonas, que conforme caracterizado anteriormente, é navegado por embarcações mercantes, embarcações de médio porte para o transporte de cargas no convés e em porões, bem como embarcações de passageiros e mistas.

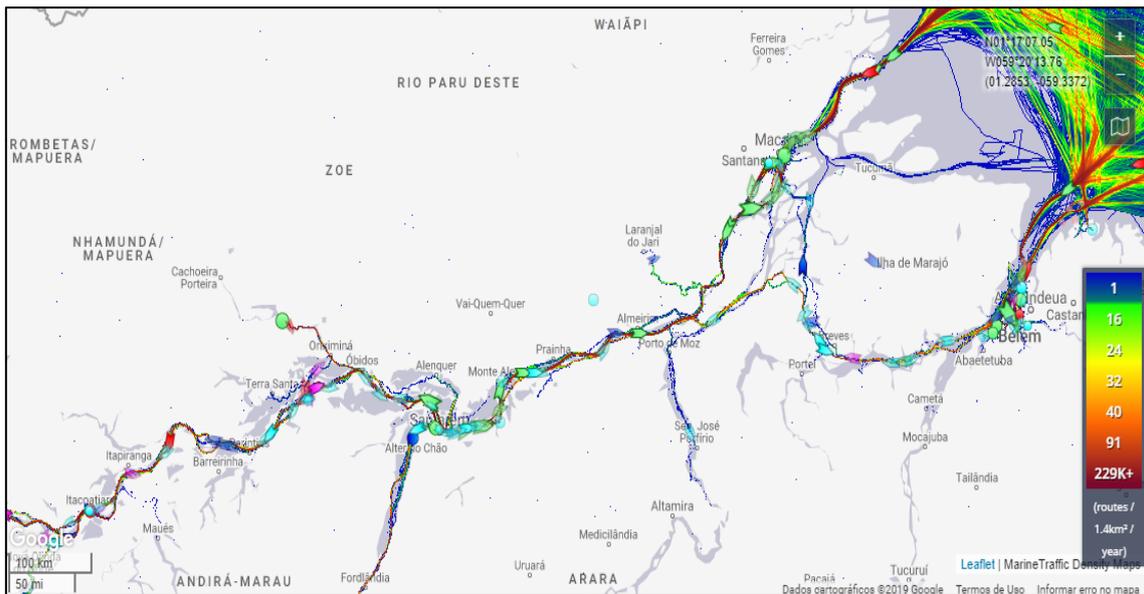
Figura 6 - Tráfego de embarcações no Rio Amazonas



Fonte: AUTOR (2020)

Na Figura 8 pode-se perceber, por intermédio da escala de cores, o fluxo de embarcações no Rio Amazonas, evidenciando-se que este caracteriza-se por ser intenso e por ser constantemente navegado.

Figura 7 - Fluxo de Embarcações - Rio Amazonas



Fonte: Marine Traffic (2022).

4.2.3. Batimetria – Cartas Náuticas

Conforme evidenciado nos procedimentos metodológicos, tem-se que as informações de batimetria e cartas náuticas são de fundamental importância na caracterização da região de estudo analisada. Tendo em vista isso, fez-se o levantamento das cartas náuticas que representam o curso fluvial em questão, observando-se que existem cartas com informações batimétricas datadas em 1967, fato este que indica uma defasagem de dados que podem caracterizar perigos maiores à navegação neste rio, reiterando as necessidades de avaliação e análise de risco para o mesmo.

Nesse sentido, após análise do trecho em questão, evidenciou-se que este é representado por 20 cartas náuticas, conforme evidenciado na Tabela 7.

Tabela 7 - Cartas Náuticas do Rio Amazonas

CARTA Nº	TÍTULO	ESCALA	1ª ED	ÚLT. ED.
4022	DA ILHA DO PATACHO À ILHA DO AMADOR	1:100.000	2018	
4023	DE ÓBIDOS À ILHA DE SANTA RITA	1:100.000	2018	
4023A	PARANÁ DE SANTA RITA	1:100.000	2018	
4024	DA ILHA DE SANTA RITA ÀS ILHAS DO CALDEIRÃO	1:100.000	2018	
4025	DAS ILHAS DO CALDEIRÃO AO PARANÁ DO RAMOS	1:100.000	2018	
4026	DE PARINTINS À ILHA DO MOCAMBO	1:100 000	2017	
4026 A	PARANÁ DO MOCAMBO	1:50 000	2017	
4027	DA ILHA DO MOCAMBO À PONTA DOS MUNDURUCUS	1:100 000	2017	
4028	DA PONTA DOS MUNDURUCUS À ILHA PANUMÃ	1:100 000	2017	
4029	DA ILHA PANUMÃ A ITACOATIARA	1:100 000	2015	
4029A	PARANÁ DO SERPA	1:50 000	2016	
4030	DE ITACOATIARA A NOVO REMANSO	1:100 000	2015	
4031	DE NOVO REMANSO À ILHA DAS ONÇAS	1:100 000	2015	
4032	DA ILHA DAS ONÇAS A MANAUS	1:100 000	2015	
4101A	DE MACAPÁ À I. MANGABAL	1:100 000	1967	2012
4101B	DA I. MANGABAL À I. DO COMANDAÍ	1:100 000	1967	2012
4102A	DE GURUPÁ A ALMEIRIM	1:100 000	1967	2000
4102B	DE ALMERIM À PRAINHA	1:100 000	1967	2000
4103A	DE PRAINHA À COSTA DO ITUQUI	1:100 000	1967	2007
4103B	DA COSTA DO ITUQUI À I. DO MEIO	1:100 000	1967	2007

Fonte: DHN (2019).

4.2.4. Auxílios Fixos e Flutuantes Existentes para Navegação

Concernente aos auxílios à navegação fixa e flutuante existentes no curso fluvial estudado tem-se que este apresenta, aproximadamente, 32 auxílios a navegação em toda sua extensão, desde boias a auxílios luminosos, conforme evidenciado na Tabela 8.

O rio Amazonas no trecho compreendido entre a Barra Norte e o baixo Amazonas possui os seguintes sinais:

- **Auxílios fixos:** 13 fixos
- **Auxílios flutuantes:** 11 Sinais

Tabela 8 - Auxílios à Navegação - Rio Amazonas

Nº DE ORDEM E Nº INTERNACIONAL	LOCAL NOME CARTA NÁUTICA CLASSIFICAÇÃO	POSICÃO	CARACTERÍSTICA			ALCANCES LUMINOSO E GEOGRÁFICO	DESCRICOÃO E ALTURA	OBSERVAÇÕES
			PERÍODO	ALTITUDE	INTENSIDADE			
COSTA NORTE – Barra Norte do Rio Amazonas								
12	Águas Seguras nº 1 210	01	LpL.	B.		13	Faixas verticais encarnadas e brancas	Refletor radar
		25,40	10s					
		49	B. 2,0 – Ecl. 8,0					
		22,22	1139					
16	Águas Seguras nº 2 210	01	Mo (A)	B.		5	Faixas verticais encarnadas e brancas	Refletor radar
		17,55	5s					
		49	B. 0,5 – Ecl. 0,5					
		27,74	160					
20	Águas Seguras nº 3 201	01	LpL.	B.		5	Faixas verticais encarnadas e brancas	Refletor radar
		09,64	10s					
		49	B. 2,0 – Ecl. 8,0					
		33,33	160					
28 G 0004	Guará 201	01	Lp.	B.		16 19	Armação tronco piramidal quadrangular em treliça metálica, branca 42	Racon Q (– – . –) Bandas S e X Refletor radar
		11,26	6s		44			
		49	B. 1,0 – Ecl. 5,0					
		53,96	22325					
CANAL GRANDE DO CURUÁ								
32	– Curuá nº 1 201	01	Lp.	E.		5	Encarnada	Refletor radar
		04,40	5s					
		49	E. 0,5 – Ecl. 4,5					
		38,95	66					
36	– Curuá nº 3 201	01	R(2)	E.		5	Encarnada	Refletor radar
		01,90	5s					
		49	E. 0,5 – Ecl. 1,0					
		41,80	66					
40	– Curuá nº 2 201	01	Lp.	E.		5	Verde	Refletor radar
		03,70	5s					
		49	E. 0,5 – Ecl. 4,5					
		38,10	50					
44	– Curuá nº 4 201	00	R (2)	V.		5	Verde	Refletor radar
		59,88	5s					
		49	V. 0,5 – Ecl. 1,0					
		42,43	71					
56	– Curuá nº 6 201	00	R (2)	V.		5	Verde	Refletor radar
		54,40	6s					
		49	V. 0,5 – Ecl. 0,5					
		47,54	71					

			Lp (3) V.				
		00	12s				
58	- Curuá nº 8	52,80	V. 0,5 – Ecl. 1,5		5	Verde	Refletor radar
	201	49	V. 0,5 – Ecl. 1,5				
		50,46	V. 0,5 – Ecl. 7,5				
		50					
BACIA AMAZÔNICA – Rio Amazonas							
		00	Lp. B.			Armação tronco	
60	Bailique	59,40	10s		14	piramidal quadrangular	Racon M (– –
G 0005	201	49	B. 1,0 – Ecl. 9,0	41	17	em treliça metálica,)
		56,83	2325			branca, revestida	Bandas S e X
						com placas	
						39	
		00	Lp (3) B.10sB.			Armação tronco	
		52,8049	1,0 – Ecl. 1,0B.			Torre quadrangularme	Racon B (– –
61G 0005.5	Ilha do	59,27	1,0 – Ecl. 1,0B.	33	1616	tálica em treliça, reves	...)Bandas S e
	Pará201		1,0 – Ecl.			tida com	X
			5,02325			placas, branca30	
		00	Lp. B.			Armação tronco	
68	Ponta do Céu	45,64	6s		9	piramidal	
G 0006.5	202	50	B. 0,5 – Ecl. 5,5	11	11	quadrangular	
		07,01	415			em treliça metálica,	
						branca	
		00	Lp (2) B.			Armação tronco	
		38,81	15s			piramidal quadrangular	Racon Y (– –
72	Santarém	50	B. 1,0 – Ecl. 3,0	13	12	em treliça metálica,	–)
G 0006.8	201	05,71	B. 1,0 – Ecl.		12	branca	Bandas S e X
			10,0			11	
			398				
		00	Lp (3) B.			Armação tronco	
		39,23	12s			piramidal quadrangular	
76	Taiá	50	B. 0,5 – Ecl. 1,5	13	10	em treliça metálica,	
G 0006.9	202	17,57	B. 0,5 – Ecl. 1,5		12	branca	
			B. 0,5 – Ecl. 7,5			11	
			415				
		00	Lp. E.			Armação tronco	
80	Carolina	26,67	3s			piramidal quadrangular	
	203	50	E. 0,3 – Ecl. 2,7		5	em treliça metálica,	
		27,77	52			branca	
						Encarnada	
		00	LpL. B.			Armação tronco	
		15,66	15s			piramidal quadrangular	
84	Espírito Santo	50	B. 2,0 – Ecl.	24	16	em treliça metálica,	Refletor radar
G 0007.4	203	31,30	13,0		13	branca	
			2450			22	
		00	Lp (2+1) V.			Armação tronco	
		11,00	6s			Verde com uma faixa	
90	Cação Grande	50	V. 0,5 – Ecl. 0,5		5	larga horizontal	
	204	42,00	V. 0,5 – Ecl. 1,5			encarnada	
			V. 0,5 – Ecl. 2,5				

92	Pau Cavado	00	Lp.	B.			Armação tronco	
G 0007.5	204	11,51	6s		47	11	piramidal	Racon X
		50	B. 0,5 – Ecl. 5,5			17	quadrangular	(...)
		47,25	540				em treliça metálica,	Bandas S e X
							branca	
							45	
96	Fugitivo	00	Lp (2)	B.			Armação quadrangular	
G 0007.7	204	10,20	12s		13	12	metálica, branca	
		50	B. 1,0 – Ecl. 2,0			12	11	
		55,12	B. 1,0 – Ecl. 8,0					
			386					
100	Fugitivo	00	Lp.	V.				
	204	07,05	3s			5	Verde	Refletor radar
		50	V. 0,5 – Ecl. 2,5					
		56,50	520					
108	Caixa-d'água	00						
	204	02,26	F. B. E.					Luz particular
		51						
		03,23						
112	Caixa-d'água	00						
	204	01,40	F. E.					Luz particular
		51						
		03,48						
116G 0009	Cascalheira	00	Lp (2)	B.10sB.	13	1012	Armação tronco	
	204	01,3351	0,5 – Ecl. 1,5B.				piramidalquadrangular	
		03,72	0,5 – Ecl.				em treliça	
			7,5415				metálica,branca	11
120	Chagas	00	Lp.	V.				
	204	00,63	5s			5	Verde	Refletor radar
		51	V. 0,5 – Ecl. 4,5					
		01,68	46					
122	Cascalheira	00	Lp.	V.				
	204	02,80	3s			5	Verde	
		51	V. 0,5 – Ecl. 2,5					
		03,46	64					
132	Santana Leste	00	Lp (3)	B.			Estrutura metálica,	
G 0010.6	204	04,08	10s		10	6	encimada por uma	
		51	B. 0,5 – Ecl. 1,0			11	armação quadrangular	
		07,85	B. 0,5 – Ecl. 1,0				em treliça metálica,	
			B. 0,5 – Ecl. 6,5				branca	
			97				8	
140	Banco Salvador	00	Lp.	V.				
	4101 A	11,37	5s			5	Verde	
		51	V. 0,5 – Ecl. 4,5					
		15,45	40					
141	Passagem de Mazagão	00	Lp.	V.				
	4101 A	12,48	3s			5	Verde	
		51	V. 0,3 – Ecl. 2,7					
		17,16	38					

142	Ilha Camaleão	00 09,14	Lp. 15s	B.			Torre tronco piramidal quadrangular	
G 0011.5	232	48 54,72	B. 2,0 – Ecl. 13,0 2512		37	16 17	em treliça metálica, branca	35
144	Machadinho	00 10,82	Lp. 10s	B.			Armação tronco piramidal quadrangular	Setor de visibilidade
G 0012	231	48 46,02	B. 1,0 – Ecl. 9,0 650		23	11 14	em treliça metálica, branca	256° – 143° (247°)
148	Simão Grande	00 15,41	Lp. 5s	B.			Armação tronco piramidal quadrangular	Setor de visibilidade
G 0014	231	48 24,19	B. 0,5 – Ecl. 4,5 3000		42	16 16	em treliça metálica, com placa de visibilidade, branca	138° – 320° (182°) Racon O (– – –) Bandas S e X

4.2.5. Histórico de Incidentes Marítimos

Nos dados presentes na Tabela 9 evidenciou-se o histórico de incidentes e acidentes na navegação ocorridos no rio Amazonas de 2017 a 2021.

Tabela 9 - Histórico de Incidentes e Acidentes

	2017	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
ENCALHE	05	09	03	04	01	02	24
COLISÃO	04	04	01	01	02	01	13
ABALROAMENTO	07	09	04	03	06	03	32
NAUFRÁGIO	04	02	04	01	05	02	18
OUTROS	02		03	03	01		09
TOTAL	22	24	15	12	15	08	96

4.2.6. Avaliação de Probabilidade e Impacto

A partir da análise dos cenários para o rio Amazonas, teve-se que para o cenário de abalroamento encontraram-se as seguintes características:

- Probabilidade classificada como ocasional (3)
- Consequência classificada como grave (3)

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 9 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Alto risco para o qual esforços substanciais e urgentes devem ser feitos para reduzi-lo a níveis ALARP dentro de um período de tempo definido. É provável que haja um financiamento

significativo necessários e os serviços podem precisar ser suspensos ou restritos até que as opções de controle de riscos forem acionadas.

Para o cenário de encalhe encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como frequente (4)
- Impacto classificada como maior (4)

Aplicado os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 16 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Risco muito alto e inaceitável, para o qual substancial e imediata melhorias são necessárias. Pode ser necessário grande financiamento e portos e é provável que as hidrovias sejam forçadas a fechar até que o risco seja reduzido a um nível aceitável.

Para o cenário de colisão temos dois possíveis cenários:

- Uma embarcação que navega no canal à noite atinge um auxílio à navegação, onde encontramos as seguintes características - Probabilidade classificada como frequente (4); Consequência classificada como menor (2).

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 8 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Alto risco para o qual esforços substanciais e urgentes devem ser feitos para reduzi-lo a níveis ALARP dentro de um período de tempo definido. É provável que haja um financiamento significativo necessários e os serviços podem precisar ser suspensos ou restritos até que as opções de controle de riscos forem acionadas.

- Embarcação atinge uma embarcação que navega no canal à noite atinge um auxílio à navegação o cais durante operações, onde encontramos as seguintes características - Probabilidade classificada como raro (2); Consequência classificada como menor (2).

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 4 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Baixo risco, não exigindo opções adicionais de controle de risco, a menos que possam ser implementados a baixo custo em termos de tempo, dinheiro e esforço.

Para o cenário de naufrágio encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como ocasional (3)
- Consequência classificada como grave (3)

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 9 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Alto risco para o qual esforços substanciais e urgentes devem ser feitos para reduzi-lo a níveis ALARP

dentro de um período de tempo definido. É provável que haja um financiamento significativos necessários e os serviços podem precisar ser suspensos ou restritos até que as opções de controle de riscos forem acionadas.

4.2.7. Rio Pará

A outra área de estudo é compreendida pelo Rio Pará. Entende-se como rio Pará, um conjunto hidrográfico, formado por inúmeros rios cujas águas nele desembocam, dando origem a uma sucessão de baías e enseadas que se estendem ao longo de toda costa sul da ilha de Marajó e o continente, iniciando a baía de Marajó. O rio Pará, possui mais de 300 km de extensão e cerca de 20 km de largura média. (LIMA; TOURINHO; COSTA, 2001)

O setor do rio Pará, entre a região de Belém e a costa sul-sudeste da ilha de Marajó, consiste em um estuário que se inicia na baía das Bocas (delta de Boiuçu/Breves), prossegue pelo chamado rio Pará, áreas em que recebe toda a massa de águas do rio Tocantins e inclui uma pequena baía em frente à Belém, na altura do emboque dos rios Guamá/Mojú/Acará/Capim, passando à alongada boca do complexo estuarino terminal, sob o nome de baía de Marajó (AB'SABER, 2006).

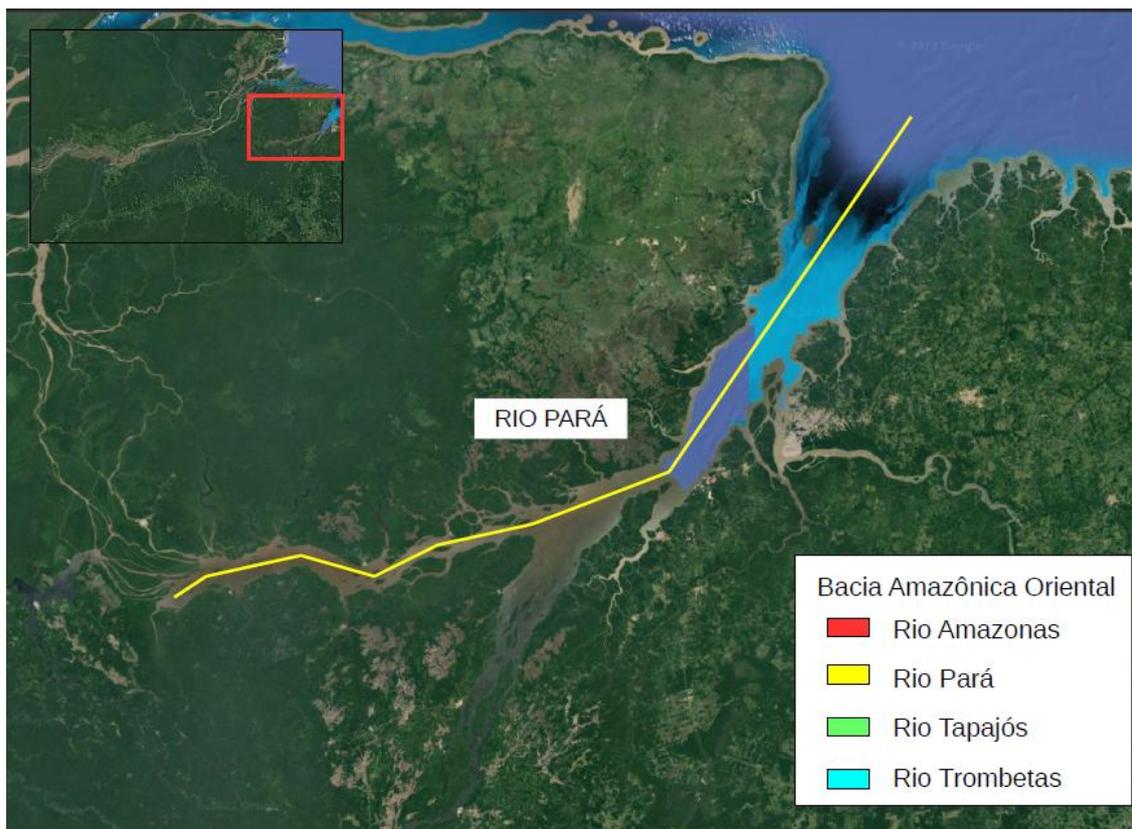


Figura 8 – Rio Pará

Fonte: AUTOR (2022).

4.2.8. Movimentação e Tráfego

Do mesmo modo como realizado para o Rio Amazonas, realizou-se a caracterização da movimentação de cargas e do tráfego de embarcações para o rio Pará e Estreitos, tendo em vista que uma das etapas principais do processo SIRA é a delimitação do rio e sua área de estudo.

Nesse sentido, tem-se que, segundo dados da ANTAQ (2021), o rio Pará tem um total de cargas movimentadas em 2021 de, aproximadamente, 5.974.948 toneladas, sendo este um valor significativo e considerável, levando em consideração todos os tipos de carga movimentada na via navegável, como insumos agrícolas oriundos das Estações de Transbordo de Carga em Miritituba, contêineres advindos e com destino a outros países e estados, bem como produtos e insumos de consumo local oriundos de municípios paraenses.

Concernente ao fluxo de embarcações no referido curso fluvial, tem-se que este caracteriza-se por ser intenso, sendo navegado por diversos tipos de embarcação, desde

embarcações miúdas a embarcações de grande porte. Este rio, assim como os estreitos são navegados por diversos tipos de embarcações.

Os estreitos de Breves e Boiuçu caracterizam-se por serem delimitadores da navegação na região, sendo navegados por embarcações de pequeno porte e embarcações de grande porte, como comboios de 25 barcaças que chegam a comprimentos de 343 metros. Enquanto que no Rio Pará evidencia-se a navegação por embarcações mercantes, embarcações de médio porte para o transporte de cargas no convés e em porões, bem como embarcações de passageiros e mistos.

Pode-se observar na Figura 9 o fluxo de embarcações no rio Pará e Estreitos por intermédio da escala de cores, evidenciando-se um fluxo intenso.

Figura 9 - Fluxo de Embarcações - Rio Pará e Estreitos



Fonte: Marine Traffic (2022).

4.2.9. Batimetria – Cartas Náuticas

Conforme evidenciado nos procedimentos metodológicos, tem-se que as informações de batimetria e cartas náuticas são de fundamental importância na caracterização da região de estudo analisada. Tendo em vista isso, fez-se o levantamento das cartas náuticas que representam o curso fluvial em questão, observando-se que existem cartas com informações batimétricas datadas em 1976, fato este que indica uma defasagem de dados que podem caracterizar perigos maiores à navegação nos estreitos, reiterando as necessidades de avaliação e análise de risco para o mesmo.

Nesse sentido, após análise dos trechos em questão, evidenciou-se que este é representado por 12 cartas náuticas (somados para Rio Pará e Estreitos), conforme evidenciado na Tabela 10.

Tabela 10 - Cartas Náuticas - Rio Pará e Estreitos

CARTA Nº	TÍTULO	ESCALA	1ª ED	ÚLT. ED.
RIO PARÁ				
302	De Salinópolis ao Canal do Espadarte	1:100 000	1960	2006
303	Do Cabo Maguari a Mosqueiro	1:100 000	1962	2013
304	De Mosqueiro a Vila do Conde	1:75 000	1968	2014
305	Da Ilha do Capim à Ilha da Conceição	1:100 000	1974	2014
306	Da Ilha da Conceição aos Estreitos	1:99 960	1974	1993
320	Porto de Belém	1:15 000	1961	2014
321	Porto de Vila do Conde	1:20 000	2013	
ESTREITOS				
4341	4341 Estreitos de Breves e de Boiçu – Da I. Santa Helena à I. Pracaxi	1:50 000	1976	
4342 A	Furo dos Macacos – Da I. Pracaxi ao Rio dos Veados	1:50 006	1976	
4342 B	Furo dos Macacos – Do Rio dos Veados ao Rio Jacaré Grande	1:50 013	1976	
4343 A	Furos do Tajapurú e da Companhia – Da I. Pracaxi à I. Mutunquara	1: 50 008	1976	
4343 B	Furos do Tajapurú, da Companhia, do Limão e Ituquara - Da I. Mutunquara ao Canal do Vieira	1:50 013	1976	

4.2.10. Auxílios Fixos E Flutuantes Existentes Para Navegação

Concernente aos auxílios fixos e flutuantes existentes para navegação no Rio Pará e Estreitos, deve-se destacar o fato destes estarem, em sua maioria, defasados e em situações precárias. Tendo em vista isso, destaca-se o fato de que nos Estreitos, apesar de existir uma navegação perene e intensa, os auxílios a navegação existentes não são suficientes para garantir uma navegação segura. Do mesmo modo, no rio Pará evidenciam-se grandes problemas relacionados ao vandalismo e poucos recursos para manutenção, monitoramento e implementação de novos auxílios.

Quanto aos auxílios existentes e listados nas Listas de Faróis da DHN (2019), evidenciam-se os mesmos no Apêndice 1, tanto para os Estreitos quanto para o Rio Pará.

4.2.11. Histórico de Incidentes na Navegação

Os dados presentes na Tabela 11 evidenciam o histórico de incidentes e acidentes na navegação ocorridos no rio Pará e Estreitos de 2016 a 2011.

Tabela 11 - Histórico de Incidentes e Acidentes na Navegação

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
ENCALHE	04	03	02	01	01	02	13
COLISÃO		06	04	05	02	01	18
ABALROAMENTO	09	03	03	05	03	01	24
NAUFRÁGIO	12	05	06	04	02	02	31
OUTROS	02	04	02	01	01	01	11
TOTAL	27	21	17	16	09	07	97

4.2.12. Avaliação de Probabilidade e Impacto

Com a aplicação da metodologia SIRA, tem-se que para o cenário de abalroamento encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como ocasional (3)
- Consequência classificada como grave (3)

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 9 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Alto risco para o qual esforços substanciais e urgentes devem ser feitos para reduzi-lo a níveis ALARP dentro de um período de tempo definido. É provável que haja um financiamento significativo necessários e os serviços podem precisar ser suspensos ou restritos até que as opções de controle de riscos forem acionadas.

Para o cenário de encalhe encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como frequente (4)
- Consequência classificada como maior (4)

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 16 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Risco muito alto e inaceitável, para o qual substancial e imediata melhorias são necessárias. Pode ser necessário grande financiamento e portos e é provável que as hidrovias sejam forçadas a fechar até que o risco seja reduzido a um nível aceitável.

Para o cenário de colisão temos dois possíveis cenários:

- Uma embarcação que navega no canal à noite atinge um auxílio à navegação, onde encontramos as seguintes características - Probabilidade classificada como frequente (4); Consequência classificada como menor (2).

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 8 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Alto risco para o qual esforços substanciais e urgentes devem ser feitos para reduzi-lo a níveis ALARP dentro de um período de tempo definido. É provável que haja um financiamento significativo necessários e os serviços podem precisar ser suspensos ou restritos até que as opções de controle de riscos forem acionadas.

- Embarcação atinge uma embarcação que navega no canal à noite atinge um auxílio à navegação o cais durante operações, onde encontramos as seguintes características - Probabilidade classificada como raro (2); Consequência classificada como menor (2).

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 4 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Baixo risco, não exigindo opções adicionais de controle de risco, a menos que possam ser implementados a baixo custo em termos de tempo, dinheiro e esforço.

Para o cenário de naufrágio encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como ocasional (3)
- Consequência classificada como grave (3)

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 9 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Alto risco para o qual esforços substanciais e urgentes devem ser feitos para reduzi-lo a níveis ALARP dentro de um período de tempo definido. É provável que haja um financiamento significativo necessários e os serviços podem precisar ser suspensos ou restritos até que as opções de controle de riscos forem acionadas.

Rio Tapajós

Tendo como terceiro dos quatro rios de análise o rio Tapajós, tem-se que este, de acordo com a AHIMOC (2007), possui extensão de 851 quilômetros entre a sua origem, no norte do Mato Grosso, até a foz no Rio Amazonas, no município de Santarém (PA). Segundo a AHIMOR (2011), são três os trechos navegáveis do Rio Tapajós, separados por dois obstáculos: as cachoeiras em São Luís do Tapajós (PA) e as cachoeiras do Chacorão, no município de Jacareacanga (PA).

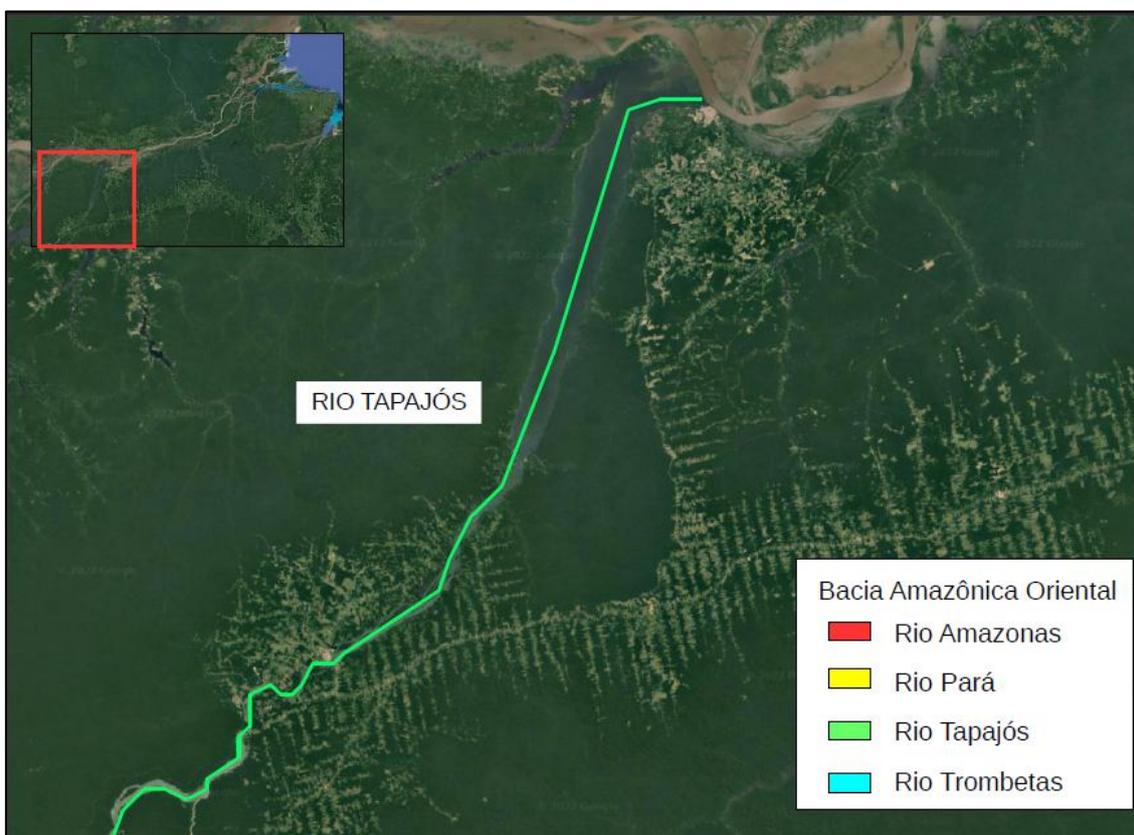
O primeiro trecho possui boas condições de navegabilidade em uma extensão de 345 quilômetros entre jusante de São Luís do Tapajós (PA) e a foz em Santarém (PA),

com profundidade mínima de 2,5 metros (AHIMOR, 2011). Mesmo embarcações marítimas de calado bem maior podem adentrar o trecho em épocas de águas altas.

O segundo trecho navegável - entre as cachoeiras - apresenta condições razoáveis de navegação, podendo ser transposto em corrente livre. O terceiro trecho - entre a Cachoeira do Chacorão, em Jacareacanga (PA), e a confluência dos rios Teles Pires e Juruena - possui leito predominantemente arenoso e apresenta menores riscos à navegação. No entanto, as profundidades são reduzidas, dada a alta quantidade de bancos de areia que atravessam o rio e diminuem sua profundidade para um metro e meio em alguns pontos.

Evidencia-se na Figura 10 a área de estudo referente ao rio Tapajós, bem como os principais municípios e portos, bem como a identificação do trecho navegável deste curso fluvial.

Figura 10 - Área de Estudo - Rio Tapajós



Fonte: AUTOR (2022).

4.2.13. Movimentação e Tráfego

No que tange ao volume de cargas movimentadas pelo rio Tapajós, tem-se que, segundo dados da ANTAQ (2021), este tem um total de cargas movimentadas em 2021 de, aproximadamente, 6.225.204 toneladas, sendo este um valor significativo e

4381B	DE SURUCUÁ A AVEIRO	1:100 001	1984
4382A	DE AVEIRO ÀS ILHAS DO PRADO	1:49 998	1984
4382B	DAS ILHAS DO PRADO A ITAITUBA	1:49 980	1984
4383	DE ITAITUBA A SÃO LUÍS DO TAPAJÓS	1:49 965	1984

4.2.15. Auxílios Fixos E Flutuantes Existentes Para Navegação

Sabe-se que na etapa do processo SIRA correspondente ao levantamento das características da área de estudo, a caracterização e análise dos auxílios fixos e flutuantes existentes são de fundamental importância para a conclusão do processo metodológico e para a obtenção da matriz final de resultados. Nesse sentido, a Tabela 13 destaca os auxílios fixos e flutuantes existentes para este rio analisado.

Tabela 13 - Auxílios à Navegação - Rio Tapajós

BACIA AMAZÔNICA – Rio Tapajós

Nº DE ORDEM E Nº INTERNACIONAL	LOCAL		CARACTERÍSTICA		ALCANCES LUMINOSO E GEOGRÁFICO	DESCRIÇÃO E ALTURA	OBSERVAÇÕES
	NOME CARTA NÁUTICA CLASSIFICAÇÃO	POSIÇÃO	PERÍODO FASE DETALHADA INTENSIDADE	ALTITUDE			
395 G 0059,34	Portobrás (Extremidade) 4103B	02 24,87 54 44,28	F.A.		5	Poste tubular metálico, encarnado 5	Luz particular
395.1	Portobrás (Joelho) 4103B	02 24,83 54 44,37	F.A.		5	Poste tubular metálico, encarnado 5	Luz particular
395.15	Santarém 4103B	02 25,01 54 47,02	Aero Lp. Alt. BV.	77	8	Torre cilíndrica metálica, laranja 21 Tubo metálico sobre base de concreto	Funcionamento ocasional Pertence ao Com. Aer.
395.17	Surucua nº 2 4381 A/B	02 53,71 55 09,50	Lp (2) V. 6s V. 0,3 – Ecl. 0,7 V. 0,3 – Ecl. 4,7 66	10	6 10	armado, com faixas horizontais verdes e brancas. 9	

			Lp.	V.			Tubo metálico sobre base de concreto armado, com faixas horizontais verdes e brancas.	
395.2	São Tomé nº 2	03 03,70	4s		13	6		
	4381 A/B	55 12,08	V. 0,5 – Ecl. 3,5			10		
			83					9
			Lp.	B.			Torre quadrangular em treliça metálica, branca	
400	Ilha do Patacho	02 11,03	5s		12	10		
G 0059.4	4103B	55 02,58	B. 0,5 – Ecl. 4,5			11		
			397					11
							Torre tronco piramidal quadrangular em treliça metálica com antenas no topo	
404	Telepará (Óbidos)	01 54,80		F. E.				Luz particular
G 0059.42	4104A	55 31,00						

4.2.16. Histórico de Incidentes na Navegação

Concernente ao histórico de acidentes e incidentes na navegação ocorridos no rio Tapajós, evidenciam-se na Tabela 14 os números correspondentes aos anos de 2014 a 2019.

Tabela 14 - Histórico de Incidentes e Acidentes na Navegação - Rio Tapajós

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
ENCALHE		01	01	01			03
COLISÃO		01		01		04	06
ABALROAMENTO	03	01			03		07
NAUFRÁGIO	02	03	02	01	01	02	11
OUTROS	01	01					02
TOTAL	06	07	03	03	04	06	29

4.2.17. Avaliação de Probabilidade e Impacto

Para o cenário de abalroamento encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como raro (2);
- Consequência classificada como grave (3).

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 6 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Risco moderado

que deve ser reduzido para o mais baixo possível (ALARP) pela implementação de opções adicionais de controle que provavelmente para exigir financiamento adicional.

Para o cenário de encalhe encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como raro (2)
- Consequência classificada como maior (4).

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 8 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Risco moderado que deve ser reduzido para o mais baixo possível (ALARP) pela implementação de opções adicionais de controle que provavelmente para exigir financiamento adicional.

Para o cenário de colisão temos dois possíveis cenários:

- Uma embarcação que navega no canal à noite atinge um auxílio à navegação, onde encontramos as seguintes características - Probabilidade classificada como raro (2); Consequência classificada como menor (2).

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 4 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Risco moderado que deve ser reduzido para o mais baixo possível (ALARP) pela implementação de opções adicionais de controle que provavelmente para exigir financiamento adicional.

- Embarcação atinge uma embarcação que navega no canal à noite atinge um auxílio à navegação o cais durante operações, onde encontramos as seguintes características - Probabilidade classificada como raro (2); Consequência classificada como menor (2).

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 4 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Baixo risco, não exigindo opções adicionais de controle de risco, a menos que possam ser implementados a baixo custo em termos de tempo, dinheiro e esforço.

Para o cenário de naufrágio encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como raro (2);
- Consequência classificada como grave (3).

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 6 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Risco moderado que deve ser reduzido para o mais baixo possível (ALARP) pela implementação de opções adicionais de controle que para provavelmente solicitar financiamento adicional.

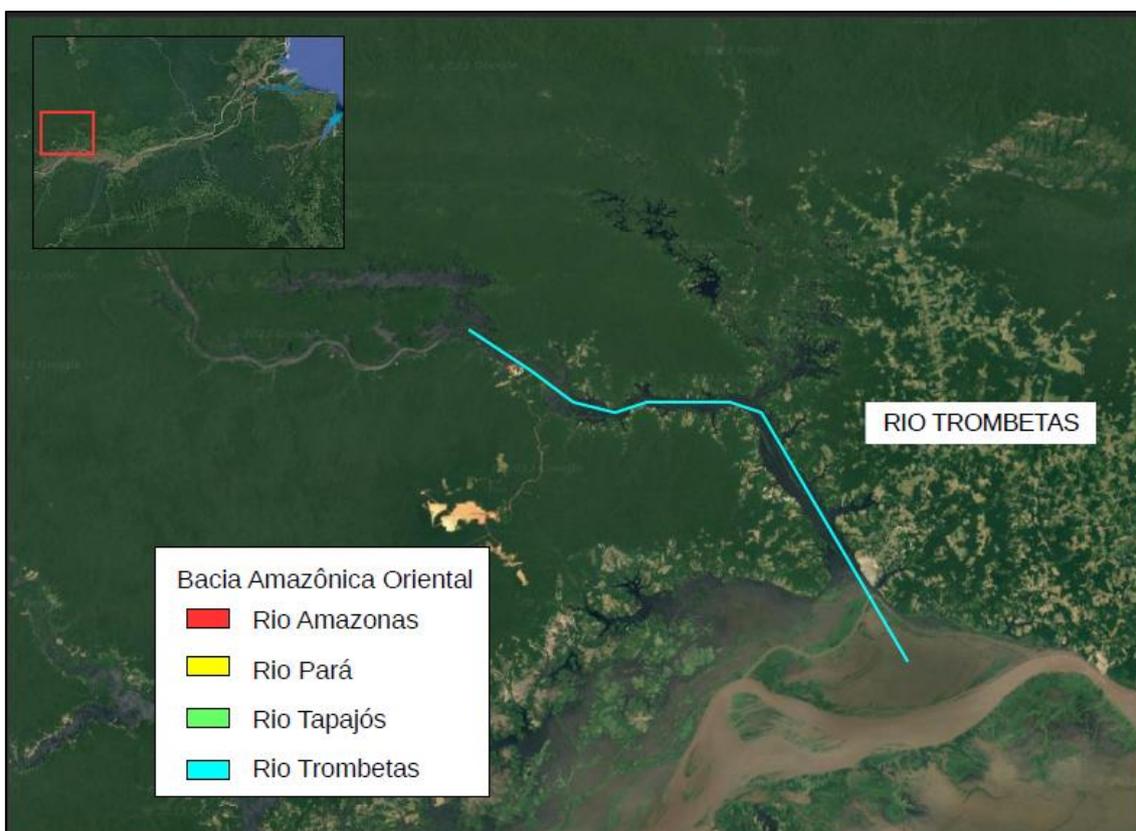
Rio Trombetas

Tem-se como último rio utilizado para validação do processo metodológico SIRA o Rio Trombetas, que é um afluente da margem esquerda do Rio Amazonas no noroeste do Pará. Possui extensão total de 800 quilômetros, distribuída ao longo do município de Oriximiná (PA) até a foz no Rio Amazonas, no município de Óbidos (PA).

No Rio Trombetas, a navegação marítima é viável por 260 quilômetros, no trecho compreendido entre a foz do Rio Amazonas e a Cachoeira Porteira. A profundidade mínima é de 2,1 metros entre a foz e Oriximiná (PA), e de 1,5 metros entre Oriximiná (PA) e Cachoeira Porteira (BRASIL, 2002). Há apenas o TUP Mineração do Norte S. A., em Porto Trombetas – um distrito pertencente ao município de Oriximiná (PA).

Na Figura 12 evidencia-se a localização do mesmo com a indicação das cidades próximas, bem como as infraestruturas rodoviárias e portuárias existentes.

Figura 12 - Localização - Rio Trombetas



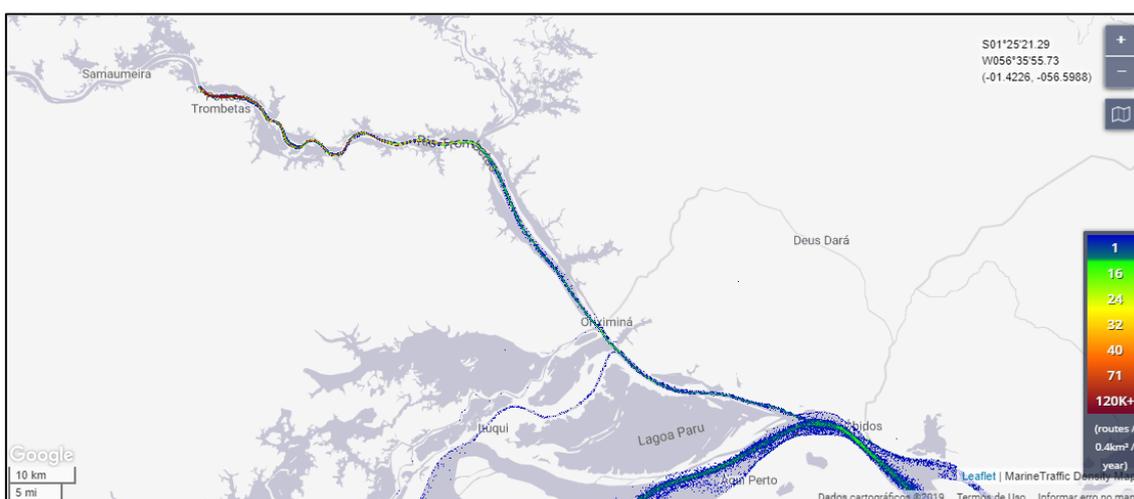
Fonte: Autor (2022).

4.2.18. Movimentação e Tráfego

No que tange ao total de cargas movimentadas no referido curso fluvial, tem-se que este, segundo ANTAQ (2021), teve um total de cargas movimentadas em 2021 de, cerca de, 9.049.092 toneladas. Valores estes intrinsecamente ligados à atividade industrial da mineração na região, por intermédio da Mineração Rio do Norte.

Na Figura 13 evidenciam-se, por intermédio das escalas de cores, os fluxos de embarcações no Rio Trombetas em direção ao rio Amazonas.

Figura 13 - Fluxo de Embarcações - Rio Trombetas



Fonte: MarineTraffic (2021).

4.2.19. Batimetria – Cartas Náuticas

Conforme evidenciado nos procedimentos metodológicos, tem-se que as informações de batimetria e cartas náuticas são de fundamental importância na caracterização da região de estudo analisada. Tendo em vista isso, fez-se o levantamento das cartas náuticas que representam o curso fluvial em questão, observando-se que as cartas representativas são datadas em 2010, com atualizações realizadas em 2017, não tendo, portanto, informações tão defasadas.

Nesse sentido, após análise dos trechos em questão, evidenciou-se que este é representado por 8 cartas náuticas, conforme evidenciado na Tabela 15.

Tabela 15 – Cartas Náuticas do rio Trombetas

CARTAS FLUVIAIS E LACUSTRES

CARTA N°	TÍTULO	ESCALA	1ª ED	ÚLT. ED.
4411	Da Foz do Rio Trombetas ao Lago Quiriquirí	1:25 000	2010	2017
4412	Do Lago Quiriquirí ao Lago Paru	1:25 000	2010	2017
4413	De Oriximiná à Ilha Jacitara	1:25 000	2010	

4414	Da Ilha Jacitara ao Lago Axipica	1:25 000	2010
4415	Do Estirão do França ao Lago Aracuã	1:25 000	2010
4416	Do Lago Aracuã ao Lago Bacabal	1:25 000	2010
4417	Do Lago Samaúma ao Lago Mussurá	1:25 000	2010
4418	Porto Trombetas	1:25 000	2010

4.2.20. Auxílios Fixos e Flutuantes Existentes para Navegação

Quanto aos auxílios à navegação, tem-se a existência de auxílios Flutuantes – 63 Boias Luminosas Tipo 1 (BL-1), sendo, portanto, uma hidrovia com boas condições de balizamento.

4.2.21. Histórico de Incidentes na Navegação

Concernente ao histórico de acidentes e incidentes na navegação ocorridos no rio Trombetas, evidenciam-se na Tabela 16 os números correspondentes aos anos de 2016 a 2021.

Tabela 16 - Histórico de Incidentes e Acidentes na Navegação - Rio Trombetas

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Total
Encalhe	-	-	-	-	-	-	00
Colisão	-	-	-	-	-	-	00
Abalroamento	01	-	-	-	-	-	01
Naufrágio	-	01	-	-	-	-	01
Outros	-	-	01	-	-	-	01
Total	01	01	01	00	00	00	03

4.2.22. Avaliação de Probabilidade e Impacto

Para o cenário de abalroamento encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como muito raro (1)
- Consequência classificada como grave (3)

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 3 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Baixo risco, não exigindo opções adicionais de controle de risco, a menos que possam ser implementados a baixo custo em termos de tempo, dinheiro e esforço.

Para o cenário de naufrágio encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como muito raro (1)
- Consequência classificada como grave (3)

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 3 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é de Baixo risco, não exigindo opções adicionais de controle de risco, a menos que possam ser implementados a baixo custo em termos de tempo, dinheiro e esforço.

4.2.23. Perigos e riscos

O perigo é algo que pode causar um incidente indesejável. Risco é a chance de lesão ou perda, conforme definido como medida de 'probabilidade' e 'gravidade ou impacto'. Exemplos de lesão ou perda incluem um efeito adverso em saúde, propriedade, meio ambiente ou outras áreas de valor.

Uma lista dos perigos identificados para os rio estudados é apresentada nas Matrizes de Resultados.

4.2.24. Tipos de perigos

Foram identificados doze perigos, agrupados nas seis categorias a seguir:

- **Riscos naturais:** como inundações, tempestades, terremotos, riscos biológicos e outros fenômenos naturais;
- **Riscos técnicos:** como falha no sistema ou equipamento, incêndio, explosão, obsolescência, poluição do ar / água, falha de sistemas de comunicação e degradação da qualidade dos dados;
- **Fatores humanos:** como erros ou omissões de pessoas mal treinadas, cansadas ou estressadas, desafios, violações, sabotagem e terrorismo;
- **Riscos operacionais:** como aterramento, colisão, golpe e outros eventos indesejados; e
- **Perigos do espaço marítimo:** como usos concorrentes do espaço marítimo.

Os seis tipos de risco geraram sete tipos diferentes de perdas:

- **Perdas de saúde:** incluindo morte e lesões;
- **Perdas de propriedade:** incluindo propriedade real e intelectual;
- **Perdas econômicas:** que levam ao aumento de custos ou redução de receita;
- **Perda por responsabilidade:** resultante quando uma organização é processada por uma suposta violação de dever legal; esses casos devem ser defendidos mesmo que

nenhuma culpa seja atribuída. As perdas de responsabilidade são capazes de destruir ou prejudicar uma organização;

- **Perda de pessoal:** quando os serviços de um funcionário importante são perdidos;
- **Perdas ambientais:** impacto negativo em terra, ar, água, flora ou fauna; e
- **Perda de reputação ou status.**

4.2.25. Fatores de risco

A análise de risco considerou a variedade de fatores que contribuíram para a exposição geral ao risco. Tabela 17 lista alguns dos fatores que foram levados em consideração na identificação de perigos para hidrovias estudadas.

Tabela 17 - Fatores para Identificação de Perigos

Condições dos Navios	Condições de Tráfego	Condições de Navegação	Condições da Hidrovia	Impactos Imediatos
Navios Grande Calado	de Volume de Tráfego Mercante	Ventos	Impedimentos à Visibilidade	Danos Pessoais
Navios Pequeno Calado	de Volume de Tráfego de Bem. Miúdas	Condições Hidrológicas	Dimensões	Derramamento de Óleo
Barco Comercial	de Pesca Mistura de Tráfego	Restrições à Visibilidade	Tipo de Fundo	Liberação de Materiais Perigosos
Embarcações Miúdas	Congestionamento	Obstruções	Configuração	Perda de Mobilidade

O risco foi avaliado para permitir que a atenção seja focada em áreas de alto risco e foram avaliados fatores que influenciam o nível de risco.

4.3. Desenvolvimento de cenários

Cada perigo foi considerado com cuidado e foram identificados e registrados.

Dos 12 principais perigos identificados, 4 (quatro) categorias diferentes de cenário foram identificadas: colisão, encalhe, abalroamento e encalhe. As Matrizes de Resultados lista os cenários identificados.

4.3.1. Abalroamento

A probabilidade de abalroamento depende das condições de navegação, configuração da hidrovia e tipo e volume de tráfego. Os tipos básicos de colisões são de frente, ultrapassando, dobrando, mesclando e cruzando colisões.

4.3.2. Encalhe

A probabilidade de encalhe depende de muitos fatores, incluindo batimetria ao redor da área portuária, o calado de embarcações que acessam o porto, falha da sinalização náutica e condições meteorológicas como a velocidade do vento predominante e direção.

4.3.3. Colisão

A possibilidade de uma embarcação atingir um objeto fixo feito pelo homem, como um cais ou auxílio à navegação, depende da posição dessas estruturas ao longo das rotas e da densidade do tráfego.

4.3.4. Naufrágio

O naufrágio é definido como um afundamento da embarcação que não é o resultado de uma colisão anterior; por exemplo, um navio pode afundar se sua carga mudar durante o mau tempo.

4.3.5. Probabilidade e impacto

Conforme o SIRA foi especificado em cinco níveis de probabilidade (Tabela 3) e cinco níveis de impacto (Tabela 4) que cada tipo de cenário criaria. Cada cenário recebeu uma pontuação para probabilidade e impacto, e o valor do risco foi calculado a partir de o produto dessas pontuações.

4.3.6. Matriz de Aceitabilidade do Risco

Após determinado os escores de probabilidade e impacto, os valores de risco foram calculados multiplicando-se essas pontuações, conforme mostrado na matriz de aceitabilidade de risco (Tabela 5). Para determinar se os riscos são aceitáveis ou não, o SIRA especifica quatro níveis de risco com faixas de cores (Tabela 6).

4.3.7. Avaliação de opções de controle de risco

O objetivo da avaliação de risco foi identificar opções de mitigação de risco para cada incidente indesejável que se implementado, reduziria o risco a um nível tão baixo quanto razoavelmente praticável (ALARP) e que seria aceitável para as partes interessadas.

Os riscos foram avaliados em termos de necessidades gerais. As opções de mitigação incluíram:

- Novo ou aplicação das regras e procedimentos existentes;
- Informação hidrográfica, meteorológica e de navegação geral aprimorada e mapeada;
- Fornecimento aprimorado de serviços AtoN;
- Melhorou as comunicações de rádio; e
- Melhorou os sistemas de suporte à decisão.

. As opções detalhadas de controle de risco para os rios estudados são mostradas nas Matrizes de Resultados.

5. RESULTADOS

5.1. Resultados Analisados

Com base nas análises supracitadas, evidenciam-se a seguir as análises de balizamentos para os rios referentes ao estudo de caso.

5.1.1. Rio Amazonas

Como forma de reunir todas as informações descritas na sessão anterior concernente aos estudos de caso, tem-se que a Tabela 18 reúne as principais características referentes ao rio Amazonas.

Tabela 18 - Características Principais - Rio Amazonas

Rio Amazonas		
Extensão (km)	1508 (Baixo Amazonas até a foz)	
Volume de Carga Transportada 2019 (ton)	11.130.679	
Auxílio à Navegação	Fixos	18
	Flutuantes	15
	Outros	4
Histórico de Incidentes	2014	22
	2015	24
	2016	15
	2017	12
	2018	15
	2019	8
Praticagem	ZP-01	

A partir da análise dos cenários para o rio Amazonas, teve-se que para o cenário de abalroamento encontraram-se as seguintes características:

- Probabilidade classificada como ocasional (3)
- Consequência classificada como grave (3)

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 9 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Alto risco para o qual esforços substanciais e urgentes devem ser feitos para reduzi-lo a níveis ALARP dentro de um período de tempo definido. É provável que seja necessário um investimento em infraestrutura e os serviços podem ser suspensos ou restritos até que as opções de controle de riscos sejam implementadas.

Para o cenário de encalhe encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como frequente (4)
- Consequência classificada como maior (4)

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 16 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Risco muito alto e inaceitável, para o qual substancial e imediata melhorias são necessárias. É provável que seja necessário um investimento em infraestrutura e os serviços podem ser suspensos ou restritos até que as opções de controle de riscos sejam implementadas e é provável que a hidrovía sejam forçadas a fechar até que o risco seja reduzido a um nível aceitável.

Para o cenário de colisão temos dois possíveis cenários:

- Uma embarcação que navega no canal à noite atinge um auxílio à navegação, onde encontramos as seguintes características - Probabilidade classificada como frequente (4); Consequência classificada como menor (2).

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 8 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Alto risco para o qual esforços substanciais e urgentes devem ser feitos para reduzi-lo a níveis ALARP dentro de um período de tempo definido. É provável que seja necessário um investimento em infraestrutura e os serviços podem precisar ser suspensos ou restritos até que as opções de controle de riscos forem acionadas.

- Embarcação atinge uma embarcação que navega no canal à noite atinge um auxílio à navegação o cais durante operações, onde encontramos as seguintes características - Probabilidade classificada como raro (2); Consequência classificada como menor (2).

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 4 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Baixo risco, não exigindo opções adicionais de controle de risco, a menos que possam ser implementados a baixo custo em termos de tempo, dinheiro e esforço.

Para o cenário de naufrágio encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como ocasional (3)
- Consequência classificada como grave (3)

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 9 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Alto risco para o qual esforços substanciais e urgentes devem ser feitos para reduzi-lo a níveis ALARP dentro de um período de tempo definido. É provável que seja necessário um investimento em infraestrutura e os serviços podem precisar ser suspensos ou restritos até que as opções de controle de riscos forem acionadas .

Após a aplicação de toda a metodologia SIRA para a referida via navegável, obtiveram-se, como resultados, as informações presentes na Tabela 19, que representa a matriz do rio Amazonas.

Tabela 19 - Matriz de Resultados - Rio Amazonas

Cenário	Descrição do incidente	Causa Raíz (Perigos)	Descrição das Consequências (Curto Prazo e longo Prazo)	Medidas de Controle de Riscos Existentes	Probabilidade	Consequência	Risco	Opções de Controle de Risco Adicionais
1. Abalroamento								
Abalroamento frontal durante navegação noturna	Dois navios que navegam no canal colidem um no outro	Fatores Humanos	Perda da vida; dano ambiental; perda de embarcações.	-	3	3	9	
2. Encalhe								
Encalhe durante navegação	Uma embarcação que navega no canal encalha	Pequenas profundidades, canal estreito, passagem sinuosa; falhas técnicas da tripulação / competência da tripulação; condições climáticas difíceis; Falhas dos auxílios à navegação (luzes apagadas)	Canal bloqueado; recipiente atraso na descarga; perda econômica; danos ambientais (óleo derramamento); lesões (turistas de navios de cruzeiro que acessam o canal em botes)	-	4	4	16	
3. Colisão								
Colisão auxílios navegação com à navegação	Uma embarcação que navega no canal à noite atinge um auxílio à navegação	Pequenas profundidades, canal estreito, passagem sinuosa; falhas técnicas da tripulação / competência da tripulação; condições climáticas difíceis; Falhas dos auxílios à navegação (luzes apagadas)	Danos aos navios; danos aos auxílios à navegação; danos ao meio ambiente; lesões na tripulação.	-	4	2	8	
Colisão com o cais	Embarcação atinge uma embarcação que navega no canal à noite atinge um auxílio à navegação o cais durante operações	Vento, competência da tripulação, pânico, descuido da tripulação.	Danos à embarcação; dano aos cais; danos às mercadorias.	Defensas temporárias no cais e embarcação; Equipamento de proteção individual; limites para operações de embarcações de	2	2	4	

acordo com direção e
velocidade do vento



4. Naufrágio

<p>Naufrágio de embarcação durante operações de descarregamento</p>	<p>Embarcação encalha após operação de carregamento</p>	<p>Carregamento incorreto; condições; decisões da tripulação</p>	<p>Perda econômica (perda de contêineres, perda de barcaça); perda de vidas e lesões</p>	<p>Limites para operações de embarcações de acordo com direção e velocidade do vento</p>	<p>3</p>	<p>3</p>	<p>9</p>
---	---	--	--	--	----------	----------	----------

Rio Pará

Como forma de reunir todas as informações descritas na sessão anterior concernente aos estudos de caso, tem-se que a Tabela 20 reúne as principais características referentes ao rio Pará.

Tabela 20 - Características Principais - Rio Pará

Rio Pará e Estreitos		
Extensão (km)		300
Volume de Carga Transportada 2019 (ton)		5.974.948
Auxílio à Navegação	Fixos	37
	Flutuantes	55
	Outros	6
Histórico de Incidentes	2014	27
	2015	21
	2016	17
	2017	16
	2018	9
	2019	7
Praticagem		ZP-03/ZP-01

Com a aplicação da metodologia SIRA, tem-se que para o cenário de abalroamento encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como ocasional (3)
- Consequência classificada como grave (3)

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 9 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Alto risco para o qual esforços substanciais e urgentes devem ser feitos para reduzi-lo a níveis ALARP dentro de um período de tempo definido. É provável que seja necessário um investimento em infraestrutura e os serviços podem precisar ser suspensos ou restritos até que as opções de controle de riscos forem acionadas.

Para o cenário de encalhe encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como frequente (4)
- Consequência classificada como maior (4)

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 16 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Risco muito alto e inaceitável, para o qual substancial e imediata melhoria são necessária. É provável que seja necessário um investimento em infraestrutura e é provável que a hidrovía seja forçada a fechar até que o risco seja reduzido a um nível aceitável.

Para o cenário de colisão temos dois possíveis cenários:

- Uma embarcação que navega no canal à noite atinge um auxílio à navegação, onde encontramos as seguintes características - Probabilidade classificada como frequente (4); Consequência classificada como menor (2).

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 8 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Alto risco para o qual esforços substanciais e urgentes devem ser feitos para reduzi-lo a níveis ALARP dentro de um período de tempo definido. É provável que haja um financiamento significativo necessário e os serviços podem precisar ser suspensos ou restritos até que as opções de controle de riscos forem acionadas.

- Embarcação atinge uma embarcação que navega no canal à noite atinge um auxílio à navegação o cais durante operações, onde encontramos as seguintes características - Probabilidade classificada como raro (2); Consequência classificada como menor (2).

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 4 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Baixo risco, não exigindo opções adicionais de controle de risco, a menos que possam ser implementados a baixo custo em termos de tempo, dinheiro e esforço.

Para o cenário de naufrágio encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como ocasional (3)
- Consequência classificada como grave (3)

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 9 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Alto risco para o qual esforços substanciais e urgentes devem ser feitos para reduzi-lo a níveis ALARP dentro de um período de tempo definido. É provável que seja necessário um

investimento em infraestrutura e os serviços podem precisar ser suspensos ou restritos até que as opções de controle de riscos forem acionadas.

A partir da aplicação do processo SIRA por completo, obtiveram-se as matrizes de resultados, conforme evidenciado na Tabela 21.

Tabela 21 - Matriz de Resultados - Rio Pará

Cenário	Descrição do incidente	Causa Raiz (Perigos)	Descrição das Consequências (Curto Prazo e longo Prazo)	Medidas de Controle de Riscos Existentes	Probabilidade	Consequência	Risco	Opções de Controle de Risco Adicionais
1. Abalroamento								
Abalroamento frontal durante navegação noturna	Dois navios que navegam no canal colidem um no outro	Fatores Humanos	Perda da vida; dano ambiental; perda de embarcações	-	3	3	9	
2. Encalhe								
Encalhe durante navegação	Uma embarcação que navega no canal encalha	Pequenas profundidades, canal estreito, passagem sinuosa; falhas técnicas da tripulação / competência da tripulação; condições climáticas difíceis; Falhas dos auxílios à navegação (luzes apagadas)	Canal bloqueado; recipiente atraso na descarga; perda econômica; danos ambientais (óleo derramamento); lesões (turistas de navios de cruzeiro que acessam o canal em botes)	-	4	4	16	
3. Colisão								
Colisão auxílios navegação com à navegação	Uma embarcação que navega no canal à noite atinge um auxílio à navegação	Pequenas profundidades, canal estreito, passagem sinuosa; falhas técnicas da tripulação / competência da tripulação; condições climáticas difíceis; Falhas dos auxílios à navegação (luzes apagadas)	Danos aos navios; danos aos auxílios à navegação; danos ao meio ambiente; lesões na tripulação	-	4	2	8	
Colisão com o cais	Embarcação atinge o cais durante operações	Vento, competência da tripulação, pânico, descuido da tripulação	Danos à embarcação; dano aos cais; danos às mercadorias	Defensas temporárias no cais e embarcação; Equipamento de proteção individual; limites para operações de embarcações de	2	2	4	

acordo com direção e
velocidade do vento

4. Naufrágio

<p>Naufrágio de embarcação durante operações de descarregamento</p>	<p>Embarcação encalha após operação de carregamento</p>	<p>Carregamento incorreto; condições; decisões da tripulação</p>	<p>Perda econômica (perda de contêineres, perda de barcaça); perda de vidas e lesões</p>	<p>Limites para operações de embarcações de acordo com direção e velocidade do vento</p>	<p>3</p>	<p>3</p>	<p>9</p>
---	---	--	--	--	----------	----------	----------

5.1.2. Rio Tapajós

Como forma de reunir todas as informações descritas na sessão anterior concernente aos estudos de caso, tem-se que a Tabela 22 reúne as principais características referentes ao rio Tapajós.

Tabela 22 - Características Principais - Rio Tapajós

Rio Tapajós		
Extensão (km)		851
Volume de Carga Transportada 2019 (ton)		6.225.204
Auxílio à Navegação	Fixos	4
	Flutuantes	1
	Outros	0
Histórico de Incidentes	2014	6
	2015	7
	2016	3
	2017	3
	2018	4
	2019	6
Praticagem		ZP-01

Para o cenário de abalroamento encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como raro (2);
- Consequência classificada como grave (3).

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 6 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Risco moderado que deve ser reduzido para o mais baixo possível (ALARP) pela implementação de opções adicionais de controle que provavelmente para exigir financiamento adicional.

Para o cenário de encalhe encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como raro (2)
- Consequência classificada como maior (4).

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 8 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Risco moderado

que deve ser reduzido para o mais baixo possível (ALARP) pela implementação de opções adicionais de controle que provavelmente exijam investimento.

Para o cenário de colisão temos dois possíveis cenários:

- Uma embarcação que navega no canal à noite atinge um auxílio à navegação, onde encontramos as seguintes características - Probabilidade classificada como raro (2); Consequência classificada como menor (2).

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 4 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Risco moderado que deve ser reduzido para o mais baixo possível (ALARP) pela implementação de opções adicionais de controle que provavelmente exijam investimento.

- Embarcação atinge uma embarcação que navega no canal à noite atinge um auxílio à navegação o cais durante operações, onde encontramos as seguintes características - Probabilidade classificada como raro (2); Consequência classificada como menor (2).

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 4 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Baixo risco, não exigindo opções adicionais de controle de risco, a menos que possam ser implementados a baixo custo em termos de tempo, dinheiro e esforço.

Para o cenário de naufrágio encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como raro (2);
- Consequência classificada como grave (3).

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 6 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Risco moderado que deve ser reduzido para o mais baixo possível (ALARP) pela implementação de opções adicionais de controle que provavelmente exijam investimento.

Após a aplicação de toda a metodologia SIRA para a referida via navegável, obtiveram-se, como resultados, as informações presentes na Tabela 23, que representa a matriz do rio Tapajós.

Tabela 23 - Matriz de Resultados - Rio Tapajós

Cenário	Descrição do incidente	Causa Raíz (Perigos)	Descrição das Consequências (Curto Prazo e longo Prazo)	Medidas de Controle de Riscos Existentes	Probabilidade	Consequência	Risco	Opções de Controle de Risco Adicionais
1. Abalroamento								
Abalroamento frontal durante navegação noturna	Dois navios que navegam no canal colidem um no outro	Fatores Humanos	Perda da vida; dano ambiental; perda de embarcações	-	2	3	6	
2. Encalhe								
Encalhe durante navegação	Uma embarcação que navega no canal encalha	Pequenas profundidades, canal estreito, passagem sinuosa; falhas técnicas da tripulação / competência da tripulação; condições climáticas difíceis; Falhas dos auxílios à navegação (luzes apagadas)	Canal bloqueado; recipiente atraso na descarga; perda econômica; danos ambientais (óleo derramamento); lesões (turistas de navios de cruzeiro que acessam o canal em botes)	-	2	4	8	
3. Colisão								
Colisão auxílios navegação com à navegação	Uma embarcação que navega no canal à noite atinge um auxílio à navegação	Pequenas profundidades, canal estreito, passagem sinuosa; falhas técnicas da tripulação / competência da tripulação; condições climáticas difíceis; Falhas dos auxílios à navegação (luzes apagadas)	Danos aos navios; danos aos auxílios à navegação; danos ao meio ambiente; lesões na tripulação	-	2	2	4	
Colisão com o cais	Embarcação atinge o cais durante operações	Vento, competência da tripulação, pânico, descuido da tripulação	Danos à embarcação; dano aos cais; danos às mercadorias	Defensas temporárias no cais e embarcação; Equipamento de proteção individual; limites para operações de	2	2	4	

acordo com direção e
velocidade do vento

4. Naufrágio										
Naufrágio de embarcação durante operações de descarregamento	Embarcação Na	Carregamento incorreto; condições; decisões da tripulação	clima	Perda econômica (perda de contêineres, perda de barcaça); perda de vidas e lesões	Limites para operações de embarcações de acordo com direção e velocidade do vento	2	3	6		

Rio Trombetas

Como forma de reunir todas as informações descritas na sessão anterior concernente aos estudos de caso, tem-se que a Tabela 24 reúne as principais características referentes ao rio Tapajós.

Tabela 24 - Características Principais - Rio Trombetas

Rio Trombetas		
Extensão (km)		260
Volume de Carga Transportada 2019 (ton)		9.049.092
Auxílio à Navegação	Fixos	1
	Flutuantes	60
	Outros	2
Histórico de Incidentes	2014	1
	2015	1
	2016	1
	2017	0
	2018	0
	2019	0
Praticagem		ZP-01

Para o cenário de abalroamento encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como muito raro (1)
- Consequência classificada como grave (3)

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 3 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é Baixo risco, não exigindo opções adicionais de controle de risco, a menos que possam ser implementados a baixo custo em termos de tempo, dinheiro e esforço.

Para o cenário de naufrágio encontramos as seguintes características:

- Probabilidade classificada como muito raro (1)
- Consequência classificada como grave (3)

Aplicando os valores acima na matriz de aceitabilidade de risco encontramos o valor de 3 para o critério de risco. No caso acima a ação requerida é de Baixo risco, não exigindo opções adicionais de controle de risco, a menos que possam ser implementados a baixo custo em termos de tempo, dinheiro e esforço.

A partir da aplicação do processo SIRA por completo, obtiveram-se as matrizes de resultados, conforme evidenciado na Tabela 25.

Tabela 25 - Matriz de Resultados - Rio Trombetas

Cenário	Descrição do incidente	Causa Raíz (Perigos)	Descrição das Consequências (Curto Prazo e longo Prazo)	Medidas de Controle de Riscos Existentes	Probabilidade	Consequência	Risco	Opções de Controle de Risco Adicionais
1. Abalroamento								
Abalroamento frontal durante navegação noturna	Dois navios que navegam no canal colidem um no outro	Fatores Humanos	Perda da vida; dano ambiental; perda de embarcações	-	1	3	3	
2. Naufrágio								
Naufrágio de embarcação durante operações de descarregamento	Embarcação encalha após operação de carregamento	Carregamento incorreto; condições; decisões da tripulação	Perda econômica (perda de contêineres, perda de barcaça); perda de vidas e lesões	Limites para operações de embarcações de acordo com direção e velocidade do vento	1	3	3	

6. CONCLUSÕES

Ao analisar os resultados obtidos na matriz de risco para o Rio Amazonas:

- Abalroamento – Risco 9;
- Encalhe – Risco 16;
- Colisão – Risco 8; e
- Naufrágio – Risco 9.

Observa-se a necessidade uma readequação de dos sistemas de balizamento, devidos aos resultados obtidos na avaliação de risco e considerando a atual situação do balizamento, devido ao intenso tráfego de grandes embarcações, um redimensionamento da quantidade dos auxílios à navegação poderia garantir maior segurança para as embarcações.

Para o rio Pará, até o Porto de Vila do Conde, foram obtidos os seguintes resultados:

- Abalroamento – Risco 9;
- Encalhe – Risco 16;
- Colisão – Risco 8; e
- Naufrágio – Risco 4.

O referido rio apresenta um grande volume de embarcações, a partir deste ponto até os estreitos a navegação de grandes embarcações diminui consideravelmente, mas notamos um elevado número de auxílios à navegação, com a necessidade valores elevados para a manutenção, logo se observa a necessidade de otimização e diminuição dos sinais fixos e flutuantes dos sistemas de balizamento deste rio.

Ainda nesse contexto, o rio Tapajós que apresentou os seguintes resultados:

- Abalroamento – Risco 3; w
- Naufrágio – Risco 6.

O rio supracitado apresenta um sistema de balizamento eficiente, mas vale ressaltar o crescente aumento do tráfego de embarcações, pois a região atualmente é a principal via de exportação de grãos da região centro-oeste do país.

Dentro dos cenários apresentados foi constatado no rio Trombetas, que apresenta um sistema de balizamento mantido por uma empresa privada, o sistema de sinalização náutica mais eficaz e eficiente, apresentando um número reduzido de acidentes. Os resultados obtidos na matriz de risco para o rio Tapajós foram os seguintes:

- Abalroamento – Risco 3;
- Naufrágio – Risco 3.

Os rios estudados possuem regiões não hidrografadas ou cartas náuticas desatualizadas, aumentando o risco para navegação além de dificultar o planejamento para novos estabelecimentos de balizamentos.

Vale ressaltar a possibilidade de uso de AIS AtoN de forma experimental, visto que ainda não há normas brasileiras aprofundadas para o uso de tal sistema. O rio Tapajós, que possui um grande tráfego de embarcações, e apresentou baixos valores na sua avaliação de risco devido ao número reduzido de acidentes reportados, apresenta um cenário desejável para a implantação do referido sistema.

É notório que toda essa construção metodológica não abarca todo o conhecimento relativo ao sistema de balizamento dos estudados. Contudo, esse estudo conseguiu analisar e avaliar diversos parâmetros normativos discriminados na NORMAM-17/DHN e IALA para a execução de estabelecimento de sinais náuticos, e através deles, foi possível fazer caracterização e avaliação de risco em quatro vias de importante destaque logístico frente as demandas relativas a exportação de grãos agrícolas, não só a nível regional, quanto a nível nacional.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAM E LEPETIT (2010), Abraham, G., Lepetit, J. P. Methods to predict path of ship: outline of state of the art. *Journal of Hydraulic Research*, v. 16:4, p. 279-295.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Região Hidrográfica Amazônica**. Brasília, [2011]. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/amazonica.aspx>>. Acesso em: 07 dez. 2019.

_____. **Caderno de Recursos Hídricos: A navegação Interior e Sua Interface Com o Setor de Recursos Hídricos**. Brasília: ANA, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (Brasil). **Panorama Aquaviário**. Brasília, jan. 2008. Vol.2. Disponível em: <www.antaq.gov.br>. Acesso em: 7 jul. 2019.

_____. **Empresas Autorizadas**. Brasília, [2012]. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/Portal/Frota/ConsultarEmpresaInteriorAutorizada.aspx>>. Acesso em: 30 nov. 2019.

_____. **Transporte de Cargas nas Hidrovias Brasileiras 2010: Hidrovia do Madeira**. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/Portal/pdf/Hidrovia%20do%20madeira%20-%20transporte%20de%20cargas%20-%20v2%20final.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2019.

_____. **Transporte de Cargas nas Hidrovias Brasileiras 2010: Hidrovia do Amazonas-Solimões**. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/portal/pdf/Transporte%20de%20cargas%20-%20hidrovia%20solimoes%20amazonas%20final.pdf>>. Acesso em 16 dez. 2019.

_____. **Estatísticas da Navegação Interior 2010**. Brasília, [2011b]. Disponível em: <http://www.antaq.gov.br/Portal/Estatisticas_NavInterior.asp> Acesso em: 12 dez. 2019.

ADMINISTRAÇÃO DAS HIDROVIAS DA AMAZÔNIA OCIDENTAL (AHIMOC). Rios da Amazônia ocidental. **Rio Solimões**. [2002]. Disponível em: <<http://www.ahimoc.gov.br/rios/index/ver/id/4>>. Acesso em: 07 dez. 2019.

_____. Rios da Amazônia Ocidental. **Rio Negro**. [2001]. Disponível em: <<http://www.ahimoc.gov.br/rios/index/ver/id/5>>. Acesso em: 07 dez. 2019.

_____. Rios da Amazônia Ocidental. **Rio Madeira**. [1996]. Disponível em: <<http://www.ahimoc.gov.br/rios/index/ver/id/1>>. Acesso em: 07 dez. 2019.

AHADI, K., SULLIVAN, K. M., & MITCHELL, K. N. (2018). Budgeting maintenance dredging projects under uncertainty to improve the inland waterway network performance. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 119, 63–87. doi:10.1016/j.tre.2018.08.013.

AMORIM A.E.A.; MENDONÇA E.T.; TROVATI L.R. Caracterização dos Acidentes em Comboios na Hidrovia Tietê-Paraná. In: 7º SEMINÁRIO DE TRANSPORTE E DESENVOLVIMENTO HIDROVIÁRIO INTERIOR, 2011, Porto Alegre. SOBENA, 2011.

AVEN, T.; ZIO, E. Foundational Issues in Risk Assessment and Risk Management: Perspectives. *Risk Analysis*, v. 34, n. 7, p. 1164–1172, jul. 2014.

AWAL, Z. I.; HASEGAWA, K. A Study on Accident Theories and Application to Maritime Accidents. *Procedia Engineering*, v. 194, p. 298–306, 2017.

AZAMBUJA, J. L. F. Hidrovia da Lagoa Mirim: Um marco de desenvolvimento nos caminhos do Mercosul. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS. Dissertação de mestrado. 2005.

BACCARINI, D.; SALM, G.; LOVE, P. E. D. Management of Risks in Information Technology Projects. *Industrial Management & Data Systems*, v. 104, n. 4, p. 286–295, maio 2004.

BASTOS, M. M. da R. D. **Geografia dos Transportes: Trajetos e conflitos nos percursos fluviais na Amazônia paraense: Um estudo sobre acidentes em embarcações**. 2006. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006. . Acesso em: 17 jun. 2019.

BRETON, D.; BARRY, J.; VANDEHEI, L. Improving Canada’s Marine Navigation System through e-Navigation. *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, v. 4, p. 23–30, jun. 2016.

BYE, R. J.; AALBERG, A. L. Maritime Navigation Accidents and Risk Indicators: An Exploratory Statistical Analysis Using AIS Data and Accident Reports. *Reliability Engineering & System Safety*, v. 176, p. 174–186, ago. 2018.

CHAI, T.; WENG, J.; DE-QI, X. Development of a Quantitative Risk Assessment Model for Ship Collisions in Fairways. *Safety Science*, v. 91, p. 71–83, jan. 2017.

CHEN, P. et al. Probabilistic Risk Analysis for Ship-Ship Collision: State-of-the-Art. *Safety Science*, v. 117, p. 108–122, ago. 2019.

CUNHA, C. B. et al . Epidemiological profile of scalping victim-patients treated at the Fundação Santa Casa de Misericórdia do Pará. *Rev. Bras. Cir. Plást.*, São Paulo , v. 27, n. 1, p. 3-8, mar. 2012. Disponível em . acessos em 10 dez 2018.

DEBNATH, A. K.; CHIN, H. C. Navigational Traffic Conflict Technique: A Proactive Approach to Quantitative Measurement of Collision Risks in Port Waters. **Journal of Navigation**, v. 63, n. 1, p. 137–152, jan. 2010. DEDES, E.K.; HUDSON, D.A.; TURNOCK, S.R. **Investigation of Diesel Hybrid systems for fuel oil reduction in slow speed ocean going ships**. Energy 114, pp 444–456, 2016.

DOS SANTOS, E.S. et al. (2018). “The impact of channel capture on estuarine hydromorphodynamics and water quality in the Amazon delta”. Science of the Total Environment, 624, 887-899.

DIKMEN, I.; BIRGONUL, M. T. An Analytic Hierarchy Process Based Model for Risk and Opportunity Assessment of International Construction Projects. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 33, n. 1, p. 58–68, jan. 2006.

DHN. NORMAM-17/DHN - Normas Da Autoridade Marítima Para Auxílios À Navegação. Diretoria De Hidrografia E Navegação. 5ª REVISÃO, 2021

DOBBINS, J. P.; JENKINS, L. M. Geographic Information Systems for Estimating Coastal Maritime Risk. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2222, n. 1, p. 17–24, jan. 2011.

FILGUEIRAS, T. et al. Seleção via AHP de alternativa para o descarte de efluentes sanitários oriundos de embarcações na região amazônica. In: 27º Congresso Internacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore, **Anais...** In: 27º CONGRESSO INTERNACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO, CONSTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE. Galoa, 2018. Disponível em: <https://proceedings.science/proceedings/100040/_papers/87511>. Acesso em: 13 maio. 2019.

FERREIRA ET AL (2015), Ferreira, Aloisio Caetano; Ottoni, Arthur Benedicto; Ribeiro, Nathalia Dias e Silva, Denis de Souza. Metodologia de análise do potencial de navegação interior em rios de planalto. Estudo de caso do rio Sapucaí-MG e sua interligação com o reservatório de Furnas no Rio Grande. Artigo (2015). GPRH – UNIFEI. Itajaúba - MG, 2015. 10 páginas. Disponível em: < <http://www.evolvedoc.com.br/silusba/download-2015-UEFQMDIwMjgxLnBkZg==> >.

FERREIRA, A. N. & BRINATI, M. A., Estudo do efeito de acidentes na Hidrovia Tietê-Paraná: aspectos preventivos, In: Congresso Panamericano de Engenharia Naval XVI. Anais. Cartagena: 1999.

- GOERLANDT, F.; KUJALA, P. Traffic Simulation Based Ship Collision Probability Modeling. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 96, n. 1, p. 91–107, jan. 2011.
- GOERLANDT, F.; MONTEWKA, J. A Framework for Risk Analysis of Maritime Transportation Systems: A Case Study for Oil Spill from Tankers in a Ship–Ship Collision. **Safety Science**, v. 76, p. 42–66, jul. 2015.
- HAURELHUK, S. S., VALENTE, A. M., 2016. Estudo De Capacidade Do Canal Da Galheta (Porto De Paranaguá). p. 436-451. In: Anais do XVIII Simpósio de Pesquisa Operacional & Logística da Marinha [Blucher Marine Engineering Proceedings, v.2, n.1]. São Paulo: Blucher, 2016. ISSN 2358-5498, DOI 10.5151/marine-spolm2015-140516.
- HÄNNINEN, M.; VALDEZ BANDA, O. A.; KUJALA, P. Bayesian Network Model of Maritime Safety Management. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 17, p. 7837–7846, dez. 2014.
- IALA, I. A. of L. A. **IALA Guideline G1138 - The Use of The Simplified IALA Risk Assessment Method (SIRA)**: Ed. 01. [s.l: s.n.], 2017.
- IALA. International Association of Marine Aids and Lighthouse Authorities. IALA Guidelines n° 1078: The use of aids to navigation in the design of fairways. 2011.
- IALA (2017). IALA Guideline G1138 – The use of the Simplified IALA Risk Assessment Method (SIRA). Edition 1.0 December 2017.
- IALA. (2008). IALA Guideline No. 1062 on the Establishment of AIS as an Aid to Navigation. Edition 1. 6–7.
- IALA. (2010). IALA Guideline No. 1081 On Virtual Aids to Navigation, Edition 1. Saint Germain en Laye, France. 5.
- IALA. (2011). IALA Recommendation A-126 On The Use of the Automatic Identification System (AIS) in Marine Aids to Navigation Services Edition 1.
- IALA. (2014a). IALA International Dictionary of Aids to Marine Navigation as cited in IALA NAVGUIDE Aids to Navigation Manual. 2014. Seventh Edition. 30.
- IALA. (2014b). IALA International Dictionary of Aids to Marine Navigation as cited in IALA NAVGUIDE Aids to Navigation Manual. 2014. Seventh Edition, 75.
- IALA. (2014c). IALA International Dictionary of Aids to Marine Navigation as cited in IALA NAVGUIDE Aids to Navigation Manual. 2014. Seventh Edition. Appendix D: Maritime Buoyage System and Other Aids to Navigation: Historical Perspective. 4.
- IALA. (2014d). IALA International Dictionary of Aids to Marine Navigation as cited in IALA NAVGUIDE Aids to Navigation Manual. 2014. Seventh Edition. 72.

- IQBAL, K. S. et al. Possible Remedies for Intact Stability Hazards Involving Contemporary Small Inland Passenger Ferries in Bangladesh. **Journal of Marine Science and Technology**, v. 13, n. 3, p. 282–290, ago. 2008.
- JIN, D.; THUNBERG, E. An Analysis of Fishing Vessel Accidents in Fishing Areas off the Northeastern United States. **Safety Science**, v. 43, n. 8, p. 523–540, out. 2005.
- KAARSEMAKER E WEILER (2010), Kaarsemaker, M. H. A., Weiler, O. M., Kant, G., Verheij, H. J. Evaluation of Flow Fields for their Impact on Manoeuvring. PIANC MMX Congress. Liverpool UK, 2010.
- KESHK, A. M.; MAAROUF, I.; ANNANY, Y. Special Studies in Management of Construction Project Risks, Risk Concept, Plan Building, Risk Quantitative and Qualitative Analysis, Risk Response Strategies. **Alexandria Engineering Journal**, v. 57, n. 4, p. 3179–3187, dez. 2018.
- KUWAHARA, NETO E ABENSUR (2012), Kuwahara, Nelson; Neto, João Caldas do Lago e Abensur, Themis da Costa. Modelagem de previsão de navegabilidade em rios da Amazônia: ferramenta web de suporte aos usuários do transporte aquaviário. Artigo (2012). Universidade Federal do Amazonas – UFAM/AM-Brasil. *Journal of Transport Literature* (ISSN 2238-1031) Vol. 6, n. 3, pp. 60-89, Jul 2012. Research Directory. 2012. 30 páginas. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2238-10312012000300005&script=sci_abstract&tlng=pt>.
- LEE, M.; JUNG, J.-Y. Risk Assessment and National Measure Plan for Oil and HNS Spill Accidents near Korea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 73, n. 1, p. 339–344, ago. 2013.
- LEHIKONEN, A. et al. Optimizing the Recovery Efficiency of Finnish Oil Combating Vessels in the Gulf of Finland Using Bayesian Networks. **Environmental Science & Technology**, v. 47, n. 4, p. 1792–1799, 19 fev. 2013.
- LI, S.; MENG, Q.; QU, X. An Overview of Maritime Waterway Quantitative Risk Assessment Models: Maritime Waterway Quantitative Risk Assessment Models. **Risk Analysis**, v. 32, n. 3, p. 496–512, mar. 2012.
- LING-CHIN, J.; ROSKILLY, A.P. **Investigating the implications of a new-build hybrid power system for Roll-on/Roll-off cargo ships from a sustainability perspective – A life cycle assessment case study**. *Appl. Energy* 181, 416–434, 2016.
- LINDSTAD, H.E.; SANDAAS, I. **Emission and Fuel Reduction for Offshore Support Vessels through Hybrid Technology**. *J. Ship Prod. Des.* 32, 195–205, 2016.

- LOIS, P. et al. Formal Safety Assessment of Cruise Ships. **Tourism Management**, v. 25, n. 1, p. 93–109, fev. 2004.
- MARINHA DO BRASIL. Cerca de 40 mil embarcações irregulares navegam nos rios do Pará. Ministério da Defesa, 2018. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/sinopse/cerca-de-40-mil-embarcacoes-irregulares-navegam-nos-rios-do-para>. Acesso: 06 de dezembro de 2018.
- MAZAHERI, A.; MONTEWKA, J.; KUJALA, P. Modeling the Risk of Ship Grounding—a Literature Review from a Risk Management Perspective. **WMU Journal of Maritime Affairs**, v. 13, n. 2, p. 269–297, out. 2014.
- MENESCAL, R. de A. et al. **Boletim informativo aquaviário**. Brasília: Agência Nacional de Transporte Aquaviário (ANTAQ), 1 jan. 2016. .
- MENESCAL, R.A.; SERRA, F.A.C.; KIRCHNER, L.H.C.; SILVA, F.M.L.; CORTES, R.M.; CUNHA, M.G.A. **Boletim informativo aquaviário**. Agência Nacional de Transporte Aquaviário (ANTAQ), Brasília, 2016
- MIHIC, S., GOLUSIN, M., MIHAJLOVIC, M., 2011. Policy and promotion of sustainable inland waterway transport in Europe-Danube River, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15 (4), pp. 1801–1809.
- Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Caderno da Região Hidrográfica Atlântico Sul – Brasília: MMA, 2006.
- MONTEWKA, J. et al. Probability Modelling of Vessel Collisions. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 95, n. 5, p. 573–589, maio 2010.
- MULLAI, A.; PAULSSON, U. A Grounded Theory Model for Analysis of Marine Accidents. **Accident Analysis & Prevention**, v. 43, n. 4, p. 1590–1603, jul. 2011.
- OSNIN, N. A.; ABDUL RAHMAN, N. S. F. Assessment and Ranking of Inland Navigation Practices in Malaysia: The Case of Kenyir Lake. **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, v. 34, n. 4, p. 289–296, dez. 2018.
- OZBAS, B. Safety Risk Analysis of Maritime Transportation: Review of the Literature. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2326, n. 1, p. 32–38, jan. 2013.
- OZTURK, U.; CICEK, K. Individual Collision Risk Assessment in Ship Navigation: A Systematic Literature Review. **Ocean Engineering**, v. 180, p. 130–143, maio 2019.

PADOVEZI, Carlos Daher. Conceitos de Embarcações Adaptados à Via Aplicado à Navegação Fluvial no Brasil. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil, 2003.

PADOVEZI, C. D., Avaliação de riscos do transporte fluvial de passageiros na Região Amazônica. In: 24o Congresso Nacional de Transporte Aquaviário, Construção Naval e Offshore Amazônica. Anais. Rio de Janeiro: 2012.

PAULAUSKAS (2012), Paulauskas, V., Paulauskas, D. Evaluating the width of navigational channels. *Transport*, v. 28:2, p. 166-174.

PRŠIĆ, CAREVIĆ E DAVOR (2011), Pršić, Marko; Carević, Dalibor and Brcić, Davor. Determining inland waterway parameters with application to the sava river. Artigo (2011). Traffic Infrastructure. Faculty of Transport and Traffic Sciences Vukelićeva 4, HR-10000 Zagreb, Croatia. Review, 2011. 08 páginas. Disponível em: < <http://hrcak.srce.hr/file/122041> >. (ARTIGO)

PIANC (2014), Permanent International Association of Navigation Congresses – PIANC. Harbour Approach Channels Design Guidelines. PIANC Report n° 121 Maritime Navigation Commission. Report (2014). PIANC Secrétariat Général Boulevard du Roi Albert II 20, B 3 B-1000 Bruxelles Belgique. 320 páginas.

PIRES F.C.M.; ASSIS L.F.; SOUZA C.M. A Regulamentação no Transporte Hidroviário de Passageiros: O Caso da Amazônia. In: 21º CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO, CONSTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE, 2006, Rio de Janeiro. SOBENA, 2006.

POJO, E. C.; ELIAS, L. G. D.; VILHENA, M. D. N. AS ÁGUAS E OS RIBEIRINHOS – BEIRANDO SUA CULTURA E MARGEANDO SEUS SABERES. **Revista Margens Interdisciplinar**, v. 8, n. 11, p. 176, 10 ago. 2014.

PSARAFTIS, H. N. Formal Safety Assessment: An Updated Review. **Journal of Marine Science and Technology**, v. 17, n. 3, p. 390–402, set. 2012.

QU, X.; MENG, Q.; LI, S. Analyses and Implications of Accidents in Singapore Strait. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, v. 2273, n. 1, p. 106–111, jan. 2012.

QU, X.; MENG, Q.; SUYI, L. Ship Collision Risk Assessment for the Singapore Strait. **Accident Analysis & Prevention**, v. 43, n. 6, p. 2030–2036, nov. 2011.

RAHMAN, N. S. F. A.; NAJIB, A. F. A. Selection of the Most Practical Malaysian Port for Enhancing the Malaysia-China Kuantan Industrial Park Business Trade. **International Journal of Shipping and Transport Logistics**, v. 9, n. 4, p. 500, 2017.

RAHMAN, S. An Analysis of Passenger Vessel Accidents in Bangladesh. **Procedia Engineering**, v. 194, p. 284–290, 2017.

RONZA, A. et al. Predicting the Frequency of Accidents in Port Areas by Developing Event Trees from Historical Analysis. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 16, n. 6, p. 551–560, nov. 2003.

SAKALIS, G.N.; FRANGOPOULOS, C.A. **Intertemporal optimization of synthesis, design and operation of integrated energy systems of ships: General method and application on a system with Diesel main engines**. Appl. Energy 226, 991–1008, 2018.

SCHACHTER R.D.; PIRES F.C.M. Requisitos de Segurança, Conforto, Higiene e Meio Ambiente para Embarcações de Passageiros para a Amazônia. In: 22º CONGRESSO NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO, CONSTRUÇÃO NAVAL E OFFSHORE, 2008, Rio de Janeiro. SOBENA, 2008.

SRHU, SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE URBANO. Caderno da região hidrográfica amazônica. Brasília, Brasil: MMA, Ministério do Meio Ambiente do Brasil, 2006.

SANG, L. et al. A Novel Method for Restoring the Trajectory of the Inland Waterway Ship by Using AIS Data. **Ocean Engineering**, v. 110, p. 183–194, dez. 2015.

SANTANA E TACHIBANA (2004), Santana, Walter Aloisio e Tachibana, Toshi-ichi. Caracterização dos elementos de um projeto hidroviário, vantagens, aspectos e impactos ambientais para a proposição de metodologias técnico-ambientais para o desenvolvimento do transporte comercial de cargas nas hidrovias brasileiras. Artigo (2004). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. São Paulo/SP-Brasil, 2004. 11 páginas. Disponível em: <http://www.uff.br/engevista/3_6Engevista6.pdf>.

SAWANO, N.; HAMADA, S.; AROLA, T. Analysis of vessel traffic and safety assessment of the Soya Strait. In: Antwerp, Belgium. **Anais...** In: SAFE 2011. Antwerp, Belgium: 4 jul. 2011. Disponível em: <<http://library.witpress.com/viewpaper.asp?pcode=SAFE11-032-1>>. Acesso em: 20 set. 2019.

SEGOVIA, P., RAJAOARISOA, L., NEJARI, F., DUVELLA, E., & PUIG, V. (2019). Model predictive control and moving horizon estimation for water level regulation in inland waterways. *Journal of Process Control*, 76, 1–14. doi:10.1016/j.jprocont.2018.12.017

SILVA (2015), Silva, Pedro José da. Canais navegáveis, parâmetros e critérios de dimensionamento. Artigo (2015). 9º Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior, Manaus, 6 a 8 de outubro de 2015. Instituto Mauá de Tecnologia. 11 páginas. Disponível em: <
https://www.researchgate.net/publication/282443781_CANAIS_NAVEGAVEIS_PARAMETROS_E_CRITERIOS_DE_DIMENSIONAMENTO>.

SMITH, T. **Technical energy efficiency, its interaction with optimal operating speeds and the implications for the management of shipping's carbon emissions**. Carbon Manag. 3, 589–600, 2012.

TALAVERA, A. et al. Application of Dempster–Shafer Theory for the Quantification and Propagation of the Uncertainty Caused by the Use of AIS Data. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 111, p. 95–105, mar. 2013.

TALLURI, L.; NALIANDA, D.K.; KYPRIANIDIS, K.G.; NIKOLAIDIS, T.; PILIDIS, P. **Techno economic and environmental assessment of wind assisted marine propulsion systems**. Ocean Eng. 121, 301–311, 2016.

TEIXEIRA, C.A.N.; ROCIO, M.A.R.; AMARAL, A.P; OLIVEIRA, L.A.S. **Brazilian inland navigation**. BNDES Setorial 437–482, 2018.

UDDIN, Md. I. et al. An Analysis of Accidents in the Inland Waterways of Bangladesh: Lessons from a Decade (2005-2015). **Procedia Engineering**, v. 194, p. 291–297, 2017.

VALDEZ BANDA, O. A. et al. A Risk Analysis of Winter Navigation in Finnish Sea Areas. **Accident Analysis & Prevention**, v. 79, p. 100–116, jun. 2015.

VANDER HOORN, S.; KNAPP, S. A Multi-Layered Risk Exposure Assessment Approach for the Shipping Industry. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 78, p. 21–33, ago. 2015.

VIDAN, P., KASUM, J., & JOLIÆ, N. A proposal for the models and measures of search and rescue on inland waterways. Transport, vol. 25(2), p. 178–185. 2010.

WANG, J. et al. An Analysis of Fishing Vessel Accidents. **Accident Analysis & Prevention**, v. 37, n. 6, p. 1019–1024, nov. 2005.

WANG, Y. et al. A Spatial–Temporal Forensic Analysis for Inland–Water Ship Collisions Using AIS Data. **Safety Science**, v. 57, p. 187–202, ago. 2013a.

WANG, Y. F. et al. Accident Analysis Model Based on Bayesian Network and Evidential Reasoning Approach. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 26, n. 1, p. 10–21, jan. 2013b.

WAL, Z. I. A study on inland water transport accidents in Bangladesh: Experience of a decade (1995-2005). *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects Part B: International Journal of Small Craft Technology*, v. 149, n. 2, p. 35–40, 2007.

WENG, J.; XUE, S. Ship Collision Frequency Estimation in Port Fairways: A Case Study. ***Journal of Navigation***, v. 68, n. 3, p. 602–618, maio 2015.

XIAO, F. et al. Artificial Force Fields for Multi-Agent Simulations of Maritime Traffic: A Case Study of Chinese Waterway. ***Procedia Engineering***, v. 45, p. 807–814, 2012.

XIAO, F. et al. Comparison Study on AIS Data of Ship Traffic Behavior. ***Ocean Engineering***, v. 95, p. 84–93, fev. 2015.

ZAMAN, M. B. et al. Development of Risk Based Collision (RBC) Model for Tanker Ship Using AIS Data in the Malacca Straits. ***Procedia Earth and Planetary Science***, v. 14, p. 128–135, 2015a.

ZAMAN, M. B. et al. Risk of Navigation for Marine Traffic in the Malacca Strait Using AIS. ***Procedia Earth and Planetary Science***, v. 14, p. 33–40, 2015b.

ZHANG, D., Challenges and New Developments in Maritime Risk Assessment, In: *Probabilistic Safety Assessment and Management, PSAM12. Anais. Honolulu, Hawaii: 2014*

ZHANG, D. et al. Incorporation of Formal Safety Assessment and Bayesian Network in Navigational Risk Estimation of the Yangtze River. ***Reliability Engineering & System Safety***, v. 118, p. 93–105, out. 2013.

ZHANG, D. et al. Use of Fuzzy Rule-Based Evidential Reasoning Approach in the Navigational Risk Assessment of Inland Waterway Transportation Systems. ***Safety Science***, v. 82, p. 352–360, fev. 2016.

ZHANG, W. et al. A Method for Detecting Possible near Miss Ship Collisions from AIS Data. ***Ocean Engineering***, v. 107, p. 60–69, out. 2015.

ZHAO, F.; YANG, W.; TAN, W.W.; YU, W.; YANG, J.; CHOU, S.K. **Power management of vessel propulsion system for thrust efficiency and emissions mitigation**. *Appl. Energy* 161, 124–132, 2016.

ZHENG, C.; ZHANG, Q. Fuzzy Comprehensive Evaluation Method of the Highway Engineering Project Management Performance. In: *2010 International Conference on Management and Service Science, Wuhan, China. Anais... In: 2010 INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT AND SERVICE SCIENCE (MASS 2010). Wuhan, China: IEEE, ago. 2010. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5576155/>>. A*

8. APÊNDICES

APÊNDICE 1: LISTA DE AUXÍLIOS À NAVEGAÇÃO – RIO PARÁ E ESTREITOS

Tabela 26 - Lista de Auxílios à Navegação - Fixos e Flutuantes - Rio Pará e Estreitos

Nº DE ORDEM E Nº INTERNACIONAL	LOCAL NOME CARTA NÁUTICA CLASSIFICAÇÃO	POSICÃO	CARACTERÍSTICA		ALTTITUDE	ALCANCES LUMINOSO E GEOGRÁFICO	DESCRIÇÃO E ALTURA	OBSERVAÇÕES
			PERÍODO DETALHADA INTENSIDADE	FASE				
149.4	– Quiriri (Águas Seguras) 302	00 12,20 47 50,61	LpL B. 10s B. 2,0 – Ecl.8,0 218			8	Faixas verticais encarnadas e brancas	
149.42	– Quiriri nº 1 302	00 15,40 47 56,71	Lp. E. 5s E. 0,5 – Ecl.4,5 49			5	Encarnada	
149.43	– Quiriri nº 2 302	00 19,20 47 59,71	Lp. V. 5s V. 0,5 – Ecl. 4,5 49			5	Verde	
149.44	– Quiriri nº 3 302	00 18,00 47 59,70	Lp. E. 5s E.0,5 – Ecl. 4,5 49			5	Encarnada	
149.46	– Quiriri nº 4 303	00 23,00 48 06,50	Lp (2) V. 5s V.0,5 – Ecl.0,5 V.0,5 – Ecl.3,5 49			5	Verde	
149.48	– Quiriri nº 5 315	00 56,20 48 26,81	Lp. E. 5s E.0,5 – Ecl. 4,5 49			5	Encarnada	
149.50	– Quiriri nº 6 303	00 25,50 48 11,50	Lp. V. 5s V.0,5 – Ecl.4,5 49			5	Verde	
149.52	– Quiriri nº 8 315	00 50,60 48 28,42	Lp (2) V. 5s V.0,5 – Ecl.0,5 V.0,5 – Ecl.3,5 49			5	Verde	
149.54	– Quiriri nº 10 315	00 55,65 48 26,68	Lp. V. 5s V.0,5 – Ecl.4,5 49			5	Verde	
149.56	– Quiriri nº 12 315	00 56,80 48 26,10	Lp. V. 5s V.0,5 – Ecl.4,5 49			5	Verde	
150	– Boia nº 2 302	00 24,3047 50,06	Lp (3) V.12s V. 0,3 – Ecl. 1,7 V. 0,3 – Ecl. 1,7V. 0,3 – Ecl. 7,7 39			5	Verde	
151	– Boia nº 1 302	00 24,53 47 55,16	Lp. E. 5s E. 0,5 – Ecl. 4,5 37			5	Encarnada	
152	– Boia nº 3 302	00 27,30 47 57,91	Lp. E. 3s E. 0,5 – Ecl. 2,5 37			5	Encarnada	
153	– Boia nº 4 302	00 25,30 47 53,26	Lp (2) V. 6s 107 0,3 – Ecl. 0,9 V. 0,3 – Ecl. 4,5 39			5	Verde	
153.2	– Boia nº 6 302	00 25,73 47 55,01	Lp.V. 5s V. 0,5 – Ecl. 4,5 39			5	Verde	

153.4	- Boia nº 8 302	00 28,06 47 57,26	Lp.V. 3s V. 0,5 – Ecl. 2,5 39		5	Verde	
156 G 0018	Ponta da Tijoca 302	00 33,44 47 53,85	Lp (2) B. 10s B. 0,5 – Ecl. 1,0 B. 0,5 – Ecl. 8,0 1022	35 18	19	Torre quadrangular em treliça metálica, com faixas horizontais encarnadas e brancas 5	Setor de visibilidade 085° – 265° (180°) Racon B (–...) Bandas S e X
158 G 0019	Coroa das Gaivotas 302	00 34,65 48 01,81	Lp.V 10s V. 1,0 – Ecl. 9,0 600	8 8	9	Tubo metálico, com faixas horizontais verdes e brancas 8	
160 G 0020	Taipu 302	00 39,71 48 02,63	Lp (3) B. 15s B. 0,5 – Ecl. 1,0 B. 0,5 – Ecl. 1,0 B. 0,5 – Ecl. 11,5 2499	39 16	17	Armação tronco piramidal quadrangular metálica, branca, com placa de visibilidade 30	
164 G 0021	Ponta Maria Teresa 303	00 46,56 48 09,14	Lp. B. 6s B.1,0 – Ecl. 5,0 2036	42 15	18	Torre quadrangular em treliça metálica revestida com placas de alumínio, branca 40	Setor de visibilidade 057° – 221° (164°)
167 G 0021.5	Soure 315	00 44,53 48 30,37	Lp (2) B. 10s B. 1,0 – Ecl. 1,0 B. 1,0 – Ecl. 7,0 2162	35 16	20	Torre quadrangular de concreto armado, com faixas encarnadas e brancas 30	
168 G 0022	Salvaterra 315	00 45,16 48 30,48	Lp. B. 3s B. 0,5 – Ecl. 2,5 350	14 5	15	Armação tronco piramidal quadrangular metálica, branca, com placa de visibilidade 8	
172 G 0024	Joanes 315	00 52,86 48 30,47	Lp. B. 10s B. 1,0 – Ecl. 9,0 1696	23 14	14	Armação tronco piramidal quadrangular metálica, branca, com placa de visibilidade 17	
176 G 0028	Colares 315	00 55,08 48 17,51	Lp (2) B. 6s B. 0,5 – Ecl. 1,0	14 10	11	Tubo metálico branco, sobre base de	

				B. 0,5 – Ecl. 4,0 340			concreto armado, com placa de visibilidade 10	
0029	Coroa Grande	01 01,68	Lp (3) B.12s B.	18	12	Estrutura tubular metálica, branca 11	Setor de visibilidade 255° – 031° (136°)	
	304	48 35,75	0,5 – Ecl. 1,5 B. 0,5 – Ecl. 1,5 B. 0,5 – Ecl. 7,5 340	10				
184	Chapéu Virado	01 08,12	Iso. V. 2s V. 1,0 –	11	11	Tube metálico branco, sobre base de concreto armado, com placa de visibilidade com faixas brancas e encarnadas 10		
G 0030	304	48 28,14	Ecl. 1,0 531	13				
188	Tatuoca	01 11,22	Lp. E. 6s E. 0,5 –		5	Encarnada	Refletor radar	
	304	48 29,50	Ecl. 5,5 42					
192	Tatuoca	01 11,97	R (2) B. 6s B. 0,3	12	11	Armação tronco piramidal quadrangular em treliça metálica, branca, com placa de visibilidade 11	Setor de visibilidade 081° – 301° (220°)	
G 0034	304	48 30,32	– Ecl. 0,9 B. 0,3 – Ecl. 4,5 288	9				
196	Molhe Oeste	01 16,47	F. V.				Luz particular	
G 0035.2	304	48 29,25						
200	Molhe Leste	01 16,35	R. V. 1s V. 0,5 –				Luz particular	
G 0035.3	304	48 29,05	Ecl. 0,5					
204	Icoaraci	01 17,75	Lp. V. 6s V. 0,3 –		5	Verde	Refletor radar	
	304	48 29,62	Ecl. 5,7 19					
204.2	Tapanã	01 18,59	Lp. E. 3s E. 0,5 –			Encarnada		
	304	48 29,98	Ecl. 2,5 5					
205.2	Periquito BE	01 20,40	Lp. E. 3s E. 0,5 –		5	Encarnada		
	304	48 29,57	Ecl. 2,5 49					
206	Pedras da Barra	01 22,27	Lp. V. 3s V. 0,5 –			Verde		
	320	48 29,49	Ecl. 2,5 5		5			
206	.4 Ilha da Barra	01 21,78	Lp. E. 6s E. 0,5 –		5	Encarnada		
	304	48 29,61	Ecl. 5,5 49					
208 G 0038	Forte da Barra	01 22,65	R. B. 1s B. 0,5 –	13	12	Torre tronco piramidal quadrangular de concreto armado, com placa de visibilidade, branca 12		
	320	48 29,56	Ecl. 0,5 240	9				
212	Pedras do Forte	01 22,86	Lp. V. 3s V. 0,3 –		5	Verde	Refletor radar	
	320	48 29,75	Ecl. 2,7 39					
214	Ilha das Onças320	01 23,15	R (3) B. 10s B.		5	Preta com faixa larga horizontal amarela		
		48 31,80	0,4 – Ecl. 0,6 B. 0,4 – Ecl. 0,6 B. 0,4 – Ecl. 7,6 45					

216	Pedras Val-de-Cães Norte 320	01 23,41 48 29,71	R. B. 1s B. 0,3 – Ecl. 0,7 62	5	Preta sobre amarela	
220	Val-de-Cães 320	01 23,50 48 29,80	Lp. V. 3s V. 0,3 – Ecl. 2,7 38	5	Verde	Refletor radar
222	Pedras Val-de-Cães Sul 320	01 23,58 48 29,77	MR (6) B. + LpL. B. 10s B. 0,2 – Ecl. 0,3 B. 2,0 – Ecl. 5,0 53	5	Amarela sobre preta	Refletor radar
206	Pedras da Barra 320	01 22,27 48 29,49	Lp. V. 3s V. 0,5 – Ecl. 2,5 5	5	Verde	
206	.4 Ilha da Barra 304	01 21,78 48 29,61	Lp. E. 6s E. 0,5 – Ecl. 5,5 49	5	Encarnada	
208 G 0038	Forte da Barra 320	01 22,65 48 29,56	R. B. 1s B. 0,5 – Ecl. 0,5 240	13 9	Torre tronco piramidal quadrangular de concreto armado, com placa de visibilidade, branca 12	
212	Pedras do Forte 320	01 22,86 48 29,75	Lp. V. 3s V. 0,3 – Ecl. 2,7 39	5	Verde	Refletor radar
214	Ilha das Onças 320	01 23,15 48 31,80	R (3) B. 10s B. 0,4 – Ecl. 0,6 B. 0,4 – Ecl. 0,6 B. 0,4 – Ecl. 7,6 45	5	Preta com faixa larga horizontal amarela	
216	Pedras Val-de-Cães Norte 320	01 23,41 48 29,71	R. B. 1s B. 0,3 – Ecl. 0,7 62	5	Preta sobre amarela	
220	Val-de-Cães 320	01 23,50 48 29,80	Lp. V. 3s V. 0,3 – Ecl. 2,7 38	5	Verde	Refletor radar
224 G 0039	– Belém 320	01 23,34 48 28,82	Aero Lp. Alt. B.V.		Armação metálica, com faixas horizontais encarnadas e brancas 17	Pertence ao Com. Aer .
228 G 0040	– Cais de Óleo 320	01 24,18 48 29,66	F. A.		Poste metálico, amarelo	Luz particular
232 G 0041	– Trapiche 320	01 24,60 48 29,64	F. A.			Luz particular
236	– Porto de Belém nº 1 320	01 24,46 48 29,90	Lp. E. 3s E. 0,3 – Ecl. 2,7 45	5	Encarnada	Refletor radar
238	– Porto de Belém nº 2 320	01 25,73 48 29,62	Lp. V. 3s V. 0,3 – Ecl. 2,7 41	5	Verde	
240	– Porto de Belém nº 3 320	01 25,31 48 29,75	Lp. E. 3s E. 0,3 – Ecl. 2,7 45	5	Encarnada	Refletor radar

244	– Porto de Belém nº 5 320	01 25,66 48 29,69	Lp. E. 3s E. 0,3 – Ecl. 2,7 45	5		Encarnada	Refletor radar
248	– Porto de Belém nº 7 320	01 26,35 48 29,77	Lp. E. 3s E. 0,3 – Ecl. 2,7 45	5		Encarnada	Refletor radar
252	– Porto de Belém nº 9 320	01 26,80 48 30,05	Lp. E. 3s E. 0,3 – Ecl. 2,7 45	5		Encarnada	Refletor radar
224 G 0039	– Belém 320	01 23,34 48 28,82	Aero Lp. Alt. B.V.			Armação metálica, com faixas horizontais encarnadas e brancas 17	Pertence ao Com. Aer .
0042	– Edifício Notável 320	01 27,27 48 29,52	R. B.				Luz particular
264	– Torre Notável 320	01 28,58 48 29,09	F. E.			Torre tronco piramidal quadrangular em treliça metálica	Luz particular
268	– Arsenal 320	01 27,87 48 30,59	R (9) B. 15s B. 0,3 – Ecl. 0,7 B. 0,3 – Ecl. 6,7 39	5		Amarela com uma faixa larga horizontal preta	
269	Belém 320	01 27,92 48 30,32	Lp. B. 20s B.0,5 – Ecl. 19.5	45 15	15	Torre quadrangular metálica com duas varandas na cor verde 42	
284 G 0044	Arari 304	01 11,52 48 44,52	Lp. B. 6s B. 0,5 – Ecl. 5,5 397	12 10	11	Tubo metálico sobre base de concreto armado, branco, com placa de visibilidade 10	Setor de visibilidade 230° – 350° (120°) 288
G 0036	Cotijuba 304	01 16,00 48 33,76	Lp. B. 6s B. 0,5 – Ecl. 5,5 190	10 9	11	Tubo metálico sobre base de concreto armado, com placa de visibilidade	Setor de visibilidade 334° – 147° (173°)
292 G	Carnapijó 304	01 21,83	Lp (2) B. 10s	8	10	Tubo metálico	

0045		48 38,80	B. 1,0 – Ecl. 1,5 B. 1,0 – Ecl. 6,5 279	8		sobre base de concreto armado, branco, com placa de visibilidade 8	
296 G 0045.4	Pedra do Machadinho 304	01 22,60 48 38,57	Lp (3) B. 10s B. 1,0 – Ecl. 1,0 B. 1,0 – Ecl. 1,0 B. 1,0 – Ecl. 5,0 108	8 7	9	Tubo metálico sobre base de concreto armado, com faixas horizontais encarnadas e brancas 5	
300 G 0046	Arrozal 304	01 27,53 48 42,16	R (2) B. 6s B.0,3–Ecl.0,9 B.0,3–Ecl.4,5 336	10 10	11	Tubo metálico com placa de visibilidade, branco 7	Setor de visibilidade 345° – 174° (189°)
302 G 0047	Boca do Furo do Arrozal 304	01 27,87 48 42,57	Lp (2) B. 5s B.0,3 –Ecl. 0,8 B.0,3–Ecl. 3,6 353	11 9	10	Tubo metálico com faixas horizontais encarnadas e pretas 8	
304 G 0048	Pedra da Manteiga 304	01 28,47 48 42,51	Lp. V. 3s V.0,3–Ecl.2,7 55	5 5	9	Torre tronco piramidal quadrangular de concreto armado com placa de visibilidade, branca 5	
306	Pedra do Arrozal 304	01 29,53 48 39,05	R (2) E. 6s E.0,3 –Ecl.0,9 E.0,3–Ecl.4,5 28		5	Encarnada	Refletor radar
308 G 0052	Itaguari 304	01 25,54 48 49,01	Lp. B. 5s B.0,5–Ecl.4,5 198	12 9	11	Torre quadrangular de concreto armado, branca 12	Tem pequena Inclinação
310	Baixo do Macau 321	01 30,60 48 47,25	Lp (2+1) V. 6s V. 0,5 – Ecl. 0,5 V. 0,5 – Ecl. 1,5 V. 0,5 – Ecl. 2,5 49		5	Verde com uma faixa larga horizontal encarnada	
312 G 0050	Capim 304	01 33,31 48 51,89	Lp. B. 3s B.0,3–Ecl.2,7 336	8 10	10	Tubo metálico com placa de visibilidade, branco 7	Setor de visibilidade 066° -246° (180°)
312.4	Albrás 321	01 32,65 48 45,57	Lp. E. 3s E.0,3–Ecl.2,7 39		5	Encarnada	

314 G 0049	Pedra Grande 321	01 33,21 48 45,77	R (9) B. 15s B. 0,5 – Ecl. 0,5 B. 0,5 – Ecl. 6,5 62	12 5	11	Tubo metálico com placa de visibilidade, amarelo com uma faixa larga horizontal preta 11	Refletor radar Marca de tope
315	Pedra do Meio 321	01 34,16 48 47,75	Lp(2) B.5s B. 0,5 – Ecl. 1,0 B. 0,5 – Ecl. 3.0 6		6	Preta com faixas largas horizontais encarnadas	
316	Siripana 304	01 39,15 48 53,47	Lp. V. 5s V. 0,5 – Ecl. 4,5 39		5	Verde	
318 G 0053	Atuá 305	01 33,05 49 00,42	Lp. E. 6s E. 0,5 – Ecl. 5,5 87	7 6	13	Tubo metálico sobre base quadrangular de concreto armado, encarnado 5	
319	Marapatá 305	01 37,20 49 03,12	R. B. 1s B. 0,3 – Ecl. 0,7 69		5	Preta sobre amarela	
319.2 G 0053.5	Tucumanduba 305	01 42,80 49 02,66	Lp. B. 5s B. 0,5 – Ecl. 4,5 163		8 11	Tubo metálico sobre base de concreto armado, branco 9	
319.3	Piramenha 305	01 42,10 49 06,52	Lp. V. 6s V. 0,5 – Ecl. 5,5 5		5	Verde	
320	– Banco do Otelo 305	01 36,93 49 06,52	Lp. V. 3s V. 0,5 – Ecl. 2,5 50		5	Verde	Refletor radar
328	– Boia nº 1 305	01 37,90 49 09,77	Lp. E. 3s E. 0,5 – Ecl. 2,5 47		5	Encarnada	Refletor radar
345 G 0055.45	Yacumana 305	01 39,00 49 15,70	Lp. B. 6s B. 1,0 – Ecl. 5,0 166	10	8 10	Chaminé elíptica metálica de navio soçobrado, com faixas horizontais verdes e brancas.	

345.1	Ponta do Frechal 305	01 43,41 49 16,68	Lp.V. 10s V. 1,0 – Ecl. 9,0 240	23	9	9 Torre tronco piramidal quadrangular em treliça metálica com placa de visibilidade, branca. 20 Verde
346	Banco do Frechal 305	01 43,74 49 14,05	R (2) V. 3s V. 0,5 – Ecl. 0,5 V. 0,5 – Ecl. 1,5 49		5	Verde
347	Banco Jupatituba Sueste 305	01 43,50 49 10,32	R (3) B. 10s B. 0,3 – Ecl. 0,7 B. 0,3 – Ecl. 0,7 B. 0,3 – Ecl. 7,7 69		5	Preta com uma faixa larga horizontal amarela
347.1	Banco Jupatituba Sudoeste 305	01 43,50 49 13,52	Lp. E. 6s E.0,5 – Ecl. 5,5 49		5	Encarnada
350 G 0055.5	Jararaquinha 305	01 41,38 49 24,35	R (2) B. 6s B. 0,5 – Ecl. 0,5 B. 0,5 – Ecl. 4,5 340	10 10	11	Tubo metálico com placa de visibilidade, branco
351	Pedras Santo Antônio 305	01 44,90 49 29,22	R (6) B. + LpL. B. 15s B. 0,3 – Ecl. 0,7 B. 2,0 – Ecl. 7,0 69		5	Amarela sobre preta
352 G 0055.7	Antena Embratel 305	01 43,13 49 31,77	F. E.			Luz particular
353	Pedras Curralinho 306	01 49,50 49 47,80	R (6) B.+LpL. B. 15s B. 0,3 – Ecl. 0,7 B. 2,0 – Ecl. 7,0 69		5	Amarela sobre preta
354 G 0055.9	Mucuras 306	01 50,50 49 49,60	R. B. 1s B. 0,3 – Ecl. 0,7 232	19 8	12	Torre em treliça metálica com base tronco piramidal encimada por

							seções quadrangulares, preta sobre amarela, com placa de visibilidade 17	
355	Banco Nova 306	Ilha 01 49,50 49 52,70	Lp (2+1) E. 12s E. 0,5 – Ecl. 0,5 E. 0,5 – Ecl. 2,5 E. 0,5 – Ecl. 7,5 49		5		Encarnada com uma faixa larga horizontal verde	
356 G 0056	Camaleão 306	01 49,18 49 56,76	Lp. B. 3s B. 0,3 – Ecl. 2,7 336	13 10	12		Torre tronco Setor de piramidal visibilidade quadrangular 089° – 287° em treliça (198°) metálica com placa de visibilidade, branca 11	
357.3	Ponta do Tapera 306	01 48,00 50 00,40	Lp. V. 6s V. 0,5 – Ecl. 5,5		5		Verde	
358	Itaboca 306	01 47,70 50 01,80	Lp. E.6s E. 0,5 – Ecl. 5,5 49		5		Encarnada	
360 G 0056.5	Ilha das Araras 306	01 48,65 50 08,91	Lp. B. 6s B. 0,5 – Ecl. 5,5 136	13 8	12		Torre Setor de quadrangular visibilidade metálica com 269° – 099° placa de (190°) visibilidade, branca 11	
362	Banco Sapateiro 306	01 48,10 50 15,00	R (6) B. + LpL. B. 15s B. 0,3 – Ecl. 0,7 B. 2,0 – Ecl. 7,0 69		5		Amarela sobre preta	
372	– Banco Siriri 4341	01 48,17 50 17,50	R (3) B. 10s B. 0,4 – Ecl. 0,6 B. 0,4 – Ecl. 0,6 B. 0,4 – Ecl. 7,6 91		5		Preta com uma Refletor radar faixa larga horizontal amarela	
376	– Corcovado 4341	01 38,82 50 31,95	2 F. B.				Caixa-d'água Luz particular cilíndrica sobre base tronco piramidal quadrangular em treliça metálica	
380	– Boiçu 4341	01 48,49	Lp. B.	13 4	12		Tubo metálico Setor de	

G 0058		50 18,42	3s			com placa de visibilidade
			B. 0,3 – Ecl. 2,7			visibilidade, 086° – 277°
			480			branco 10 (191°)
384	– Banco Vira-	01 43,40	Lp (2 + 1) V.	5		Verde com
	Saia 4341	50 33,90	12s			uma faixa larga
			V. 1,0 – Ecl. 1,0			horizontal
			V. 1,0 – Ecl. 3,0			encarnada
			V. 1,0 – Ecl. 5,0			
			34			
