



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
CURSO DE ENGENHARIA HÍDRICA

**CASSIANO RIBEIRO MICHELON**

ESTUDO DE CASOS DE ACIDENTES DE NAVEGAÇÃO NA HIDROVIA  
DO RIO GUAÍBA

Porto Alegre

Agosto 2023

**CASSIANO RIBEIRO MICHELON**

**ESTUDO DE CASOS DE ACIDENTES DE NAVEGAÇÃO NA HIDROVIA  
DO RIO GUAÍBA**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Hídrico.

Orientador: Eduardo Puhl

Porto Alegre

Agosto 2023

### CIP - Catalogação na Publicação

MICHELON, CASSIANO RIBEIRO  
ESTUDO DE CASOS DE ACIDENTES DE NAVEGAÇÃO NA  
HIDROVIA DO RIO GUAÍBA / CASSIANO RIBEIRO MICHELON. --  
2023.  
73 f.  
Orientador: Eduardo Puhl.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto  
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia Hídrica,  
Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Encalhes. 2. Hidrovia. 3. Modelagem Numérica. 4.  
Rio Guaíba. I. Puhl, Eduardo, orient. II. Título.

CASSIANO RIBEIRO MICHELON

ESTUDO DE CASOS DE ACIDENTES DE NAVEGAÇÃO NA  
HIDROVIA DO RIO GUAÍBA

Trabalho de Conclusão apresentado ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Hídrico.

Banca Examinadora:

.....  
Prof. Dr. Eduardo Puhl (Orientador) - Depto. de Hidromecânica e Hidrologia  
(DHH/IPH/UFGRS)

.....  
Dr. Débora Karine Koller – Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFGRS)

.....  
Dr. Fernando Comerlato Scottá – Secretaria do Meio Ambiente  
(SEMA)

Dedico este trabalho à minha família, à minha  
companheira e a mim mesmo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a mim mesmo por ter chego até aqui e concluído esta importante etapa da vida.

Agradeço ao meu pai e a minha mãe, por todo esforço e dedicação ao longo da minha caminhada, sem eles nada disso seria possível.

Agradeço ao Professor Eduardo Puhl pela orientação deste trabalho, paciência, amizade, confiança e pelas oportunidades que fizeram com que eu chegasse até aqui.

Agradeço ao Professor Paulo Rosman pela ajuda na utilização do modelo e pelos conhecimentos compartilhados.

Agradeço à Professora Ana pelas orientações. Ainda, ao Professor Rafael Manica por ter apresentado o modelo numérico usado no trabalho.

Agradeço a Débora Koller e ao Fernando Scottá por aceitarem fazer parte da banca examinadora deste trabalho.

Agradeço a Eduarda pelo apoio e incentivo nesta caminhada e pelos momentos em que tivemos a oportunidade de compartilhar juntos.

Por fim, agradeço a todos, que mesmo com o menor movimento realizado, resultou na possibilidade de eu chegar até aqui.

Se um homem não sabe a que porto se dirige, nenhum vento lhe será favorável.

*Sêneca*

## RESUMO

O presente estudo tem como objetivo investigar as possíveis causas dos encalhes ocorridos na hidrovia do Rio Guaíba, entre os anos de 2007 e 2023. Assim, busca-se determinar as condições meteorológicas e hidrodinâmicas críticas para segurança de navegação e identificar os pontos da hidrovia com maior probabilidade de ocorrência de acidentes. Os resultados obtidos no estudo, contribuirão para os trabalhos desenvolvidos pela equipe de Monitoramento e Modelagem Hidrossedimentológica e da Qualidade da Água do Programa de Gestão Ambiental (PGA) do Porto de Porto Alegre. Esse projeto é uma parceria entre a UFRGS e o Portos-RS, que tem por objetivo a melhora do Índice de Desempenho Ambiental (IDA) do Porto de Porto Alegre. O trabalho auxiliará com a melhora do item do (IDA) sobre a Segurança relacionada à ocorrência de Acidentes Ambientais. Na realização do trabalho foram utilizados dados de ventos e visibilidade horizontal da região do Aeroporto Salgado Filho, como também, dados de níveis e vazões do Rio Guaíba. Para que os objetivos propostos fossem alcançados, os dados foram tratados e analisados de forma analítica e gráfica, bem como utilizado modelo numérico, a fim de simular a hidrodinâmica do Guaíba. Os parâmetros meteorológicos e hidrodinâmicos propostos foram estabelecidos, sendo seu estudo de suma importância para a segurança da navegação. Os resultados indicaram que o Canal das Pedras Brancas é o ponto de maior probabilidade de ocorrência de encalhe, assim como a velocidade dos ventos acima de 7 m/s, velocidade das correntes acima de 0,5 m/s, o nível abaixo de 40 centímetros e ondas acima de 20 centímetros, formam o conjunto de valores críticos para a segurança da navegação.

Palavras-chave: encalhes; hidrovia; modelagem numérica; Rio Guaíba.



## **ABSTRACT**

The present study have the objective to investigate the possible causes of groundings that occurred in the Guaíba River waterway, between the years 2007 and 2023. Thus, the objective is to determine the critical consequences and hydrodynamic conditions for navigation safety and identify the points of waterway with the highest probability of accidents occurring. The results obtained in the study contribute to the work carried out by the Hydrosedimentological and Water Quality Monitoring and Modeling team of the Environmental Management Program (PGA) of the Port of Porto Alegre. This project is a partnership between UFRGS and Portos-RS, which aims to improve the Environmental Performance Index (IDA) of the Port of Porto Alegre. The work will contribute to improving the item (IDA) on Safety related to the occurrence of Environmental Accidents. In carrying out the work, wind and horizontal visibility data from the Salgado Filho Airport region were used, as well as data on levels and flows of the Guaíba River. In order for the proposed objectives to be improved, the data was processed and detailed in an analytical and graphical way, as well as a numerical model was used in order to simulate the hydrodynamics of the Guaíba. The proposed meteorological and hydrodynamic parameters have been established and their study is extremely important for navigation safety. The results indicated that the Pedras Brancas Channel is the point with the highest probability of grounding, as well as wind speeds above 7 m/s, current speeds above 0.5 m/s, levels below 40 depths and waves above of 20 centimeters form the set of critical values for navigation safety.

**Keywords:** strandings; waterway; numerical modeling; Guaíba River.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais hidrovias interiores do Rio Grande do Sul.....	20
Figura 2 - Porto de Porto Alegre.....	21
Figura 3 - Representação do calado de uma embarcação.....	23
Figura 4 -Distribuição de frequência de nevoeiro observados no aeroporto de POA. ....	26
Figura 5 - Duração dos eventos de nevoeiro observadas no aeroporto de POA. ....	26
Figura 6 - A) Região da Bacia Hidrográfica do Rio Guaíba; B) Representação por imagem de satélite do Rio Guaíba; C) Bacias hidrográficas contribuintes do Rio Guaíba. ....	28
Figura 7- B2109 da Ponta Grossa a Porto Alegre.....	30
Figura 8 - B2108 Itapuã a Ponta do Arado Velho. ....	31
Figura 9 – Escala de risco à navegação na hidrovia gerada a partir da análise estatística. ....	34
Figura 10 - Carta Náutica B2111 indicando o local da aquisição dos materiais. ....	38
Figura 11 – Fluxograma representando a metodologia aplicada no presente trabalho. ....	39
Figura 12 - Malha utilizada e as principais informações. ....	43
Figura 13 - Local de ocorrência dos encalhes onde a sequência numérica indica a ordem de ocorrência. ....	47
Figura 14 - Fotos das embarcações de cada encalhe.....	66
Figura 15 - Mapa de ventos do encalhe 1, encalhe 2 e encalhe 3.....	68
Figura 16 - Mapa de ventos do encalhe 4, encalhe 5 e encalhe 6.....	69
Figura 17 - Mapa de ventos do encalhe 7, encalhe 8 e encalhe 9.....	70
Figura 18 – Gráficos da velocidade das correntes de cada encalhe.....	71
Figura 19 – Gráficos da elevação da superfície (em relação ao NR) para cara encalhe.....	72
Figura 20 – Gráficos da altura significativa das ondas para cada encalhe.....	73

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Informações dos navios, local do encalhe e o motivo relatado.....	34
Quadro 2 - Configuração temporal das simulações numéricas.....	45
Quadro 3 - Resultados obtidos dos parâmetros meteorológicos e hidrodinâmicos no dia do encalhe.....	58
Quadro 4 - Principais características das embarcações.....	65
Quadro 5 - Ocorrência de nevoeiro e vazão média diária no dia do encalhe.....	67

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Extensão navegável dos rios da malha hidroviário do Rio Grande do Sul.....	20
Tabela 2 - Características dos canais artificiais de navegação.....	29

## **LISTA DE SIGLAS**

COPESUL - Companhia Petroquímica do Sul

COPPE - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia

ESE - Lés-Sudeste

HIDROWEB - Rede Hidrometeorologica Nacional

IAFN - Inquéritos Administrativos Sobre Acidentes e Fatos Da Navegação

ICEA - Instituto de Controle do Espaço Aéreo

IDA - Índice de Desempenho Ambiental

IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas

L - Leste

N - Norte

NE - Nordeste

NO – Noroeste

PGA - Programa de Gestão Ambiental

REDEMET - Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica

S - Sul

SE- Sudeste

SISBAHIA - Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental

SNIRH - Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos

SPH - Superintendência de Portos e Hidrovias

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

## LISTA DE SÍMBOLOS

$b$  – Coeficiente de Ajuste

$c$  - Coeficiente de Ajuste

$d$  - Coeficiente de Ajuste

$H_s$  – Altura Significativa das Ondas (m)

$T$  – Temperatura do Ar ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{po}$  – Temperatura do Ponto de Orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ )

UR – Umidade relativa do Ar (%)

$\gamma_m$  – Coeficiente de Ajuste

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVO</b> .....	<b>17</b>
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>18</b>
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
4.1 SISTEMA HIDROVIÁRIO DO RIO GRANDE DO SUL.....	19
4.2 EMBARCAÇÃO .....	22
4.3 ACIDENTES DE NAVEGAÇÃO .....	23
4.4 NEVOEIRO.....	24
<b>5 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO</b> .....	<b>27</b>
5.1 RIO GUAÍBA.....	27
5.2 HIDROVIA .....	29
5.3 HIDRODINÂMICA .....	31
5.4 VENTO .....	32
5.5 CLIMA.....	32
5.6 HISTÓRICO DE ENCALHES .....	33
<b>6 BANCO DE DADOS</b> .....	<b>36</b>
6.1 NEVOEIRO.....	36
6.2 VENTO .....	36
6.3 VAZÃO .....	36
6.4 NÍVEL.....	37
<b>7 MÉTODOS</b> .....	<b>39</b>
7.1 ANÁLISE DO NEVOEIRO .....	39
7.2 ANÁLISE DO VENTO.....	40
7.3 ANÁLISE DO NÍVEL, CORRENTES E ONDAS .....	40
7.3.1 Modelo Hidrodinâmico.....	41
7.3.2 Modelo de Geração de Ondas .....	41
7.3.3 Modelagem Numérica .....	42
7.5 CENÁRIOS SIMULADOS.....	44
<b>8 RESULTADOS</b> .....	<b>46</b>
8.1 ENCALHE 1 - 08/10/2007 .....	48
8.2 ENCALHE 2 - 18/06/2008 .....	48
8.3 ENCALHE 3 - 12/08/2011 .....	49
8.4 ENCALHE 4 - 31/08/2013 .....	50
8.5 ENCALHE 5 - 26/08/2015 .....	51
8.6 ENCALHE 6 - 22/10/2016 .....	52
8.7 ENCALHE 7 - 22/01/2021 .....	54
8.8 ENCALHE 8 - 20/01/2022 .....	55
8.9 ENCALHE 9 – 15/06/2023.....	56

8.10 – SÍNTESE DOS ENCALHES .....	58
<b>9 CONCLUSÃO.....</b>	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>60</b>
<b>APÊNDICE A – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS EMBARCAÇÕES.....</b>	<b>65</b>
<b>APÊNDICE B - FOTOS DAS EMBARCAÇÕES DE CADA ENCALHE.....</b>	<b>66</b>
<b>APÊNDICE C - ANÁLISE DO NEVOEIRO E DA VAZÃO MÉDIA.....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICE D - MAPA DOS VENTOS DOS ENCALHES.....</b>	<b>68</b>
<b>APÊNDICE E – VELOCIDADE DAS CORRENTES NA SUPERFÍCIE DA REGIÃO DOS ENCALHES. ....</b>	<b>71</b>
<b>APÊNDICE F – NÍVEL DA SUPERFÍCIE D’ÁGUA NA REGIÃO DO ENCALHE. ....</b>	<b>72</b>
<b>APÊNDICE G – ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NA REGIAO DO ENCALHE. ....</b>	<b>73</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Os rios são importantes recursos hídricos para a população. Seja para comunidades ribeirinhas, em localidades remotas ou em grandes centros urbanos que se desenvolveram as suas margens, eles desempenham um papel fundamental na economia, na subsistência e, até mesmo no lazer.

O Rio Grande do Sul apresenta uma importante malha hidroviária que liga o rio Guaíba e a laguna dos Patos, a qual é utilizada principalmente para o transporte de cargas através dos terminais públicos e privados. Os principais portos públicos do estado são o porto de Rio Grande, Pelotas e Porto Alegre, onde operam, também, Terminais de Uso Privativo (TUPs) (Atlassocioeconomico, 2023)

O Rio Guaíba é considerado o corpo hídrico mais importante do estado do Rio Grande do Sul em termos de navegação e abastecimento de água para a população e indústrias (Andrade *et al.*, 2017). A sua hidrovia inicia no farol de Itapuã e estende-se até o Porto de Porto Alegre, apresentando um total de 56.1 km de extensão e um calado máximo permitido de 5,18 metros (17 pés) (PORTOS RS, 2023).

O Porto de Porto Alegre situa-se na hidrovia do Sul, às margens do rio Guaíba, que mesmo possuindo características fluviais é classificado como porto marítimo, conforme Resolução N° 2969 -ANTAQ, de 4 de julho de 2013 (PORTO RS, 2023). Mantém oito quilômetros de cais acostável, dividido entre os cais Mauá, Navegantes e Marcílio Dias. Atualmente, a área de operação do porto público está concentrada no cais Navegantes. Pela classificação de porto marítimo, o Porto de Porto Alegre comporta navios de longo curso e possui capacidade de operação de até 3 navios de longo curso simultaneamente (PORTO RS, 2023).

De janeiro a julho de 2023, o cais público porto-alegrense movimentou 462.260 toneladas, divididas entre insumos para produção de fertilizantes (272.791t), cevada (67.927t), trigo (53.003t), sebo bovino (45.588t), e o restante entre sal e cargas gerais (PORTOS RS, 2023).

A sazonalidade do clima no Rio Grande do Sul tem forte influência na navegação da hidrovia do rio Guaíba. Com o aumento do fluxo de navios em direção aos portos da região de Porto Alegre e, por apresentar baixo calado, sinalização deficiente e falta de manutenção de dragagem no canal de navegação, o risco de acidentes aumenta. Neste sentido, de 2007 a 2023

foram registrados nove encalhes, sendo os últimos três ocorridos em 2021, 2022 e 2023. Esses registros mostram uma elevação na frequência de acidentes, o que pode estar relacionado ao progressivo aumento da navegação da hidrovia.

Encalhes são resultados de diversos fatores como humanos, mecânicos ou naturais, que, de forma isolada ou somados, acarretam no encalhe da embarcação. Esses acidentes apresentam alto risco de desastres ambientais, seja por rompimento de casco e consequente derrame da carga transportada, ou por vazamento de óleo utilizado pelo próprio navio.

Neste sentido, o presente trabalho analisou as condições meteorológicas e hidrodinâmicas locais nos eventos registrados de encalhes na hidrovia do rio Guaíba no período de 2007 a 2023. Desta forma, busca-se identificar se alguns desses fatores foram determinantes para a ocorrência do encalhe. Através deste estudo espera-se ser possível conhecer os pontos mais sensíveis em relação aos acidentes hidrovíarios e melhorar a segurança da navegação na hidrovia do rio Guaíba.

## 2 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo investigar as possíveis causas dos encalhes ocorridos entre os anos de 2007 e 2023 na hidrovia do rio Guaíba.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estabelecer as condições meteorológicas e hidrodinâmicas (neblina, vento, nível, velocidade da corrente superficial e altura significativa das ondas) nos eventos de encalhes na hidrovia;
- Identificar locais com maior probabilidade de ocorrência de encalhes;
- Determinar condições meteorológicas e hidrodinâmicas críticas para segurança de navegação na hidrovia.

### 3 JUSTIFICATIVA

Atualmente a hidrovia do Rio Guaíba é a via de acesso para navios que têm os portos fluviais do estado como destino. É um importante canal de navegação por onde passam embarcações com diversos produtos como insumos para fertilizantes, cevada, derivados de petróleo e cargas líquidas, sendo a principal via do estado por onde escoam produtos.

Um acidente de encalhe pode causar diversos danos, entre eles perda financeira e danos ambientais, como o derrame de produtos transportados e vazamento de óleo da embarcação por avarias causadas no casco. Desta forma, considerando a relevância econômica, ambiental e, sendo o Guaíba uma significativa fonte de recursos hídricos para irrigação, abastecimento urbano e outras atividades, é de suma importância estudar as causas dos encalhes ocorridos nesta hidrovia.

Por fim, o presente trabalho contribuirá para os trabalhos desenvolvidos pela equipe de Monitoramento e Modelagem Hidrossedimentológica e da Qualidade da Água do Programa de Gestão Ambiental (PGA) do Porto de Porto Alegre. Este programa é uma parceria entre a UFRGS e o Portos-RS que tem por objetivo a melhora do Índice de Desempenho Ambiental (IDA) do Porto de Porto Alegre. O trabalho auxiliará com a melhora do item do IDA sobre a Segurança relacionado com a Ocorrência de Acidentes Ambientais.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 SISTEMA HIDROVIÁRIO DO RIO GRANDE DO SUL

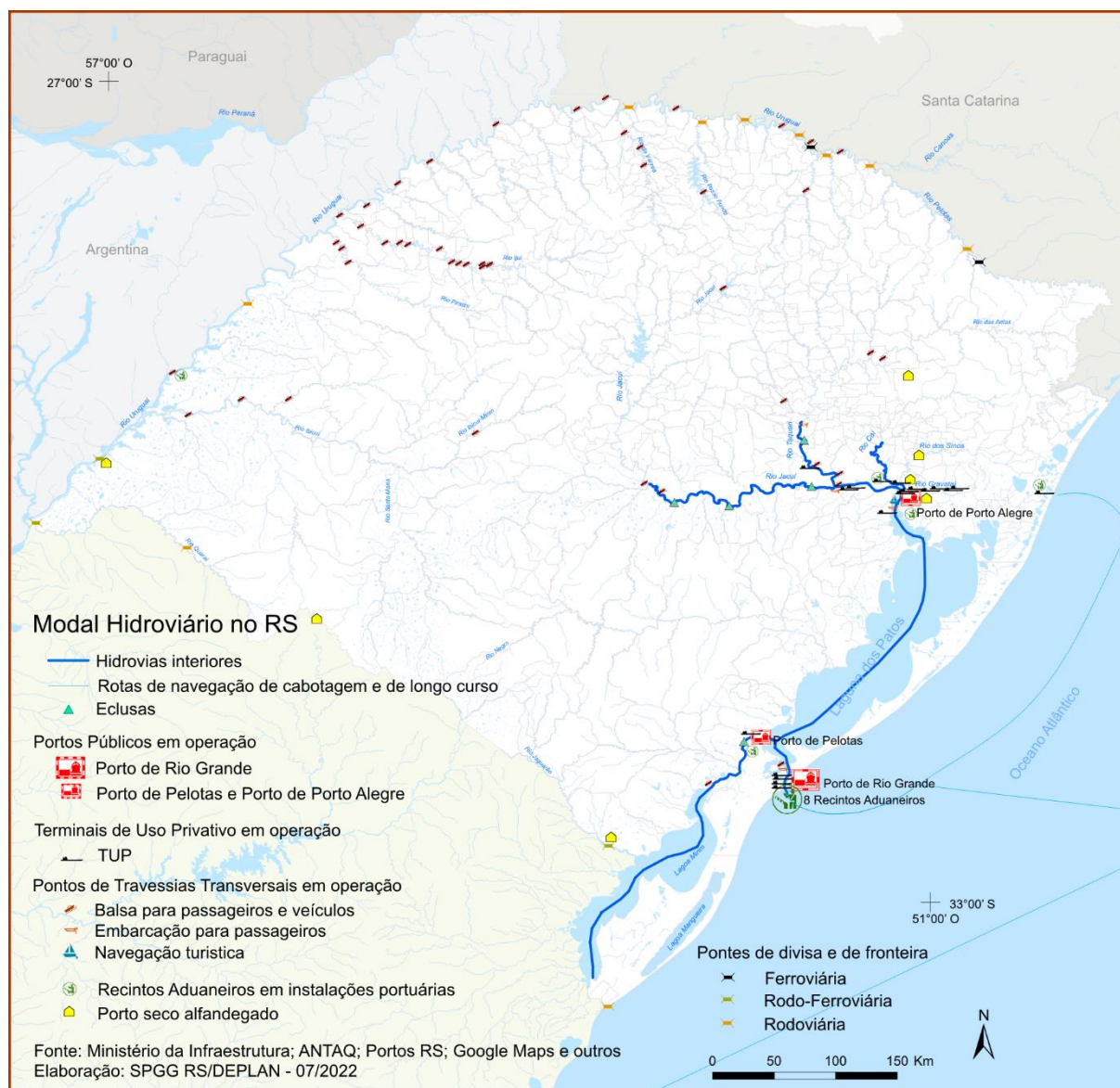
Conforme Pompermayer et al. (2014, p. 13), entende-se por hidrovía “um rio navegável que conta com intervenções diversas e normatizações necessárias para garantir, além da segurança para a navegação, a sustentabilidade do recurso e o uso múltiplo das águas”. Segundo Miguems (1996) a navegabilidade de um rio sofre muitos obstáculos, pois a profundidade do canal de navegação de um rio tem o aspecto de longos trechos com boas profundidades, separados por curtos trechos de baixa profundidade, que dificultam a navegação e limitam os calados das embarcações.

O sistema hidroviário do Rio Grande do Sul tem uma importância estratégica devido seu potencial de vias navegáveis interiores, o que contribui para a redução de custos e economia de combustível no transporte de cargas, especialmente aquelas de grande volume unitário, em distâncias compatíveis com a modalidade hidroviária (PORTOS RS, 2023). Segundo a PORTOS RS (2023), o custo da tonelada por quilômetro transportado pelas hidrovias do Rio Grande do Sul é de R\$ 0,009/km, R\$ 0,016/km para o modal rodoviário e R\$ 0,056/km para o ferroviário.

O estado apresenta uma importante malha hidroviária concentrada na Hidrovía do Sul, a qual faz parte da bacia hidrográfica do Atlântico Sul. Os principais rios navegáveis são o Rio Guaíba, Jacuí, Taquari, Caí, Sinos, Gravataí e a Laguna dos Patos (PORTO RS, 2023). A principal rota hidroviária de cargas do estado encontra-se entre Porto Alegre e Rio Grande, onde a hidrovía do rio Guaíba inicia-se no Porto de Porto Alegre e se estende até o Farol de Itapuã num total de 56,1 km e calado de 5,18 metros (17 pés), e pela Laguna dos Patos, que apresenta um calado de 5,18 metros e 258,9 km de comprimento, onde a hidrovía encontra o mar.

As cargas mais significativas transportadas em direção ao Porto do Rio Grande são os produtos petroquímicos, farelo e óleo de soja e celulose. De Rio Grande em direção ao Porto de Porto Alegre destacam-se os fertilizantes, cevada, trigo e sal (PORTOS RS, 2023). Na Figura 1 são mostradas as principais hidrovias interiores do Rio Grande do Sul.

Figura 1 - Principais hidrovias interiores do Rio Grande do Sul.



Fonte: Ministério de Infraestrutura; ANTAQ; Portos RS; Google Maps e outros.

Na Tabela 1 são apresentadas as extensões navegáveis das hidrovias que constituem a malha hidroviária do Rio Grande do Sul.

Tabela 1 – Extensão navegável dos rios da malha hidroviário do Rio Grande do Sul.

Nome do Rio	Extensão Navegável (km)
Rio Jacuí	225
Rio Taquari	86,5
Rio Caí	55
Rio dos Sinos	43,7
Rio Gravataí	4,5

Rio Guaíba	56,1
Rio São Gonçalo	82,23
Lagoa dos Patos	258,9

Fonte: PORTO RS, 2023 – adaptada.

Situa-se na cidade de Porto Alegre o Porto de Porto Alegre que, mesmo possuindo características fluviais, é classificado como porto marítimo, conforme Resolução N° 2969 - ANTAQ, de 4 de julho de 2013 (PORTO RS, 2023). O porto possui oito quilômetros de cais acostável, dividido entre os cais Mauá, Navegantes e Marcílio Dias. Sua estrutura envolve 25 armazéns com 70 mil m<sup>2</sup>, numa área total de 450 mil m<sup>2</sup>. Atualmente, a área de operação do porto público está concentrada no cais Navegantes. Pela classificação de porto marítimo, o Porto de Porto Alegre comporta navios de longo curso e possui capacidade de operação de até 3 navios de longo curso ao mesmo tempo (PORTO RS, 2023).

Segundo a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (2013), “os Portos Marítimos são aqueles aptos a receber linhas de navegação oceânicas, tanto em navegação de longo curso (internacionais), como em navegação de cabotagem (domésticas)”. A Figura 2 mostra a área portuária do Porto de Porto Alegre.

Figura 2 - Porto de Porto Alegre.



Fonte: Adaptada de Superintendência de Portos e Hidrovias (SPH) (2009).

## 4.2 EMBARCAÇÃO

De acordo com Alfredini e Arasaki (2009) as dimensões das embarcações que navegam por hidrovias estão diretamente relacionadas com as características de largura, profundidade e obras existentes na via. Elas devem ter características adequadas à navegação da hidrovia na qual estão se deslocando. Além das características da hidrovia, dimensões de embarcações relacionam-se às suas próprias características, como o tipo e capacidade de carga, local da operação de carga e descarga e espaço disponível da bacia de evolução para manobra do navio.

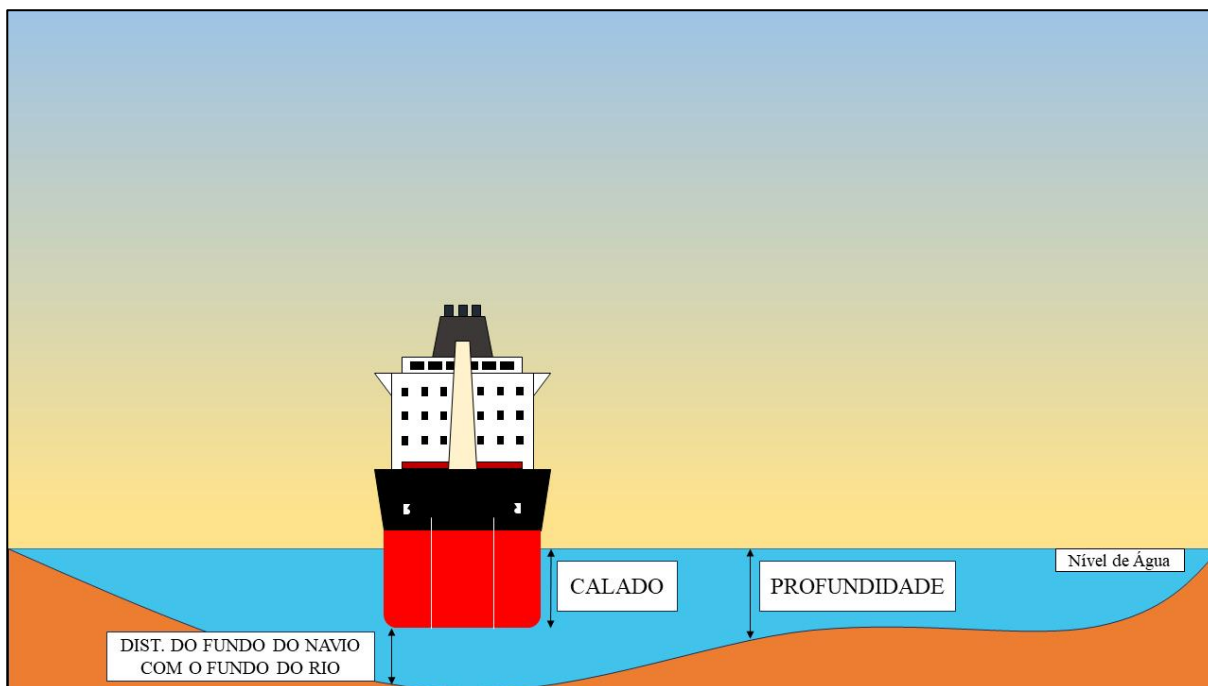
Outra importante medida das embarcações diz respeito ao seu calado. Segundo a Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG) (2023), calado é a “medida da profundidade a que se encontra a quilha do navio, ou distância entre a ponta mais baixa da quilha e a linha de água do navio”. O calado de uma embarcação é determinado pelo peso próprio da embarcação somado ao peso total da carga que está sendo transportada. Segundo a Marinha do Brasil (2005) a capacidade de carga de uma embarcação é uma de suas propriedades mais importantes, pois é determinada pela forma e geometria de fundo da embarcação, onde a massa do volume de água deslocado por essa geometria submersa é responsável pela flutuação do navio, normalmente dada em toneladas. Ainda, a Marinha do Brasil (2005) diz que existem dois tipos de deslocamentos característicos:

- a) deslocamento leve: “É o deslocamento que a embarcação, com todos os seus equipamentos e máquinas prontos para funcionar, apresenta quando está completamente descarregada, isto é, sem carga nos porões ou nos demais compartimentos a ela destinados, sem passageiros, tripulantes ou seus pertences, sem provisões, sem água doce, potável ou de lastro e sem combustíveis ou lubrificantes”.
- b) deslocamento carregado: “É o deslocamento que tem a embarcação quando está flutuando na sua condição de maior imersão, ou seja, completamente carregada, e está associado ao calado moldado da embarcação”.

Desta forma, no momento em que a embarcação está carregada, a distância entre o fundo do canal de navegação e a quilha do navio diminui. Caso a obrigatoriedade de calado máximo de uma hidrovia não for respeitada pela embarcação e apresentar calado maior do que o limite do canal, os riscos de acidentes aumentam. A Figura 3 representa as principais distâncias, com vista para a profundidade da coluna d’água, distância do fundo do canal com a quilha da embarcação, bem como representando a medida de calado da embarcação.



Figura 3 - Representação do calado de uma embarcação.



Fonte: O autor (2023).

### 4.3 ACIDENTES DE NAVEGAÇÃO

Acidente pode ser entendido como um evento inesperado e, muitas vezes, indesejado, que ocorre de forma não intencional, causando danos pessoais, materiais e financeiros. Para Lourenço (2003), é um acontecimento repentino e imprevisto, provocado pela ação do homem ou da natureza, com danos significativos e efeitos muito limitados no tempo e no espaço, suscetíveis de atingirem pessoas, bens ou ambiente.

De acordo com as NORMAS DA AUTORIDADE MARÍTIMA PARA INQUÉRITOS ADMINISTRATIVOS SOBRE ACIDENTES E FATOS DA NAVEGAÇÃO (IAFN) – NORMAM-09/DPC (2005), - “são considerados acidentes de navegação: naufrágio, encalhe, colisão, abalroação, água aberta, explosão, incêndio, varação, arribada e alijamento”. Por sua vez, encalhe é definido como: “contato das chamadas obras vivas da embarcação com o fundo, provocando resistências externas que dificultam ou impedem a movimentação da embarcação”.

Encalhes são resultados de diversos fatores como humanos, mecânicos, sinalização deficiente, ou devido a fatores da natureza como correntes, ondas, ventos e nevoeiros que, de forma isolada ou somados, acarretam no encalhe da embarcação. Segundo as diretrizes da Capitania dos Portos RS: “Encalhes são normalmente provocados por: erros da navegação (navegação por rumos práticos, utilização de boias como referência ao invés da observação de

pontos notáveis), excesso de calado, uso de cartas náuticas desatualizadas, e ausência de regras para a passagem simultânea de embarcações de grande porte em canais de acesso”.

A navegação durante a ocorrência de nevoeiro é prejudicada pela falta de visibilidade do profissional que está no controle da embarcação. Em meio a um evento de baixa visibilidade (nevoeiro), a navegação se dá pelos radares que o navio dispõe, aumentando o risco de encalhes devido a problemas nos radares, cartas náuticas desatualizadas, deficiência de sinalização e, principalmente, pela visibilidade reduzida.

#### 4.4 NEVOEIRO

Uma das causas de encalhes relatadas é a presença de nevoeiro no momento do acidente com a embarcação. O nevoeiro é o vapor d'água contido no ar condensado em finas gotículas de água e que acabam se tornando visíveis pois ficam em suspensão no ar, causando a redução da visibilidade do horizonte. A formação dessa condição climática é influenciada por três parâmetros meteorológicos:

1. Temperatura do ar (T);
2. Umidade relativa do ar (UR);
3. Temperatura do ponto de orvalho ( $T_{po}$ ).

A formação do nevoeiro é condicionada à diferença da temperatura do ar com a temperatura de orvalho, a qual quanto mais próximo do zero, maior é a chance de ocorrência de nevoeiro. A umidade do ar é outro fator de influência, sendo que uma condição de umidade próxima de 100% aumenta a probabilidade de nevoeiro, mesmo que a temperatura do ar não seja igual a temperatura de orvalho. Em resumo, a condição necessária para que haja nevoeiro em um determinado momento é que a umidade seja igual ou próxima de 100% e a diferença entre a temperatura do ar com a temperatura do ponto de orvalho seja próxima de zero.

A temperatura do ponto de orvalho representa a temperatura de saturação do ar, ou seja, indica a temperatura que o ar precisa estar para que ocorra a condensação do vapor d'água. Em locais que não dispõem de estações meteorológicas que registram a temperatura do ponto de orvalho ( $T_{po}$ ), pode-se aplicar equações para calcular o ponto de orvalho. Uma equação utilizada para a estimativa da temperatura do ponto de orvalho é a equação de Arden Buck (1981) (Equação 1) que é uma abordagem empírica e que depende dos parâmetros de temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR). A Equação 1 considera outros quatro parâmetros associados à variação de temperatura que uma determinada região está submetida, onde Buck (1981) ajustou

para diferentes faixas de temperatura os coeficientes  $b$ ,  $c$  e  $d$  e  $\gamma_m$  que varia conforme os outros coeficientes, ambos com unidade em graus celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$$\gamma_m(T, UR) = \ln\left(\frac{UR}{100}\right) \text{EXP}\left(\left(b - \frac{T}{d}\right)\left(\frac{T}{c + T}\right)\right)$$

$$T_{po} = \frac{c\gamma_m(T, UR)}{b - \gamma_m(T, UR)}$$

Equação 1

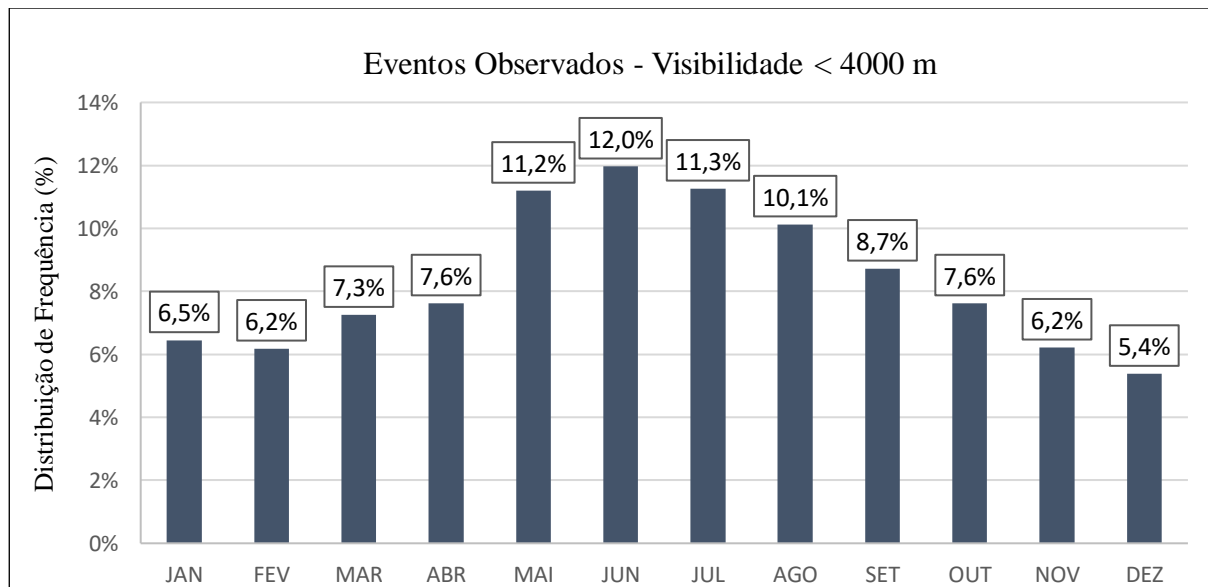
No terceiro Relatório de Atividades do Subprograma de Monitoramento e Modelagem Hidrossedimentológica e da Qualidade da Água para a Modelagem Numérica Aplicada a Segurança da Navegação, Puhl e Michelin (2023) buscaram analisar a ocorrência de nevoeiro para a região do Aeroporto de Porto Alegre calculando a temperatura do ponto de orvalho ( $T_{po}$ ) utilizando a equação empírica de Buck (Equação 1) numa série de dados de 20 anos obtidas no aeroporto Salgado Filho. Foram observados 2993 eventos de nevoeiro no período de dados analisados, onde os estudos mostraram que a formação de nevoeiro com visibilidade inferior a 4000 metros acontece com maior frequência nos meses de maio a agosto, sendo junho responsável por 12% das ocorrências. Dezembro foi o mês em que menos ocorreu nevoeiro, concentrando apenas 5,4% das ocorrências. O gráfico das frequências pode ser visualizado na Figura 4.

A duração média dos nevoeiros encontrada no estudo pode ser observada na Figura 5. Apesar de junho concentrar a maior quantidade de ocorrência de nevoeiro para a região do aeroporto, o mês de julho é o que apresenta a maior duração média dos eventos (4 horas 18 min). O mês de dezembro, além de ser o menor em ocorrências, é o mês com a menor duração dos eventos de nevoeiro (1 hora 35 min).

A previsão de condição de nevoeiro é importante para a segurança de navegação dos navios que trafegam pelo Rio Guaíba, tanto em direção ao porto de Porto Alegre como para outros locais. Uma das razões é que o canal de navegação apresenta largura mínima de 80 metros em alguns trechos, e a mudança brusca de direção pode ocasionar o encalhe da embarcação e causar acidentes como: derrame de óleo combustível, rompimento do casco, perda de carga ou acidentes com outras embarcações, seja de mesmo porte ou menor. Com a baixa visibilidade horizontal causada pelo nevoeiro, a segurança de navegação é reduzida, pois o campo de visão do operador do navio é afetado significativamente. Em casos que seja

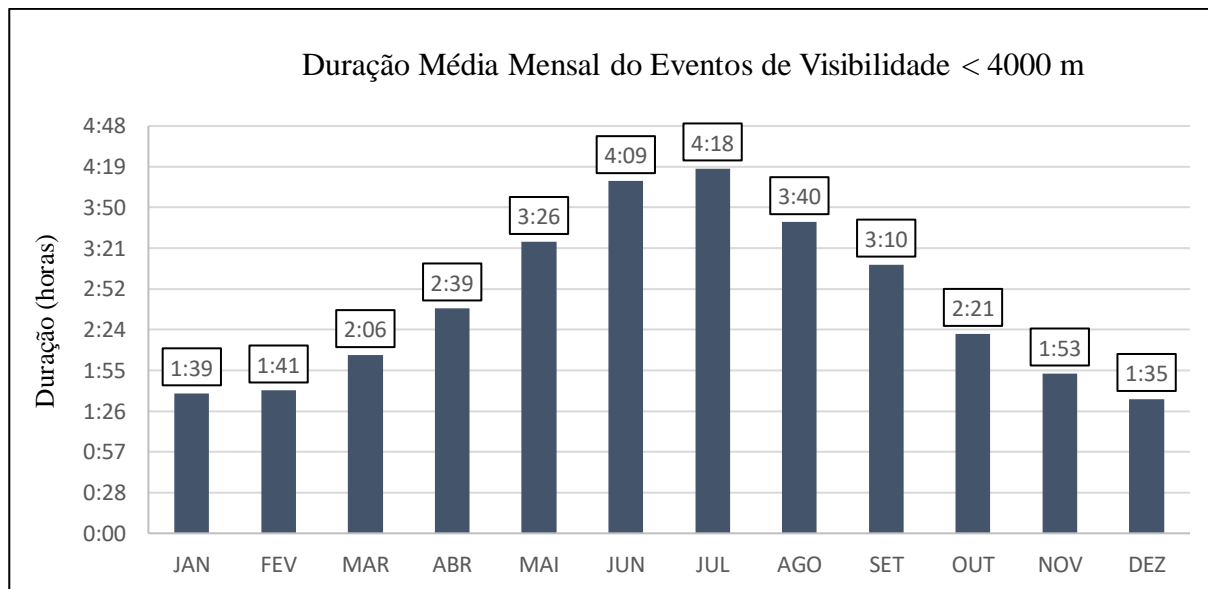
necessário a atuação de emergência de parada do navio, o espaço de manobra é curto, fazendo com que as chances de ocorrerem acidentes sejam altas.

Figura 4 - Distribuição de frequência de nevoeiro observados no aeroporto de POA.



Fonte: Adaptada de (Puhl e Michelin, 2023).

Figura 5 - Duração dos eventos de nevoeiro observadas no aeroporto de POA.



Fonte: Adaptada de (Puhl e Michelin, 2023).

## 5 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

Para melhor compreensão do local do presente estudo, neste capítulo serão apresentadas as informações meteorológicas e hidrodinâmicas da região do Rio Guaíba, bem como as principais características que configuram a hidrovia.

### 5.1 RIO GUAÍBA

O Rio Guaíba é considerado o corpo hídrico mais importante do estado do Rio Grande do Sul para navegação, abastecimento de água para a população e indústrias (Andrade *et al.*, 2017). Apresenta 470 km<sup>2</sup> de área superficial, cerca de 50 km de comprimento e largura variando de 900 m até 19 km e profundidade média de 2 m (podendo chegar a 31 m no canal de navegação na parte sul). Ainda, Andrade *et al.* (2017) ressaltam que “este corpo hídrico possui um canal natural que se estende de Norte a Sul, próximo a sua parte central, com profundidades entre 4 e 15 m”.

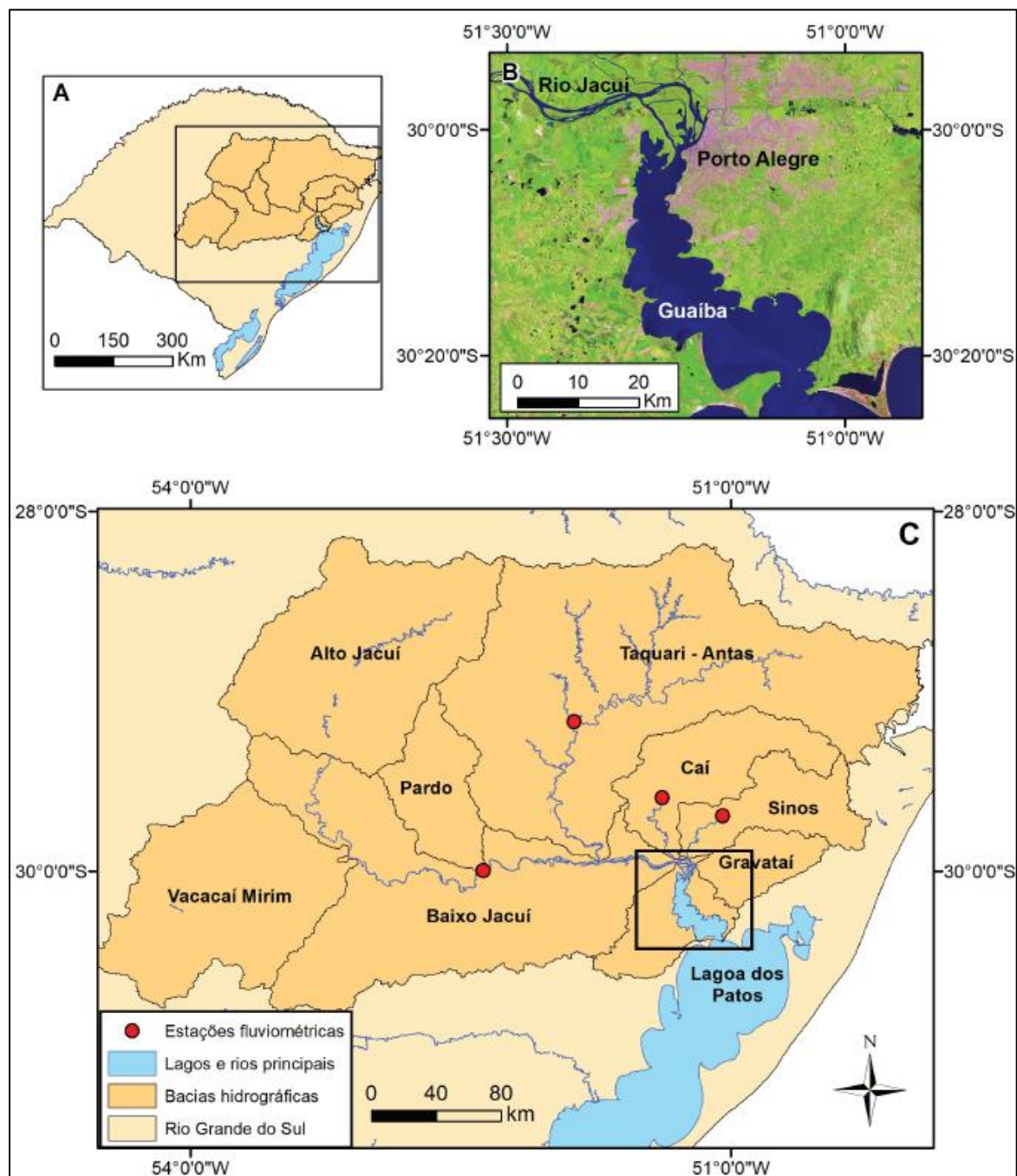
O Rio Guaíba está inserido na Região Hidrográfica de mesmo nome, que corresponde a 30% da área do estado, abrangendo 251 municípios no centro e nordeste do RS, entre eles Porto Alegre, e concentrando 61% da população (Andrade *et al.*, 2019). Recebe afluência de oito bacias hidrográficas, área de, aproximadamente, 85 mil km<sup>2</sup>, representadas principalmente pelos rios Jacuí, Taquari, Sinos, Caí e Gravataí (Rigon *et al.*, 2012). O Rio Jacuí é o maior contribuinte do Rio Guaíba, sendo responsável por cerca de 85% da vazão afluenta. Já os Rios Caí, Sinos e Gravataí são responsáveis por cerca de 5%, 7% e 2,5%, respectivamente, da vazão de entrada (Jobim, 2012).

Segundo Nicolodi (2007), o regime hidrodinâmico do Rio Guaíba é considerado complexo tanto em épocas de cheia, quanto em épocas de estiagem devido aos diversos fatores que intervêm no seu escoamento. Dando destaque para a influência do vento Sul (S), Nicolodi (2007) registrou a inversão do fluxo de escoamento do Rio Guaíba (Guaíba – Lagoa dos Patos) registrado através de um medidor de ondas e correntes fundeado durante o inverno de 2005. Ainda, Nicolodi (2007) destaca que pouco se conhece sobre a complexa dinâmica do Rio Guaíba e que as oscilações acabam apresentando comportamento regular, sendo o período de seca mais sensível à velocidade do vento que o período de cheia.

Dentre as condicionantes que determinam a sua dinâmica (e as variáveis associadas), estão: geometria (batimetria, comprimento, largura), correntes (velocidade, direção), ondas

(altura, direção, frequência), sedimentos (granulometria, distribuição, ressuspensão) e nível d'água (variações) Nicolodi (2007). A Figura 6 mostra a região da bacia hidrográfica do Rio Guaíba.

Figura 6 - A) Região da Bacia Hidrográfica do Rio Guaíba; B) Representação por imagem de satélite do Rio Guaíba; C) Bacias hidrográficas contribuintes do Rio Guaíba.



Fonte: Adaptado de Scottá et al. (2020).

## 5.2 HIDROVIA

Na Figura 7 e Figura 8 são apresentadas as cartas náuticas B2109 e B2108, respectivamente, onde é possível visualizar o traçado dos canais artificiais de navegação da hidrovia do Rio Guaíba em vermelho, bem como o canal natural (em branco limitado pelo traçado azul). Na Figura 7, a carta B2109 nos indica o trecho da hidrovia que vai do delta do Jacuí até a Ponta Grossa. Nesta carta é possível visualizar a área portuária de Porto Alegre, a região próxima ao Parque Marinha do Brasil (Canal do Cristal), assim como o Canal das Pedras Brancas e o Canal do Leitão.

Na Figura 8, a carta b2108 nos permite visualizar a metade sul da hidrovia do Rio Guaíba. Nela é possível observar o Canal de Belém, Canal do Junco, bem como a Ilha do Junco e o início da hidrovia na ponta do Farol de Itapuã. Os trechos apresentados na Figura 7 e na Figura 8 compreendem o total de 56,1 km da hidrovia do Rio Guaíba intercalados entre canal natural e artificial de navegação (PORTOS RS, 2023). A Tabela 2 apresenta as principais características dos canais artificiais de navegação como extensão navegável, largura de fundo e profundidade.

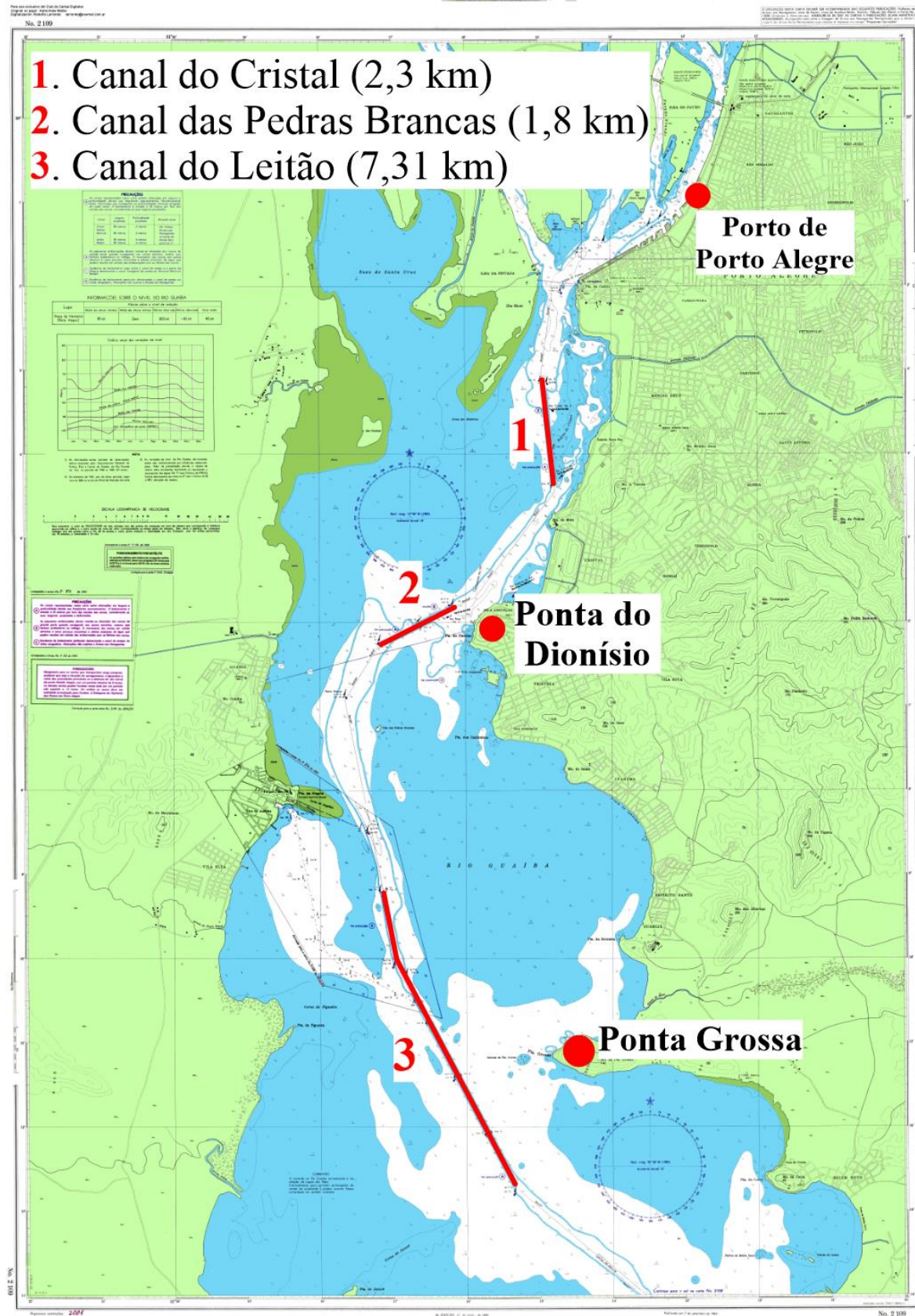
Tabela 2 – Características dos canais artificiais de navegação.

<b>Canal</b>	<b>Extensão Navegável (km)</b>	<b>Largura do Fundo (m)</b>	<b>Profundidade (m)</b>
Cristal	2,3	80	6
Pedras Brancas	1,8	80	6
Leitão	7,31	80	6
Belém	5,5	80	6
Junco	10,63	80	6
Campista	1,7	80	6
Itapuã	2,45	80	6

Fonte: Superintendência de Portos e Hidrovias (SPH), 2009 – adaptada.



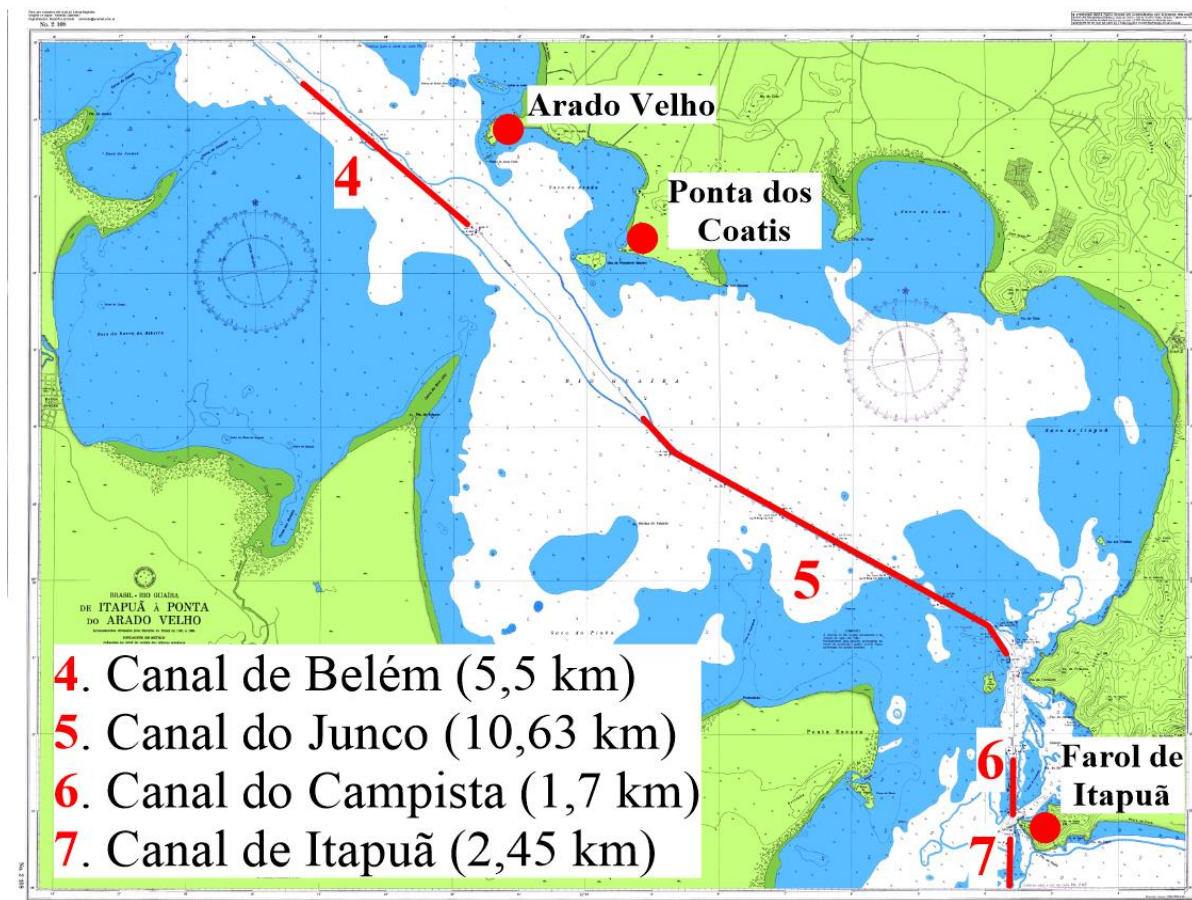
Figura 7- B2109 da Ponta Grossa a Porto Alegre.



Fonte: Marinha do Brasil.



Figura 8 - B2108 Itapuã a Ponta do Arado Velho.



Fonte: Marinha do Brasil.

### 5.3 HIDRODINÂMICA

No período de junho de 2014 até janeiro de 2017, Scottá *et al.* (2020) realizaram 22 campanhas de medições da descarga líquida do Rio Guaíba, na seção transversal da ponta do gasômetro. Foram observados valores mínimos e máximos de 407 e 14.270 m<sup>3</sup>/s. A faixa de vazão encontrada pelos autores nesse período, demonstra a grande variabilidade do sistema. A análise da série temporal dos tributários indica que vazões acima de 12.000 m<sup>3</sup>/s ocorreram apenas dez vezes no período de 1940 e 2017, sendo o valor de 14.270 m<sup>3</sup>/s correspondente ao terceiro maior valor da série (Scottá *et al.*, 2020). A vazão média anual da descarga líquido do Rio Guaíba é de 1.470 m<sup>3</sup>/s (Andrade *et al.*, 2017).

Ainda, Scottá *et al.* (2020) mediram a velocidade das correntes, no dia de registro da vazão de 14.270 m<sup>3</sup>/s, na Ponta do Dionísio e na Ponta Grossa, distantes 9 e 18 km, respectivamente, da Ponta do Gasômetro (Scottá *et al.*, 2020). A largura das seções de medições são 3,7 km para a Ponta do Dionísio e 5,9 km para a Ponta Grossa. A Ponta do Gasômetro,

utilizada como seção de controle das campanhas de campo dos autores, apresenta 800 metros (Andrade *et al.*, 2017). Os resultados encontrados pelos autores, mostram a velocidade na seção da Ponta do Dionísio de 140 cm/s e, superior a 220 cm/s na seção da Ponta Grossa (Scottá *et al.*, 2020). O valor máximo foi medido no maior nível d'água alcançado (2,7 m, régua do Caís Mauá) durante uma das maiores cheias deste rio nos últimos anos, a qual ocorreu em 22 de outubro de 2016. Esta vazão medida pode ser considerada um valor máximo histórico para este sistema. (Andrade *et al.*, 2017).

Com o objetivo de determinar os padrões de ondas no Rio Guaíba, Nicolodi (2007) em seu estudo, selecionou alguns intervalos de dados de ventos dos meses de março, julho, setembro e dezembro. O padrão da altura significativa das ondas encontrado pelo autor, indica que em março as ondas variam de 0,05 a 0,45 m, para ventos de 2 a 10 m/s, no mês de julho variam de 0,05 a 0,40 m para ventos de velocidades de 4 a 9 m/s. Já em setembro, as ondas variam de 0,05 a 0,40 m com ventos de 3 a 9 m/s e, dezembro com ventos de 2 a 10 m/s, a altura das ondas são inferiores a 0,10 metros (Nicolodi, 2007).

## 5.4 VENTO

Em seu trabalho, Nicolodi (2007) analisou uma série de dados de ventos obtidos do Aeroporto Salgado Filho, referentes ao período de março de 1996 a fevereiro de 1997. Os dados foram medidos diariamente, de hora em hora, na altura padrão de 10 metros. A direção predominante encontrada por Nicolodi (2007) no período analisado, mostrou que os ventos vindos de Sudeste (SE) e Leste (L) apresentaram 29% e 22% dos registros, respectivamente. Ventos de Sul (S), Noroeste (NO), Norte (N) e Oeste (O) apresentam frequências de 12%, 10%, 8,8% e 7%, respectivamente.

Quanto às intensidades encontradas por Nicolodi (2007), os registros mostram que a velocidade média dos ventos é de 2,52 m/s, sendo 13 m/s a máxima observada em setembro. Ainda, ventos predominantes com frequências de 36,6% têm velocidades entre 2 e 3 m/s, seguido por ventos entre 4 e 5 m/s com 16,5% dos registros, e velocidades entre 0 e 1 m/s com frequência de 13,7%.

## 5.5 CLIMA

Segundo a classificação de Koppen (1984) o clima da região caracteriza-se como subtropical úmido (tipo Cfa), temperaturas médias maiores do que 22 °C nos meses quentes e

chuvas bem distribuídas durante o ano. A precipitação pluvial anual é na ordem de 1400 mm/ano (Scottá *et al.*, 2020).

## 5.6 HISTÓRICO DE ENCALHES

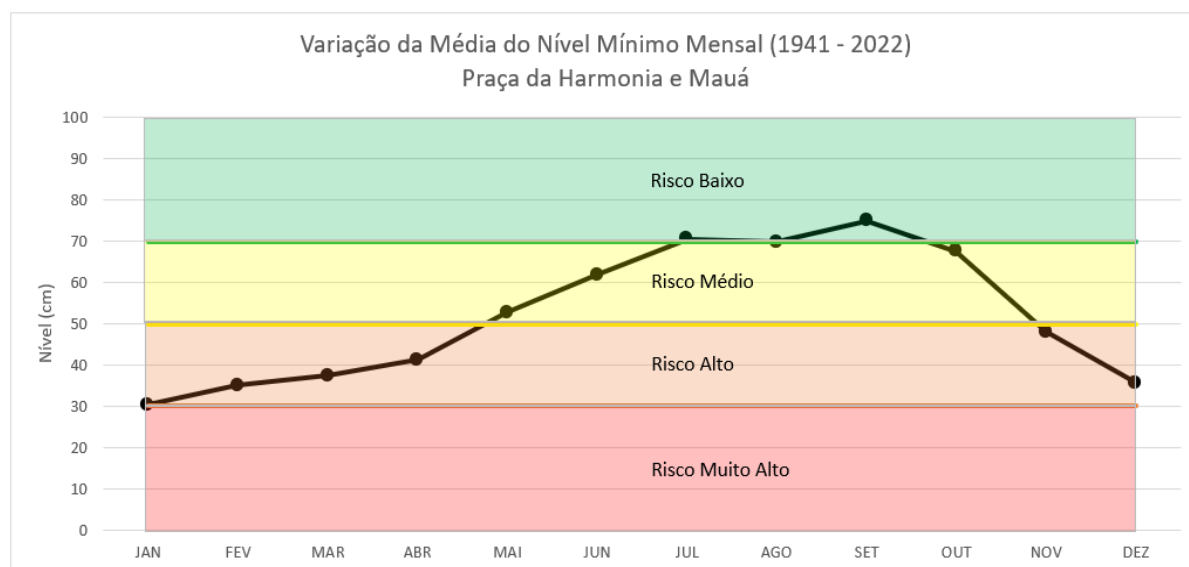
No primeiro Relatório de Atividades do Subprograma de Monitoramento e Modelagem Hidrossedimentológica e da Qualidade da Água (FICK *et al.*, 2022), foram apresentados os resultados preliminares do estudo da influência do nível d'água e das correntes para a navegação na hidrovia do Rio Guaíba. Foi realizada análise estatística das séries históricas de nível e vazão do Rio Guaíba, relacionando com o registro histórico de encalhes de embarcações na hidrovia. A média mensal dos níveis foi obtida a partir dos registros da régua da Praça da Harmonia (período entre 1941 e 2006) e da régua do Cais Mauá C6 (entre 2014 e 2022), extraídos do HIDROWEB.

O estudo buscou analisar o risco de ocorrência de encalhe estabelecendo condições de nível do Rio Guaíba que pudessem apresentar algum grau de risco à segurança da navegação das embarcações cargueiras da hidrovia. Para isso, Fick *et al.* (2022) traçaram uma correlação entre valores de nível e a ocorrência de encalhes por motivos de desvio de rota (manobra fora do canal).

O estudo adotou o nível de 50 cm como referência para a indicação de presença de risco. Abaixo deste valor, se convencionou risco alto e acima, risco médio. Para aprimorar a tabela de riscos, o autor criou mais duas faixas de risco muito alto e risco muito baixo, onde o risco muito alto foi estabelecido abaixo do valor de 30 cm, enquanto o risco baixo acima do nível de 70 cm. O intervalo de 20 cm, para cima e para baixo, que delimita estas outras faixas foi definido em função do desvio padrão médio da série histórica.

As quatro faixas de risco geradas na análise estão apresentadas no gráfico da Figura 11. Comparadas com a variação da média do nível mínimo mensal histórico, observa-se que os meses de novembro a abril possuem risco alto para encalhes devido aos reduzidos valores do nível d'água no Guaíba. Já entre os meses de maio e outubro, o risco é médio, sendo o mês de setembro com risco baixo.

Figura 9 – Escala de risco à navegação na hidrovia gerada a partir da análise estatística.



Fonte: Adaptado de Fick *et al.* (2022).

Fick *et al.* (2022) encontraram a ocorrência de oito encalhes ocorridos entre os anos de 2007 e 2022, destacando que não houve ocorrência de vazamento de carga ou de combustível das embarcações envolvidas em nenhum dos encalhes. No mês de junho de 2023 ocorreu um encalhe localizado na Ilha do Junco, próximo do farol de Itapuã. As causas relatadas neste incidente foram os fortes ventos e correntes, somados a problemas mecânicos na embarcação. A embarcação carregava 2 milhões de litros de óleo combustível pesado que não apresentou danos na estrutura do barco, sem registro de ocorrência de vazamentos. No Quadro 1 são apresentadas as ocorrências de encalhes no Rio Guaíba, de 2007 a 2023, coletadas de notícias e jornais de acesso público.

Quadro 1 – Informações dos navios, local do encalhe e o motivo relatado.

Ano	Navio	Bandeira	Carga	Local	Motivo Relatado
2007	Kalia	Chipre	Nafta	Canal Pedras Brancas (ZS)	Pane Mecânica
2008	Santa Theresa	Panamá	Fertilizante	Canal Pedras Brancas (ZS)	Erro de Navegação/Neblina
2011	Santa Katarina	Panamá	Cloreto de K	Cais Navegantes	Corrente
2013	Commodore	Libéria	Cevada	Canal do Cristal (PMB)	Pane Mecânica
2015	Pebble Beach	Malta	Grãos	Farol de Itapuã	Erro de Navegação

2016	Syn Antares	Itália	Gás Natural	Canal do Leitão (ZS)	Erro de Navegação
2021	Arietta	Malta	Fertilizante	Cais Mauá	Manobra Evasiva fora do canal
2022	Prof. Luiz L. de Faria	Brasil	Soja	Canal Pedras Brancas (ZS)	Manobra baixo nível/Neblina
2023	Papoula	Brasil	Óleo Pesado	Ilha do Junco (Itapuã)	Passagem Ciclone e Pane Mecânica

Fonte: O autor (2023).

\*PMB – Parque Marinha do Brasil;

\*ZS – Zona Sul.

No APÊNDICE - A é apresentado o Quadro 2 com o nome de cada navio, tipo de navio, comprimento, largura, peso próprio, bem como sua capacidade de carga.

No APÊNDICE – B (Figura 13) são apresentadas fotos de cada embarcação que encalhou na hidrovia do Rio Guaíba. É possível observar que as embarcações apresentam dimensões distintas, não apresentando um único tamanho e tipo de navio com registro de encalhe.

## 6 BANCO DE DADOS

Para a realização das análises propostas no presente trabalho foi necessária a obtenção de dados meteorológicos e hidrodinâmicos. Assim, no presente capítulo é apresentado o procedimento de aquisição dos dados de cada parâmetro avaliado.

### 6.1 NEVOEIRO

Os dados de visibilidade horizontal foram encontrados para a região do Aeroporto Salgado Filho. As séries de dados foram obtidas diretamente do site do ICEA (Instituto de Controle do Espaço Aéreo), na Divisão de Pesquisas de Dados de Superfície. Os dados de visibilidade são disponibilizados de hora em hora, dados em decâmetro, sendo um decâmetro igual a 10 metros.

### 6.2 VENTO

Os dados de ventos utilizados no trabalho foram obtidos do site ICEA (Instituto de Controle do Espaço Aéreo), na Divisão de Pesquisas de Dados de Superfície. A série de vento disponível é dada em nós, com direção em relação ao azimute dada em graus, medidos a altura de 10 metros (Nicolodi, 2007), os ventos disponibilizados pelo ICEA são medidos no Aeroporto Salgado Filho, próximo à cabeceira 11 da pista do aeroporto de hora em hora.

O farol de Itapuã fica a, aproximadamente, 45 km do ponto de medição dos ventos e, segundo Nicolodi (2007), para evitar distorções nos resultados numéricos, o local de medição dos ventos não deve ultrapassar a distância de 100 km do corpo hídrico, desta forma, os ventos utilizados no presente trabalho estão dentro do limite que se espera resultados com representatividade.

### 6.3 VAZÃO

Os dados de vazão utilizados no trabalho foram obtidos do estudo realizado por Fick *et al.* (2022), no qual o autor utilizou a série histórica de nível obtida a partir dos registros da régua da Praça da Harmonia (período entre 1941 e 2017) para gerar o histórico de vazões do Rio Guaíba. Juntamente com os dados anteriores, foram utilizados dados de vazão do Rio Guaíba gerados pela equação ajustada através da coleta de dados de vazões e níveis feita por Scottá (2018) da régua do Cais Mauá C6 (entre 2014 e 2022) que, com ambas as series, abrangem todos os anos de encalhes.

## 6.4 NÍVEL

Para abranger todos os anos em que ocorreram encalhes, os dados de nível utilizados no presente trabalho foram retirados de dois pontos distintos do Rio Guaíba. Os níveis utilizados até o ano de 2022, que compreende até o oitavo encalhe, foram retirados da estação localizada na Ponta dos Coatis, identificada pelo código 87500020, disponíveis no site HIDROWEB. O nível utilizado no nono encalhe foi obtido na Praia da Pedreira, de código 87242020, disponível no HIDRO-TELEMETRIA, do Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

A Figura 10 apresenta a carta náutica B2111 com marcações em vermelho dos principais pontos ao longo do Rio Guaíba. No Aeroporto Salgado Filho é indicado o local onde foram obtidos os dados de ventos e visibilidade horizontal. Já na Ponta dos Coatis e Praia da Pedreira são os locais onde foram adquiridos os dados de níveis utilizados para inserção no modelo numérico.



Figura 10 - Carta Náutica B2111 indicando o local da aquisição dos materiais.



Fonte: Adaptada da Marinha do Brasil, carta náutica B2111.

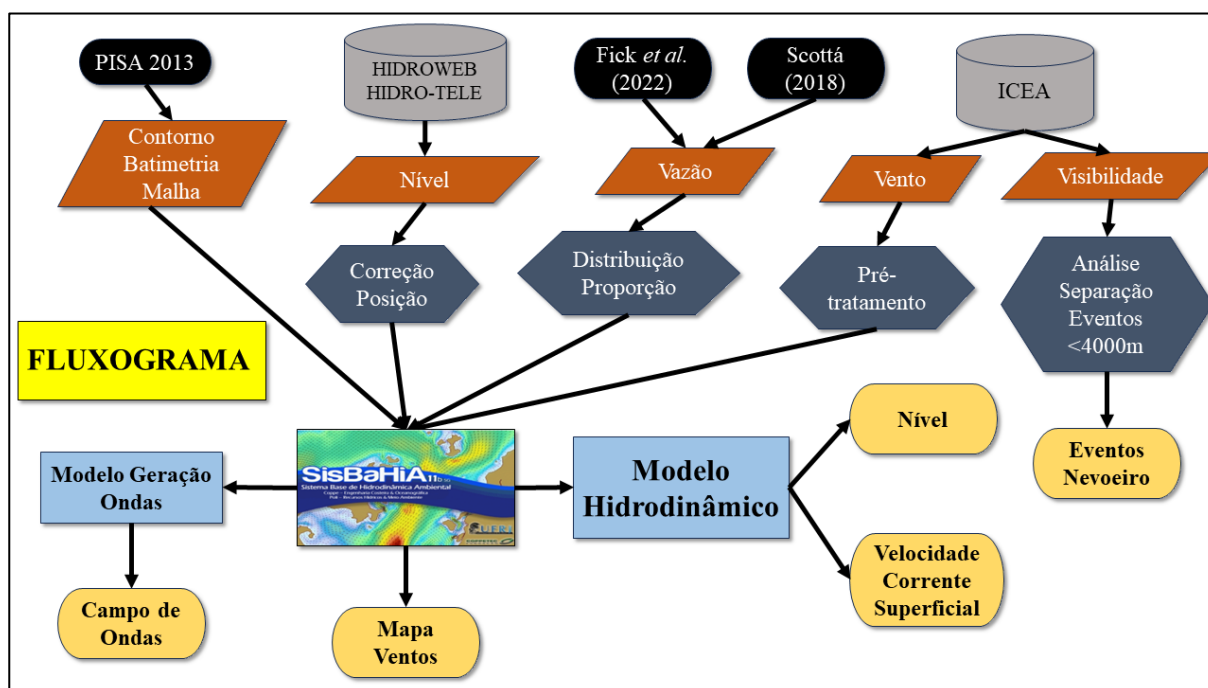


## 7 MÉTODOS

A metodologia aplicada na realização do trabalho valeu do uso da modelagem numérica, noticiários de acesso público, bem como da aquisição, tratamento e análise crítica de dados meteorológicos e hidrodinâmicos, conforme apresentado a seguir.

Na Figura 11, é apresentado o fluxograma da metodologia aplicada no presente trabalho. Em preto e cinza são mostrados as informações iniciais e os bancos de dados utilizados, respectivamente. As figuras em laranja representam os dados obtidos e, as em azul escuro, representam o processo de tratamento realizado aos dados. As figuras em azul claro indicam qual modulo de modelagem disponível no SisBaHiA foram utilizados. Já as figuras em amarelo mostram os resultados obtidos através de cada processo realizado na metodologia, desta forma, finalizando o fluxograma.

Figura 11 – Fluxograma representando a metodologia aplicada no presente trabalho.



Fonte: O autor (2023).

### 7.1 ANÁLISE DO NEVOEIRO

Associado a alertas de nevoeiro do METEOGRAMA da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET), a visibilidade horizontal foi utilizada como fator determinante da ocorrência de nevoeiro.

Foi realizada rotina de cálculos em que eram considerados a existência do evento meteorológico a partir do momento em que a visibilidade registrada era igual ou inferior a 4000 metros, sendo possível obter informações da hora de início e fim do nevoeiro, bem como a menor visibilidade registrada neste intervalo.

## 7.2 ANÁLISE DO VENTO

A metodologia aplicada na análise dos ventos da região do Guaíba nos dias dos acidentes de encalhe consistiu na avaliação, obtenção e tratamento dos dados de ventos para a região do Aeroporto Salgado Filho. As séries de dados de vento foram baixadas diretamente do site ICEA (Instituto de Controle do Espaço Aéreo), na divisão de pesquisas de dados de superfície. Com os ventos referentes a cada dia de encalhe, foram obtidas as séries históricas dos ventos, com intensidade e direção em relação ao norte para um período de 30 dias. Assim foi realizada a análise gráfica e visual dos ventos nos dias dos encalhes e feita análise da intensidade e direção. Desta forma, foi observada a sua possível contribuição nos eventos de encalhe.

## 7.3 ANÁLISE DO NÍVEL, CORRENTES E ONDAS

A análise dos parâmetros hidrodinâmicos do Rio Guaíba nos dias de encalhes foi realizada com auxílio da modelagem numérica, utilizando o modelo hidrodinâmico do SisBaHiA (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental), desenvolvido na Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica do Programa de Engenharia Oceânica, e na Área de Banco de Dados do Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, ambos da COPPE/UFRJ.

O *software* está disponível gratuitamente, possuindo uma interface de trabalho amigável, com ajuda textual em todos os campos. Possui um manual detalhado, mostrando passo a passo como desenvolver os modelos, e que são importantes ferramentas no desenvolvimento de projetos e estudos e na gestão ambiental de recursos hídricos. A última revisão da referência técnica foi realizada em 2023 (SisBaHiA, 2023).

Os modelos são baseados em esquemas numéricos, garantindo sua validade e aceitação. O programa pode ser aplicado em simulações de águas costeiras, baías, estuários, rios, canais, reservatórios, lagos ou em lagoas. Possibilita compreender a dinâmica dos processos que ocorrem nesses ambientes, sendo utilizado na avaliação do transporte de grandezas de interesse, bem como na previsão do escoamento e movimento das águas (PISA, 2013).

### 7.3.1 Modelo Hidrodinâmico

O modelo hidrodinâmico do SisBaHiA é a base fundamental para o sistema, pois serve como dados de entrada para os modelos de transportes disponíveis, sendo um eficiente modelo numérico hidrodinâmico tridimensional para escoamentos homogêneos e de grande escala. É chamado de FIST3D (*filtered in space and time 3D*), pois baseia a modelagem da turbulência em técnicas de filtragem, sendo composto por dois módulos (2DH e 3H) (SisBaHiA, 2023).

O sistema de discretização espacial é otimizado para corpos hídricos naturais, permitindo detalhamento de contornos e batimetrias complexas. A discretização espacial é feita via elementos finitos quadrangulares bi quadráticos, mas também podem ser utilizados elementos finitos triangulares quadráticos ou uma combinação de ambos. A discretização vertical usa diferenças finitas com transformação sigma, de forma que a discretização completa do domínio resulta em uma pilha de malhas de elementos finitos, uma para cada nível Z da transformação (Montezuma, 2004).

A discretização temporal se dá via esquema implícito de diferenças finitas. Os resultados podem ser em 3D, 2DH (promediado na vertical), ou ambos, dependendo dos dados de entrada. Desta forma, é possível realizar a simulação da circulação hidrodinâmica de corpos hídricos em diferentes condições meteorológicas e hidrodinâmicas (Montezuma, 2004).

Os valores de elevação da superfície livre são considerados como condição de contorno das fronteiras abertas. Os contornos abertos representam os limites do domínio, por onde o fluxo de água calculado pelo modelo pode cruzar. Já, os contornos fechados representam as margens e seções de rios e canais, sendo necessário informar valores de vazões específicas ou velocidades nulas no caso das margens e negativas para afluxos (SisBaHiA, 2023).

### 7.3.2 Modelo de Geração de Ondas

O Modelo de Geração de Ondas é um modelo para geração de ondas por campos de vento permanentes ou variáveis. O modelo determina se a geração de ondas será limitada pela pista ou pela duração do vento. O mecanismo que governa a geração das ondas pelos ventos consiste na transferência de quantidade de movimento dos ventos para a superfície dos corpos de água. Para o desenvolvimento deste complexo mecanismo três características dos ventos podem ser apontadas como principais fatores: a velocidade, a duração e a área sobre a qual este vento sopra, que é conhecida com pista (SisBaHiA, 2023).

O modelo de geração de ondas do SisBaHiA calcula a distribuição de alturas de onda e respectivas tensões no fundo, variáveis no tempo. Isto é, dado um domínio de modelagem e um registro de vento, e especificada a duração ou persistência de vento desejada, o modelo calcula, a cada intervalo de tempo especificado, o regime de ondas no domínio (SisBaHiA, 2023).

Um princípio básico dos métodos de previsão de ondas diz que para uma determinada condição de vento constante, as alturas das ondas crescem na medida em que a pista aumenta, até atingirem um limite máximo, conhecido por estado de “mar completamente desenvolvido”. Acredita-se que este estado é atingido quando a energia transferida do ar para a superfície da água é completamente dissipada pela arrebentação das ondas. Nestas condições produz-se a máxima altura de onda que pode ser mantida por um determinado vento. Quando as ondas ainda não atingiram este estado limite, tem-se o estado de “mar em desenvolvimento” (SisBaHiA, 2023).

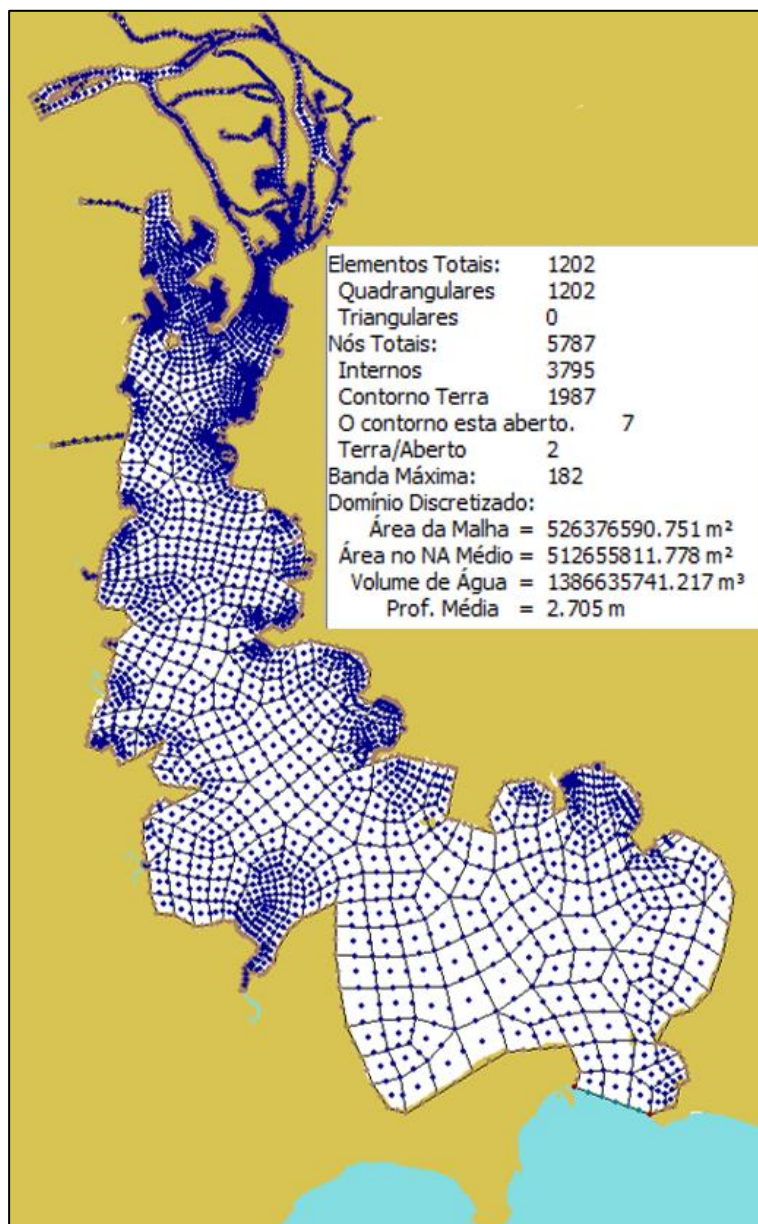
### *7.3.3 Modelagem Numérica*

O estudo computacional de um corpo hídrico tem como parâmetro inicial sua representação geométrica inserida dentro do modelo numérico. Após a etapa inicial, definem-se as condições hidrodinâmicas e as variáveis meteorológicas necessárias que serão dados de entrada para a realização das simulações numéricas, objetos de estudo.

#### *a) Malha*

A malha utilizada no SisBaHiA para o presente trabalho foi definida durante a elaboração do II Relatório Complementar de Avaliação de Impacto do Projeto Socioambiental ETE Serraria (PISA, 2013) e foi disponibilizada pelo professor Paulo Cesar Colonna Rosman, que atuou como consultor técnico do projeto. Na sua elaboração foram utilizados dados das Cartas Náuticas 2113 e 2111, e adotada rugosidade equivalente do fundo ( $\epsilon$ ) como sendo 0,025 m em todo o domínio modelado. A malha é composta por elementos finitos, com número total de 1202 elementos quadrangulares e um total de 5787 nós. A Figura 13 representa a malha utilizada e as principais informações.

Figura 12 - Malha utilizada e as principais informações.



Fonte: O autor (2023)

## b) Batimetria e Contorno de Terra

Os contornos necessários do Rio Guaíba para implantação da modelagem foram disponibilizados juntamente com a batimetria que configura o modelo. As profundidades da batimetria utilizada são referentes à carta náutica 2111, utilizada na elaboração do II Relatório Complementar de Avaliação de Impacto do Projeto Socioambiental ETE Serraria (PISA, 2013).

### c) Condições Hidrodinâmicas e Meteorológicas

As simulações hidrodinâmicas requerem que sejam informados os dados de vazão do Rio Jacuí, Caí, Sinos e Gravataí e o nível em Itapuã. A utilização de dados de vento contribui para a modelagem das ondas que ocorrem no Guaíba.

### d) Vazão

As vazões de entrada no modelo são referentes ao Rio Jacuí, Caí, Sinos e Gravataí. Foi inserido um hidrograma de vazões de 30 dias, com valores médios diários para cada rio em metros cúbicos por segundo, com a porcentagem de contribuição de cada afluente indicada por JOBIM (2012).

### e) Nível em Itapuã

O nível em Itapuã é condição de contorno para o modelo SisBaHiA. Levando em conta a dificuldade de adquirir dados atualizados para os anos dos encalhes para a região de Itapuã, buscou-se dados de níveis em regiões próximas. Para tanto, utilizou-se sendo dados de nível atuais na Ponta dos Coatis, obtidos por meio de pesquisa no portal HIDROWEB. Porém, para que se pudesse realizar a inserção desses níveis no modelo, foi preciso realizar uma correção de 13,53 cm nos dados de níveis da Ponta dos Coatis por meio da análise e comparação com os dados de níveis da Praia da Pedreira, obtidos da HIDRO-TELEMETRIA do SNIRH, localizada próxima do farol de Itapuã, limite da malha de modelagem do modelo.

### f) Vento

Para a modelagem das ondas do Guaíba foi necessário realizar a incorporação dos ventos no modelo SisBaHiA. Os ventos inseridos no modelo são variáveis no tempo e uniformes em todo o domínio de modelagem, com intensidade em metros por segundo e direção em relação ao norte. Desta forma foi possível gerar ondas de vento para o Guaíba em todos os cenários simulados.

## 7.5 CENÁRIOS SIMULADOS

Os cenários visaram os dias em que cada encalhe ocorreu, simulando a hidrodinâmica e a geração de ondas num total de 30 dias. Os ventos foram obtidos para a região do aeroporto e sua representação gráfica foi realizada para melhor análise da direção e intensidade nos dias

dos acidentes de encalhes. A análise da ocorrência de nevoeiro foi feita conforme descrito no Item 7.1.

O Quadro 2 apresenta a configuração temporal utilizada no modelo numérico, sendo informado o dia de início e fim da simulação, bem como o dia do encalhe. Foi simulado, no mínimo, 21 dias antes do dia do acidente, a fim de evitar resultados próximos dos dias iniciais das simulações, os quais são suscetíveis a erros numéricos devido a partida do modelo. Ainda, é apresentado o local da hidrovia em que o encalhe ocorreu, assim como o motivo relatado para o acidente.

Quadro 2 – Configuração temporal das simulações numéricas.

<b>Encalhe</b>	<b>Dia de Início</b>	<b>Dia do Fim</b>	<b>Dia do Encalhe</b>	<b>Local</b>	<b>Motivo Relatado</b>
<b>1</b>	14/09/2007	13/10/2007	08/10/2007	Canal Pedras Brancas (ZS)	Pane Mecânica
<b>2</b>	26/05/2008	24/06/2008	18/06/2008	Canal Pedras Brancas (ZS)	Erro de Navegação/Neblina
<b>3</b>	19/07/2011	17/08/2011	12/08/2011	Cais Navegantes	Corrente
<b>4</b>	07/08/2013	05/09/2013	31/08/2013	Canal do Cristal (PMB)	Pane Mecânica
<b>5</b>	02/08/2015	31/08/2015	26/08/2015	Farol de Itapuã	Erro de Navegação
<b>6</b>	27/09/2016	26/10/2016	22/10/2016	Canal do Leitão (ZS)	Erro de Navegação
<b>7</b>	29/12/2020	27/01/2021	22/01/2021	Cais Mauá	Manobra Evasiva fora do canal
<b>8</b>	27/12/2021	25/01/2022	20/01/2022	Canal Pedras Brancas (ZS)	Manobra baixo nível/Neblina
<b>9</b>	25/05/2023	23/06/2023	15/06/2023	Ilha do Junco (Itapuã)	Passagem Ciclone e Pane Mecânica

Fonte: O autor (2023).

## 8 RESULTADOS

Os resultados obtidos só foram possíveis de serem analisados após a conclusão de todas as etapas de obtenção de dados essenciais para as análises, bem como a realização das simulações numéricas realizadas com o auxílio do modelo SisBaHiA.

As análises do presente trabalho foram feitas de forma complementar umas às outras. Quando a existência de uma possível causa natural era negativa, consultava-se outros parâmetros para identificar sua ocorrência. Se a análise dos parâmetros se mostrasse positiva para os dias dos acidentes, seria possível que um dos fatores que contribuiu para o encalhe fosse o fator natural. Por outro lado, quando os resultados das análises não constatassem ocorrências de fatores naturais, é possível atribuir o determinante do encalhe ao fator humano. Lembrando que o presente trabalho tem como objetivo a análise apenas de fatores meteorológicos e hidrodinâmicos da ocorrência dos acidentes de encalhes que ocorreram no Rio Guaíba.

A Figura 13 mostra a localização da ocorrência de cada encalhe, onde a sequência numérica indica a ordem dos encalhes.

Os resultados da OCORRÊNCIA DE NEVOEIRO com a VAZÃO MÉDIA DIÁRIA são apresentados no APÊNDICE – C (pg. 53).

No APÊNDICE – D (pg. 54) é apresentado o resultado do MAPA DE VENTOS do dia dos encalhes: A) Encalhe 1; B) Encalhe 2; C) Encalhe3; D) Encalhe 4; E) Encalhe 5; F) Encalhe 6; G) Encalhe 7; H) Encalhe 8; I) Encalhe 9.

A VELOCIDADE DA CORRENTE NA SUPERFÍCIE na região de ocorrência de cada encalhe é apresentada no APÊNDICE – E (pg. 57).

O NÍVEL DA SUPERFÍCIE D'ÁGUA na região da ocorrência de cada encalhe é apresentada no APÊNDICE – F (pg. 58).

A ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS na região da ocorrência de cada encalhe é apresentada no APÊNDICE – G (pg. 59).



Figura 13 - Local de ocorrência dos encalhes onde a sequência numérica indica a ordem de ocorrência.



Fonte: O autor (2023).

## 8.1 ENCALHE 1 - 08/10/2007

O primeiro caso de encalhe registrado no presente estudo ocorreu na manhã do dia 8 de outubro de 2007 na parte da manhã, próximo as 8:30. O local do acidente foi no Canal das Pedras Brancas, localizado na região da Zona Sul de Porto Alegre. Segundo SANTOS (2007), o navio transportava quatro mil toneladas de Nafta com destino ao Terminal Santa Clara (COPEsul) e o motivo do acidente reportado diz o seguinte:

Informações colhidas no local indicam que a causa do acidente foi a parada do motor principal, que ocorreu logo ao sair do Canal Pedras Brancas, e que não houve qualquer vazamento da carga transportada (SANTOS, 2007).

Partindo para as análises de nevoeiro, nível, velocidade da corrente e altura significativa das ondas na região do encalhe, observa-se que o dia apresentava boas condições climáticas. O nível era de 1,2 m (APÊNDICE – F, item A), considerado por Fick *et al.* (2022) como risco baixo, a velocidade da corrente próxima de 0,15m/s (APÊNDICE – E, item A) para a vazão média de 1.563,67 m<sup>3</sup>/s, e a velocidade do vento (APÊNDICE – D, item A) era próximo de 5 m/s, valor encontrado por Nicolodi (2007) em 16,5% de seus registros de ventos.

Porém, a análise da ocorrência de nevoeiro no APÊNDICE – A, mostrou que no dia do encalhe, foi registrado nevoeiro com duração de 2:00, com início às seis horas da manhã, estendendo-se até oito horas, apresentando visibilidade mínima de 3000 m. A duração do nevoeiro vai ao encontro do resultado que Puhl e Michelon (2023) indicaram para o mês de outubro, onde os autores encontraram duração média de nevoeiros de 2:21.

Desta forma, é possível que a ocorrência de nevoeiro observada nas análises do presente estudo, tenha contribuído para a ocorrência do primeiro encalhe, além do que foi relatado oficialmente sobre a parada do motor principal.

## 8.2 ENCALHE 2 - 18/06/2008

O segundo encalhe registrado e estudado neste trabalho ocorreu em 2008, na manhã do dia 18 de junho. O local em que ocorreu o encalhe é o mesmo local do primeiro encalhe, no Canal das Pedras Brancas, zona sul de Porto Alegre. Um fato curioso relatado deste encalhe é que o prático (profissional especialista em manobras de navios) que estava auxiliando a navegação na hidrovia do Rio Guaíba era o mesmo profissional que estava auxiliando o navio Kalia no encalhe ocorrido no ano anterior. Segundo POPA (2008), o motivo do encalhe fora o

nevoeiro, qual a notícia informa: “A neblina pegou de surpresa o navio Santa Theresa, da Fetimport, que vinha de Rio Grande na manhã de ontem, carregado com 8.000 toneladas de fertilizantes”.

Realizando a análise da condição meteorológica e hidrodinâmica do rio Guaíba no dia do segundo encalhe, observa-se que a velocidade das correntes era próxima de 0,1 m/s (APÊNDICE – E, item B) para a vazão média de 1.032,20 m<sup>3</sup>/s, o nível na região era de 0,8 m (APÊNDICE – F, item B), o que segundo Fick *et al.* (2022) apresenta risco baixo para ocorrências de encalhes, bem como a altura significativa das ondas de 0,05 m de altura (APÊNDICE G, item B). Sabendo que o encalhe ocorreu na parte da manhã, os ventos apresentavam velocidades inferiores a 2,5 m/s (APÊNDICE – D, item B), valores representativos em 36,6% das análises feitas por Nicolodi (2007).

Porém, partindo para a análise da ocorrência de nevoeiro do APÊNDICE - A, de fato, observa-se que no dia do segundo encalhe ocorreu nevoeiro em dois momentos. Puhl e Michelin (2023) encontraram para o mês de junho, nevoeiros com média de duração de 4:09, e de fato, o primeiro caso de nevoeiro foi registrado ainda na madrugada do dia 18, com duração de 4:00 e visibilidade mínima registrada de 2100 m. Porém, existe um segundo momento em que o nevoeiro foi registrado, o qual teve início às seis horas da manhã, com duração de uma hora, e visibilidade reduzida de apenas 800 m.

Desta forma, assim como POPA (2008) relatou que o motivo do encalhe teria sido o nevoeiro, pela análise realizada no presente estudo e a confirmação de ocorrência de nevoeiro durante a parte da manhã, confirma-se que o nevoeiro tenha provável contribuição para o encalhe ocorrido em 2008.

### 8.3 ENCALHE 3 - 12/08/2011

Um dos casos mais emblemáticos de encalhe foi o terceiro ocorrido na hidrovia do Guaíba. O navio Santa Katarina, carregado com 14 mil toneladas de Cloreto de Potássio, estava fundeado desde o dia oito aguardando liberação para atracar no Cais Navegantes (VCVESTIIO, 2011), quando ao realizar a manobra de atracação acabou saindo do canal de navegação e encalhando na manhã do dia 12 de agosto de 2011. VETTORI (2011) diz que numa primeira avaliação na época pela Superintendência de Portos e Hidrovias do Estado (SPH), avaliou que possivelmente foi um erro de manobra e descarta o baixo nível do Guaíba:

Um erro de manobra pode ter provocado o incidente, apontou uma avaliação inicial da SPH. O órgão garante que a sinalização no local está de acordo com as exigências da Marinha e que o calado, em função do excesso de água no Guaíba, é de sete metros de profundidade – dois a mais que o normal (VETTORI, 2011).

Ainda, DIÁRIO GAÚCHO (2011) cita as fortes correntezas das recentes chuvas como o fator que teria contribuído para o encalhe da embarcação:

De acordo com o delegado da Capitania dos Portos da Capital, Jaime Alves Filho, um inquérito foi aberto para averiguar o ocorrido. A suspeita é que um erro de manobra, associada à forte correnteza, causou o encalhe (DIÁRIO GAÚCHO, 2011).

Partindo para as análises propostas no presente trabalho, no dia em que o terceiro encalhe ocorreu não foi registrada a ocorrência de nevoeiro (APÊNDICE – C). Sabe-se que o encalhe foi no período da manhã, durante o qual a intensidade do vento registrada era inferior a 3 m/s (APÊNDICE – D, item C) e a altura das ondas, próxima a 0,02 m de altura (APÊNDICE – G, item C). Analisando o nível na região do encalhe (APÊNDICE F, item C), nota-se que assim como informado pela Superintendência de Portos e Hidrovias do Estado (SPH), o nível era próximo a 2 m, não apresentando riscos quanto ao encalhe devido ao nível (Fick *et al.*, 2022).

Observando a velocidade das correntes (APÊNDICE – E, item C), nota-se que a velocidade da corrente na superfície era próxima de 0,6 m/s para uma vazão média de 5.052,68 m<sup>3</sup>/s. Assim como relatado, que a força da correnteza contribuiu para o deslocamento acidental da embarcação e o consequente encalhe, observando o local em que o navio se localizava e a manobra que era necessária para a atracação no cais Navegantes, a correnteza do Rio Guaíba no momento do encalhe pode ter contribuído para o acidente e tenha sido determinante para o encalhe.

#### 8.4 ENCALHE 4 - 31/08/2013

O quarto encalhe registrado na hidrovia do Rio Guaíba ocorreu na manhã do dia 31 de agosto de 2013. Segundo WINK (2013) a embarcação sofreu uma pane mecânica e fala que:

O navio Commodore – com bandeira da Libéria e procedente de Ghent na Bélgica – encalhou no Guaíba, no trecho entre o Estádio Beira-Rio e a Usina do Gasômetro em Porto Alegre, na manhã deste sábado. A embarcação, com 7 mil toneladas de cevada, teve uma pane mecânica (WINK, 2013).

Ainda, WINK (2013) fala que o motivo do encalhe decorreu da tentativa de reparar a pane, a qual é dita como: “Na tentativa de reparar a falha, o comandante do navio perdeu o controle da condução e a embarcação saiu do canal”.

Analisando os parâmetros propostos no presente trabalho, o dia do quarto encalhe apresentou ventos de baixa intensidade na parte da manhã, com máximas de 1,5 m/s (APÊNDICE – D, item D), ondas de 0,05 m (APÊNDICE – G, item E) e nível na região de 1,6 m (APÊNDICE – F, item E) não apresentando risco de encalhe (Fick *et al.*, 2022). Porém, observando a velocidade das correntes (APÊNDICE – E, item D), nota-se que esse parâmetro atingiu 0,6 m/s para uma vazão média de 4.367,25 m<sup>3</sup>/s. Scottá *et al.* (2020) encontraram a velocidade da corrente igual a 1,4 m/s na seção da Ponta do Dionísio, para a vazão de 14.270 m<sup>3</sup>/s. Comparando os valores, nota-se que, no dia do encalhe, a vazão é próxima de 1/3 da máxima vazão observada, conseqüentemente, a velocidade da corrente é menor, com a relação próxima de 1/2 do valor da encontrada pelos autores.

Sabendo que a embarcação tivera uma pane mecânica e com a velocidade da corrente de 0,6 m/s na região do acidente, é possível que a correnteza tenha contribuído para a ocorrência do encalhe, deslocando o navio para fora do canal de navegação. Desta forma, a força da corrente foi determinante para a ocorrência do quarto encalhe.

## 8.5 ENCALHE 5 - 26/08/2015

O quinto encalhe registrado no Rio Guaíba teve como local o início do canal de navegação, próximo ao farol de Itapuã. No dia 26 de agosto de 2015, o navio Pebble Beach encalhou próximo das sete horas. Segundo VASCONSELOS (2015), o motivo do encalhe foi erro de navegação, conforme é dito que:

Segundo foi levantado, o navio navegava a cerca de 10,6 nós quando bruscamente mudou de rumo, girando para a sua direita em direção a terra. Em questão de três minutos o “Pebble Beach” já se encontrava parado. O rumo originalmente traçado pelo navio era de 4 graus, e no momento do giro ele apontou para o rumo de 40 graus (VASCONSELOS, 2015).

Ainda, algumas hipóteses foram levantadas como:

Em virtude deste fato já se pode pensar que a causa do fato foi uma pane no navio. Que pode ter sido causada pelo apagar do motor do mesmo. Fato que poderia travar o leme. Ou, numa segunda hipótese, o navio pode ter tocado com o casco em um banco de areia. Provocando a frenagem do navio, que empurrado pela força do motor que continuava a

trabalhar o fez girar sobre o ponto de contato com o banco de areia (VASCONSELOS, 2015).

Porém, todas as hipóteses anteriormente foram descartadas, pois VASCONSELOS (2015) diz:

Neste conjunto de fatos podemos descartar, antecipadamente, a hipótese de falha por parte do serviço de praticagem. Já que o local, mesmo quando mal sinalizado, possui no paredão natural dos morros de pedra, uma linha de orientação para a navegação. Além do mais, este é um dos pontos mais marcantes da navegação pelas águas do Guaíba. Não só pela beleza, como pelo perigo que a região apresenta [...] VASCONSELOS (2015).

Neste último trecho, fala-se sobre a condição do trecho em que o encalhe ocorreu, mostrando que, apesar de problemas de balizamento, existe uma linha de navegação e apresenta profundidade adequada pela presença dos paredões dos morros que forma a costa.

Realizando as análises meteorológicas e hidrodinâmicas do dia do quinto encalhe, observa-se que a ocorrência de nevoeiro (APÊNDICE – C, item E) não indicou a presença do evento meteorológico na parte da manhã, bem como a intensidade dos ventos não apresentava velocidades superiores a 3 m/s (APÊNDICE – D, item E). Analisando a altura das ondas (APÊNDICE – G, item E), observa-se valores inferiores a 0,1 m e velocidade da corrente na região próximas de 0,3 m/s (APÊNDICE – E, item E) para a vazão média de 3.303,16 m<sup>3</sup>/s, e nível de 0,8 m (APÊNDICE – F, item E), apresentando baixo risco (Fick *et al.*, 2022).

Desta forma, após a análise dos parâmetros propostos no presente trabalho, é possível que o quinto encalhe não tenha tido influência das condições meteorológicas e hidrodinâmicas do local do encalhe, sendo o encalhe ocorrido devido erro de navegação assim como relatado.

## 8.6 ENCALHE 6 - 22/10/2016

O sexto encalhe analisado pelo presente trabalho diz respeito ao navio Syn Antares, o qual encalhou no Canal do Leitão, zona sul de Porto Alegre. O navio que transportava gás, sem destino informado, saiu do canal de navegação e encalhou no dia 22 de outubro de 2016 no começo da noite. Segundo noticiado, o motivo reportado para o acidente de encalhe se deu por erro de manobra do capitão no momento em que entrava no Canal do Leitão. Conforme KLEIN (2016):

Um navio de bandeira italiana encalhou no Guaíba, na altura do Canal do Leitão, na zona Sul de Porto Alegre, na manhã deste domingo. Conforme informações da

Capitania dos Portos, o capitão da embarcação errou a entrada do canal e saiu da rota para atracar a carga. O navio Syn Antares veio do Porto de Rio Grande carregado com gás. O destino ainda não foi informado (KLEIN, 2016).

Ainda REDAÇÃO PORTAL MARÍTIMO (2016) relata que:

Depois de ser removida, a embarcação lançou âncora e passaria por uma inspeção para verificar se houve algum dano provocado pelo encalhe. Até o começo da tarde, não havia sido informada nenhuma avaria. Também não foi verificado nenhum tipo de vazamento na água, e nenhum tripulante ficou ferido em razão do incidente (REDAÇÃO PORTAL MARÍTIMO, 2016).

Não há informações que confirmem o horário do encalhe, porém, ainda REDAÇÃO PORTAL MARÍTIMO (2016) diz que: “A Capitania Fluvial havia sido informada por volta das 21h de sábado sobre o encalhe do navio, que transportava gás, nas proximidades do canal de Navegação do Leitão”.

Partindo para as análises do dia do encalhe, estimando o horário do encalhe no começo da noite, assim como a Capitania Fluvial (21 horas) tivera sido informada, a análise dos ventos (APÊNDICE – D, item F) mostra que, durante aquele momento do dia do encalhe, os ventos vinham de direção Nordeste (NE) com intensidades de 8 m/s, chegando a 9,5 m/s as 20 horas, valores próximos da máxima encontrada por Nicolodi (2007). As ondas (APÊNDICE – G, item F) apresentavam alturas significativas de 0,2 m, e o nível na região não apresentava risco de encalhe (Fick *et al.*, 2022), pois estava próximo de 1,6 m (APÊNDICE – F, item F). Não foram encontrados registros de nevoeiro.

A velocidade da corrente era próxima de 0,5 m/s (APÊNDICE – E, item F) para uma vazão média de 7.089,37 m<sup>3</sup>/s. O Canal do Leitão fica próximo à Ponta Grossa, local onde Scottá *et al.* (2020) mediram a velocidade da corrente em 2,2 m/s na vazão de 14.270 m<sup>3</sup>/s. Observando os valores das velocidades, nota-se que no momento do encalhe, a corrente é 1/4 menor do que a corrente medida por Scottá *et al.* (2020), embora a vazão (7.089,37 m<sup>3</sup>/s) tenha sido 1/2 da medida pelos autores (14.270 m<sup>3</sup>/s).

Analisando todos os parâmetros propostos no presente trabalho, nota-se que no sexto encalhe ocorrida na hidrovia do Rio Guaíba, as condições de ventos, altura de onda e a força da corrente, tenham contribuição para a ocorrência do acidente, além do erro de navegação relatado oficialmente.

## 8.7 ENCALHE 7 - 22/01/2021

O sétimo acidente de encalhe ocorrido na hidrovia do Guaíba foi registrado na manhã do dia 22 de janeiro de 2021, em frente ao Cais Mauá. Conforme CORREIO DO POVO (2021), o motivo do encalhe do navio Arietta deu-se após dar passagem para outras duas embarcações menores e sair do canal de navegação, classificando como erro de navegação. CORREIO DO POVO (2021) diz que:

O navio Arietta, com bandeira de Malta e carregando com 10,35 mil toneladas de fertilizantes, encalhou nas águas do Guaíba na manhã desta sexta-feira (22), na área central de Porto Alegre. A embarcação vinha de Rio Grande e acabou saindo do canal por volta das 10h30min, bem em frente ao Cais Mauá. O Arietta, de grande porte, seguia na frente de dois barcos menores que navegavam em comboio. Ao dar passagem, acabou saindo do canal e encalhando (CORREIO DO POVO, 2021).

CORREIO DO POVO (2021) ainda diz que:

A Superintendência do Porto de Rio Grande afirma que o problema não foi causado pelo nível do Guaíba, já que a régua do porto marca entre 50cm e 60 cm, nível considerado normal para esta época do ano (CORREIO DO POVO, 2021).

Analisando os parâmetros propostos no presente trabalho, não foi verificada a ocorrência de nevoeiro no momento do encalhe (APÊNDICE A). O nível na região do encalhe encontrava-se a 0,4 m (APÊNDICE - F, item G) que, conforme Fick *et al.* (2022), configura-se risco alto para a ocorrência de encalhe. A análise das correntes mostrou que no momento a velocidade estava em 0,2 m/s (APÊNDICE – E, item G) para a vazão média de 313,81 m<sup>3</sup>/s, e que a altura das ondas era inferior a 0,1 m (APÊNDICE – G, item G), indo ao encontro com os valores encontrados por Nicolodi (2007) para essa época.

Segundo CORREIO DO POVO (2021), o encalhe ocorreu no período da manhã próximo das 10:30. Observando a velocidade e direção dos ventos (APÊNDICE – D, item G), é possível ver que no período relatado do encalhe, a intensidade era próxima de 7 m/s e direção de Leste (L), sendo esta direção encontrada em 22% dos registros de Nicolodi (2007).

Após a análise dos parâmetros, é possível que a velocidade da corrente, o nível e as ondas não tenham provável contribuição na ocorrência do acidente, mas o vento possa ter contribuído em menor parcela para a ocorrência do encalhe. Considerando que o motivo relatado foi uma manobra evasiva do canal para dar passagem a outras embarcações, as



condições meteorológicas e hidrodinâmicas do Rio Guaíba não apresentavam maiores riscos à segurança da navegação no momento do encalhe.

## 8.8 ENCALHE 8 - 20/01/2022

O oitavo encalhe que se tem registro no Guaíba, ocorreu no dia 20 de janeiro de 2022, no Canal das Pedras Brancas, assim como foram os encalhes do ano de 2007 e 2008, com os navios Kalia e Santa Theresa, respectivamente. Segundo informações, devido ao baixo nível do Rio Guaíba e a ocorrência de nevoeiro, a embarcação chamada PROF. LUIZ L. DE FARIA realizou uma manobra a fim de evitar bancos de areia, porém ao ficar fora do canal de navegação, acabou encalhando em um fundo rochoso. CAMPOS (2022) diz que:

A embarcação paralisada próximo à capital gaúcha transportava 300 toneladas de soja com destino a Rio Grande e chegou a realizar manobra evasiva para alterar o curso durante o trajeto, a fim de evitar uma combinação de neblina e bancos de areia (CAMPOS, 2022).

Realizando a análise das condições meteorológicas, não foi confirmada a presença de nevoeiro em nenhum horário do dia 20 de janeiro (APÊNDICE – A). Não há confirmação do horário em que o encalhe ocorreu, porém, analisando os ventos no período da manhã (APÊNDICE – D, item H), eles apresentam direção vinda de Sudeste (SE) na maior parte do tempo, com intensidades entre de 7,5 m/s e 5 m/s. Após 14 horas a intensidade perde força, bem como a direção dos ventos apresentam mudança para a direção Leste (L) no restante do dia. Esses valores, tanto de direção e intensidade, vão ao encontro dos valores que Nicolodi (2007) encontrou, onde a direção de Sudeste (SE) e Leste (L) apresentavam 29% e 22%, respectivamente., vistos pelo autor.

Analisando as condições hidrodinâmicas do Rio Guaíba no local do encalhe, observa-se que o nível no dia do encalhe apresentava mínima de 0,16 m e máximas próximas de 0,24 m (APÊNDICE – F, item H), configurando segundo Fick *et al.* (2022) risco muito alto de encalhe. A velocidade das correntes era inferior a 0,15 m/s (APÊNDICE – E, item H) para a vazão de 196,96 m<sup>3</sup>/s, e onda inferior a 0,1 m (APÊNDICE – G, item H), indo ao encontro dos valores de altura que Nicolodi (2007) encontrou no seu trabalho.

Após a análise dos parâmetros, observa-se que o nível apresentava risco muito alto para ocorrência de encalhes (Fick *et al.*, 2022), apresentando provável contribuição no acidente e confirmando o motivo oficialmente informado, porém, não houve registro de baixa visibilidade no dia do encalhe.

## 8.9 ENCALHE 9 – 15/06/2023

O último e nono encalhe registrado na hidrovía do Rio Guaíba ocorreu no dia 15 de junho de 2023 durante a passagem do ciclone que atingiu a região sul naquele mês. Segundo informações noticiadas, a embarcação Papoula carregava dois milhões de litros de óleo combustível pesado e estava sendo transportada por rebocador. Esta embarcação foi a única que encalhou que transportava derivados líquidos de petróleo, representando alto risco de desastre ambiental devido ao possível derrame de carga, além do combustível para uso próprio.

O local do encalhe ocorreu na Ilha do Junco, próximo a Itapuã. Conforme CORREIO DO POVO (2023):

A Fundação Estadual de Proteção Ambiental (Fepam) desencalhou, nesta quinta-feira, uma barcaça carregada com 2 mil toneladas de óleo combustível da Ilha do Junco, em Itapuã. A embarcação havia encalhado na última quinta-feira, durante a passagem do ciclone. Sem tripulantes, ela estava sendo transportada por reboque entre dois terminais, um em Canoas e outro em Rio Grande, para levar a carga, pertencente à Petrobras. O combustível foi levado para Canoas (CORREIRO DO POVO, 2023).

Ainda, como a embarcação carregava óleo, foi necessário aplicar barreiras de proteção para a operação de desencalhe. CORREIO DO POVO (2023) diz que:

[...] Devido à possibilidade de vazamento do diesel nas mangueiras e mangotes, a embarcação foi cercada por duas barreiras. "Nesse tipo de operação sempre há o risco de vazamentos, por isso o uso das barreiras, a fim de que caso isso ocorra possa ser solucionado o mais breve possível", afirmou a Fepam, em nota (CORREIO DO POVO, 2023).

Partindo para as análises propostas no presente estudo, no dia em que o nono encalhe ocorreu, não foi identificada a ocorrência de nevoeiro (APÊNDICE – A), porém a visibilidade estava reduzida por conta da intensa chuva que atingiu a região de Porto Alegre devido o ciclone.

Como relatado nas notícias, o encalhe ocorreu no dia 15 de junho devido a passagem do ciclone, porém, o mapa dos ventos para a região de porto alegre mostra que no dia do acidente, os ventos apresentavam direção de Sudeste (SE) e intensidades na faixa de 5 a 6 m/s ao longo dia (APÊNDICE – D, item I). No final da tarde, observa-se um aumento da velocidade dos ventos para 7 m/s, porém, ao longo da noite, ocorre sua redução, mantendo sua direção. Mas é no dia 16 de junho, na parte da manhã, que as maiores intensidades são registadas, chegando a ventos com velocidades de 10,8 m/s, isso é, perto de 40 km/h, valor próximo da máxima

encontrada por Nicolodi (2007). Desta forma, surge a hipótese de que o dia informado do acidente de encalhe esteja errado, pois na busca por informações do encalhe nos noticiários, não havia um consenso entre as datas, sabendo-se, porém, que o motivo teria sido a passagem do ciclone.

Partindo para a análise das correntes na região do encalhe (APÊNDICE – E, item I), é possível identificar a passagem do ciclone pela região devido ao aumento na velocidade das correntes do dia 15 ao dia 16. Próximo ao meio dia do dia 16, observou-se o pico de velocidades próximo a 0,5 m/s na região da Ilha do Junco. O acréscimo de velocidades é explicado pelo aumento na vazão do Rio Guaíba, que no dia 15 apresentava valor próximo de 2500 m<sup>3</sup>/s e, no dia 16, 7100 m<sup>3</sup>/s. Com esta análise, novamente, cogita-se a hipótese de que a informação sobre o dia do encalhe seja dia 16 de junho, devido ao aumento da velocidade nas correntes e a incidência de fortes ventos ocorridos no dia.

Assim como a velocidade das correntes, é notável a ocorrência de passagem do ciclone pela região de Porto Alegre, pois do dia 15 ao dia 16 o nível da região do encalhe teve um aumento de aproximadamente 55 cm (APÊNDICE – F, item I). Nota-se que no dia 15 de junho o nível na Ilha do Junco era pouco menos que 0,8 m. Porém, no dia 16 tem-se o pico de nível registrado com marcas de 1,35 m. Fato que pode ser explicado pelo aumento da vazão devido às chuvas e aos fortes ventos de direção Sudoeste (SO) causadas pela passagem do ciclone.

Observando a altura significativa das ondas na Ilha do Junco (APÊNDICE – G, item I), é possível observar que, com presença dos fortes ventos devido a passagem do ciclone pela região de Porto Alegre, houve um aumento de, aproximadamente, 20 cm na altura das ondas, visto que no dia 15 a altura era de 0,08 m, passando para 0,28 m no meio dia de 16 de junho. Esses valores estão dentro da faixa observada por Nicolodi (2007) para o mês de julho, onde o autor encontrou ondas de até 0,40 m.

Desta forma, com a análise realizada, de fato observa-se que a incidência das ondas, aliado com a velocidade das correntes e a intensidade e direção dos ventos, tiveram contribuição para o nono que ocorreu na região da Ilha do Junco. Com isso, confirma-se que o motivo do encalhe da embarcação Papoula foi a passagem do ciclone e também, conclui-se que o dia em que o encalhe ocorreu foi no dia 16 de junho, não no dia 15 de junho como diziam as informações colhidas.

## 8.10 – SÍNTESE DOS ENCALHES

Neste capítulo, o Quadro 3 que apresenta os resultados meteorológicos e hidrodinâmicos analisados, juntamente com a vazão média diária e o local do encalhe. Em marcação vermelha, é indicado qual parâmetro estudado, no presente trabalho, teve a provável contribuição nos acidentes de encalhes ocorridos na hidrovia entre os anos de 2007 e 2023.

No Encalhe 1 (2007) e Encalhe 2 (2008), o nevoeiro apresentou a provável contribuição nos acidentes. No Encalhe 3 (2011) e Encalhe 4 (2013), apenas a força da velocidade da corrente apresentou provável contribuição no encalhe. Nos anos de 2015 (Encalhe 5) e 2021 (Encalhe 7), os fatores naturais avaliados no estudo não tiveram contribuição nos encalhes. No Encalhe 8 ocorrido em 2021, o baixo nível foi o fator determinante para o acidente. Por fim, a intensidade dos ventos aliada à força da correnteza e a incidência de ondas, foram as prováveis causas naturais que contribuíram para a ocorrência do Encalhe 6 e do Encalhe 9.

Quadro 3 – Resultados obtidos dos parâmetros meteorológicos e hidrodinâmicos no dia do encalhe.

Encalhe	Nevoeiro	Vento (m/s)	Nível (m)	Corrente (m/s)	Hs (m)	Vazão média (m <sup>3</sup> /s)	Local
1 (2007)	3000	5	1,2	0,15	0,05	1.563,67	Canal das Pedras Brancas
2 (2008)	800	2,5	0,8	0,1	0,05	1.032,20	Canal das Pedras Brancas
3 (2011)	-	3	2	0,6	0,02	5.052,68	Cais Navegantes
4 (2013)	3900	1,5	1,6	0,6	0,05	4.367,25	Canal do Cristal
5 (2015)	3000	3	0,8	0,3	0,1	3.303,16	Farol de Itapuã
6 (2016)	-	9,5	1,6	0,5	0,2	7.089,37	Canal do Leitão
7 (2021)	-	7	0,4	0,2	0,05	313,81	Cais Mauá
8 (2022)	-	5	0,16	0,15	0,1	196,96	Canal das Pedras Brancas
9 (2023)	-	10,75	1,35	0,5	0,3	7.101,83	Ilha do Junco

Fonte: O autor (2023).

## 9 CONCLUSÃO

Com o término do trabalho, foi possível estabelecer as condições meteorológicas e hidrodinâmicas propostas como objetivo no início do trabalho. As condições de nível, correntes e ondas foram estabelecidas com auxílio do modelo numérico Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental Aplicada (SisBaHiA). A condição do vento e a ocorrência de nevoeiro foi concluída através da obtenção de dados disponíveis para acesso diretamente do site do ICEA (Instituto de Controle do Espaço Aéreo) na divisão de pesquisas de dados de superfície.

Na análise dos nove encalhes ocorridos e investigados foi possível identificar os pontos mais sensíveis na probabilidade de ocorrência de encalhes na hidrovia do rio Guaíba. A partir da análise do presente estudo, o ponto mais sensível para a ocorrência de encalhes encontra-se localizado no chamando Canal das Pedras Brancas. No local ocorreram três acidentes de encalhes, cada um deles com condições meteorológicas e hidrodinâmicas distintas e em diferentes anos com diferentes embarcações.

No exame e conclusão dos resultados dos encalhes ocorridos no Rio Guaíba, as condições meteorológicas e hidrodinâmicas críticas para a ocorrência de encalhes foram identificadas como sendo: Correntes superficiais com valores superiores a 0,5 m/s; Ventos superiores a 7m/s, chegando; Nível abaixo de 0,4 metros; Altura significativa de onda acima de 0,2 metros para pequenas embarcações automotoras ou não.

Com a finalização do trabalho, foi possível observar que o conjunto de parâmetros meteorológicos e hidrodinâmicas abrangem os principais pontos envolvidos na navegação. Destaca-se a importância da realização de estudos e análises desses parâmetros a fim de contribuir com informações e conhecimento para a segurança de navegação da hidrovia, considerando a importância ambiental e econômica que o Rio Guaíba tem para o estado.

A união da análise dos dados meteorológicos com os resultados numéricos foi positiva, pois com ambos, foi possível observar a influência que cada parâmetro tem entre si e como afetam a navegação fluvial. Em trabalhos futuros, investigar os pontos críticos em que o calado apresenta menores profundidades, os quais limitam a capacidade de carga das embarcações que utilizam a hidrovia, e investigar as consequências ambientais decorrentes de encalhes em que haja derrame de carga ou vazamento de óleo.

## REFERÊNCIAS

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. **Obras e gestão de portos e costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2009.

ANDRADE, Leonardo Capeleto de et al. Lago Guaíba: uma análise histórico-cultural da poluição hídrica em Porto Alegre, RS, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, p. 229-237, 2019.

ANDRADE, Mauro M. et al. Hidrodinâmica do Rio Guaíba: resultados preliminares. **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2017, Proceedings... Florianópolis, Brazil. ABRH**, 2017.

BELLOLI, R. L. (2022). **ESTUDO DA DISPERSÃO DE MANCHAS DE ÓLEO NO RIO GUAÍBA NA REGIÃO DO PORTO DE PORTO ALEGRE/RS**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia Ambiental, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

BUCK, Arden L. New equations for computing vapor pressure and enhancement factor. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 20, n. 12, p. 1527-1532, 1981.

CAMPOS, Marcello. Baixo nível da água por causa da estiagem deixa navios encalhados no Guaíba e Lagoa dos Patos. Embarcações já foram retiradas. **Redação Rádio Pampa**, Porto Alegre, 21 jan. 2022. Disponível em: <<https://www.tvpampa.com.br/baixo-nivel-da-agua-por-cao-da-estiagem-deixa-navios-encalhados-no-guaiba-e-lagoa-dos-patos-embarcacoes-ja-foram-retiradas/>>. Acesso em: 15 ago. 2023.

**Cartas Raster | Centro de Hidrografia da Marinha**. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav/cartas-raster>>. Acesso em: 20 jul. 2023.

**Diário das leis - Classificação dos Portos Públicos, Terminais de Uso Privado e Estações de Transbordo de Cargas em Marítimos, Fluviais e Lacustres. Define a classificação dos Portos Públicos, Terminais de Uso Privado e Estações de Transbordo de Cargas em Marítimos, Fluviais e Lacustres**. Disponível em: <<https://www.diariodasleis.com.br/legislacao/federal/224053-classificacao-dos-portos-publicos-terminais-de-uso-privado-e-estacoes-de-transbordo-de-cargas-em-maritimos-fluviais-e-lacustresdefine-a-classificacao-dos-portos-publicos-ter.html>>. Acesso em: 22 ago. 2023.

\_\_\_\_\_. Diretoria de Portos e Costas. **Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação Interior – NORMAM-02/DPC**. [S. l.], 2005. Disponível em: <[https://www.dpc.mar.mil.br/sites/default/files/normam02\\_1.pdf](https://www.dpc.mar.mil.br/sites/default/files/normam02_1.pdf)>. Acesso em: 25 ago. 2023.

**Estrutura e Indicadores**. Disponível em: <<https://www.gov.br/antag/pt-br/assuntos/meio-ambiente/indice-de-desempenho-ambiental-ida-1/estrutura-e-indicadores>>. Acesso em: 26 ago. 2023.

FICK, C.; TOLDO JR., E. E.; NUNES, J. C. R. **Relatório De Atividades do Subprograma de Monitoramento e Modelagem Hidrossedimentológica e da Qualidade da Água do Programa de Gestão Ambiental do Porto de Porto Alegre**. Maio de 2022. Porto Alegre.

GAÚCHO, DIÁRIO. Operação para remover navio encalhado na Capital será realizada neste domingo. **Diário Gaúcho**, Porto Alegre, 13 ago. 2011. Disponível em: <<http://diariogauchoclicrbs.com.br/rs/noticia/2011/08/operacao-para-remover-navio-encalhado-na-capital-sera-realizada-neste-domingo-3447685.html>>. Acesso em: 15 ago. 2023.

**HIDRO-TELEMETRIA (SNIRH)**. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/Mapa.aspx>>. Acesso em: 05 ago. 2023.

**Hidroviás e Portos**. Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/hidroviás-portos-e-aeroportos>>.

**HIDROWEB**. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>>. Acesso em: 05 ago. 2023.

JOBIM, G. S. **Dispersão de poluentes: simulação numérica do Lago Guaíba**. 2012. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

KLEIN, Samantha. Navio carregado com gás encalha no Guaíba. **Rádio Gaúcha**, Porto Alegre, 23 out. 2016. Disponível em: <<https://www.correiodopovo.com.br/not%C3%ADcias/geral/navio-carregado-com-g%C3%AAs-encalha-no-gua%C3%ABa-1.215288>>. Acesso em: 26 ago. 2023.

KOEPPEN, W. **Climatologia: um estúdio de los climas de la tierra**. 1948. Fondo de Cultura Económica, México. 478p.

LOURENÇO, Luciano. Análise de riscos e gestão de crises. O exemplo dos incêndios florestais. **Territorium**, n. 10, p. 89-100, 2003.

MARÍTIMO, REDAÇÃO PORTAL. Petroleiro italiano é desencalhado no Rio Guaíba. **Portal Marítimo**, 25 out. 2016. Disponível em: <<https://portalmaritimo.com/petroleiro-italiano-e-desencalhado-no-rio-guaiba/>>. Acesso em: 26 ago. 2023.

MIGUEMS, A. P. **Navegação: a ciência e a arte**. Niterói, 1996. v. 3.

MONTEZUMA, P. N. **Modelagem de cenários de derramamento de óleo na Baía de Ilha Grande para elaboração do Plano de Emergência**. 2004. Projeto Final de Curso – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 91p.

NICOLODI, J. L. **O padrão de ondas no Lago Guaíba e sua influência nos processos de sedimentação**. 2007. Tese de Doutorado - Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PISA (Projeto Integrado Socioambiental): LERSCH, E. C.; HOFFMANN, C. X.; ROSMAN, P. C. C. **Segundo Relatório Complementar de Avaliação de Impacto do Projeto Integrado Socioambiental ETE Serraria: Aplicação dos Modelos Matemáticos Transientes SisBaHiA e IPH-A**. 2013. Porto Alegre.

POMPERMAYER, Fabiano Mezadre; CAMPOS NETO, Carlos Álvares da Silva; DE PAULA, Jean Marlo Pepino. **Hidroviás no Brasil: perspectiva histórica custos e institucionalidade**. Texto para Discussão, 2014. RIGON, Letícia T. et al. Descarga sólida em suspensão do sistema

fluvial do Guaíba, RS, e sua variabilidade temporal. **Pesquisas em Geociências**, v. 39, n. 2, p. 161-171, 2012.

POPA, Notícias do. Encalhe na neblina. **Acervo Popa**, Porto Alegre, 19 jun. 2008. Disponível em: <[https://acervo.popa.com.br/noticias/index\\_abr08-jun08.htm](https://acervo.popa.com.br/noticias/index_abr08-jun08.htm)>. Acesso em: 14 ago. 2023.

PORTOSRS. **Portos RS**. Disponível em: <[https://www.portosrs.com.br/site/comunidade\\_portuaria/porto\\_alegre/conheca\\_o\\_porto](https://www.portosrs.com.br/site/comunidade_portuaria/porto_alegre/conheca_o_porto)>. Acesso em: 10 ago. 2023.

PORTOSRS. **Portos RS**. Disponível em: <<https://www.portosrs.com.br/site/estrutural/hidroviavias/apresentacao>>. Acesso em: 10 ago. 2023.

POVO, CORREIO DO. Embarcação com 2 mil toneladas de óleo combustível é desencalhada em Itapuã. **Correio do Povo**, Porto Alegre, 22 jun. 2023. Disponível em: <<https://www.correiodopovo.com.br/not%C3%ADcias/cidades/embarca%C3%A7%C3%A3o-com-2-mil-toneladas-de-%C3%B3leo-combust%C3%ADvel-%C3%A9-desencalhada-em-itapu%C3%A3-1.1051727>>. Acesso em: 15 ago. 2023.

POVO, CORREIO DO. Navio encalha no Guaíba, em Porto Alegre. **Correio do Povo**, Porto Alegre, 22 jan. 2021. Disponível em: <<https://www.correiodopovo.com.br/not%C3%ADcias/geral/navio-encalha-no-gua%C3%ADba-em-porto-alegre-1.559316>>. Acesso em: 15 ago. 2023.

PUHL, E.; MICHELON, C. R. **Relatório De Atividades do Subprograma de Monitoramento e Modelagem Hidrossedimentológica e da Qualidade da Água do Programa de Gestão Ambiental do Porto de Porto Alegre**. Junho de 2023. Porto Alegre.

SANTOS, Hermes Vargas dos. Navio-Tanque encalha em Porto Alegre. **Acervo Popa**, Porto Alegre, 9 out. 2007. Disponível em: <<https://acervo.popa.com.br/docs/cronicas/kalia.htm>>. Acesso em: 15 ago. 2023.

SCOTTA, F. C. **A hidrodinâmica e sedimentologia do rio Guaíba analisados por sensores geoacústicos e orbitais**. Tese de Doutorado apresentada como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Ciências. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2018.

SCOTTÁ, F. C.; ANDRADE, M. M.; WESCHENFELDER, J.; TOLDO JR, E. E.; NUNES, J. C. R. **Descarga líquida e sólida em suspensão no Rio Guaíba, RS, Brasil**. 2020. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre. Vol. 47, n. 3 (dez. 2020), e094818. 19 p.

**Ship ARIETTA (Bulk Carrier) Registered in Malta - Vessel details, Current position and Voyage information - IMO 9545065, MMSI 256672000, Call Sign 9HA2902**. Disponível em: <<https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:302364/mmsi:256672000/imo:9545065/vessel:ARIETTA>>. Acesso em: 26 ago. 2023.

**Ship DIONI (Bulk Carrier) Registered in Liberia - Vessel details, Current position and Voyage information - IMO 9425930, MMSI 636020187, Call Sign D5YC2**. Disponível em: <<https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:410242/mmsi:636020187/imo:9425930/vessel:DIONI>>. Acesso em: 26 ago. 2023.



**Ship PAPOULA (Tanker) Registered in Brazil - Vessel details, Current position and Voyage information - IMO 0, MMSI 710100009, Call Sign PU2693.** Disponível em: <<https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:5346735/mmsi:710100009/imo:0/vessel:PAPOULA>>. Acesso em: 26 ago. 2023.

**Ship PEBBLE BEACH (Bulk Carrier) Registered in Malta - Vessel details, Current position and Voyage information - IMO 9595979, MMSI 229276000, Call Sign 9HA3194.** Disponível em: <[https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:2154/mmsi:229276000/imo:9595979/vessel:PEBBLE\\_BEACH](https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:2154/mmsi:229276000/imo:9595979/vessel:PEBBLE_BEACH)>. Acesso em: 26 ago. 2023.

**Ship PROFESSOR LUIZ L.DE FARIA (General Cargo) Registered in - Vessel details, Current position and Voyage information - IMO 8204810, MMSI -8204810, Call Sign.** Disponível em: <[https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:910254/mmsi:-8204810/imo:8204810/vessel:PROFESSOR\\_LUIZ\\_L\\_DE\\_FARIA](https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:910254/mmsi:-8204810/imo:8204810/vessel:PROFESSOR_LUIZ_L_DE_FARIA)>. Acesso em: 26 ago. 2023.

**Ship SUPER HENRY (Bulk Carrier) Registered in Panama - Vessel details, Current position and Voyage information - IMO 9407483, MMSI 352001819, Call Sign 3E2635.** Disponível em: <[https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:461979/mmsi:352001819/imo:9407483/vessel:SUPER\\_HENRY](https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:461979/mmsi:352001819/imo:9407483/vessel:SUPER_HENRY)>. Acesso em: 26 ago. 2023.

**Ship SYN ANTARES (LPG Tanker) Registered in Italy - Vessel details, Current position and Voyage information - IMO 9512848, MMSI 247369100, Call Sign IBKX.** Disponível em: <[https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:3320/mmsi:247369100/imo:9512848/vessel:SYN\\_ANTARES](https://www.marinetraffic.com/en/ais/details/ships/shipid:3320/mmsi:247369100/imo:9512848/vessel:SYN_ANTARES)>. Acesso em: 26 ago. 2023.

**SisBAHIA. Manual do Usuário.** Disponível em: <<http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/ManualSisBAHIA/A1Index.htm>>. Acesso em: 17 ago. 2023.

**SISBAHIA. Referência Técnica do SisBaHiA.** 2023. Disponível em: [http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/SisBaHiA\\_RefTec\\_v11b.pdf](http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/SisBaHiA_RefTec_v11b.pdf).

VASCONSELOS, Vanderlan. EXCLUSIVO - Navio mercante “Pebble Beach” encalha no lago Guaíba. **Vanderlan Esclarece.** 27 ago. 2015. Disponível em: <<http://vcvesteio.blogspot.com/2015/08/exclusivo-navio-mercante-pebble-beach.html>>. Acesso em: 15 ago. 2023.

VCV ESTEIO. Disponível em: <<http://vcvesteio.blogspot.com/2011/08/>>. Acesso em: 26 ago. 2023.

VETTORI, Samuel. Rebocador tenta desencalhar navio em Porto Alegre. **Rádio Gaúcha,** Porto Alegre, 14 ago. 2011. Disponível em: <<https://www.correiodopovo.com.br/not%C3%ADcias/geral/rebocador-tenta-desencalhar-navio-em-porto-alegre-1.69722>>. Acesso em: 15 ago. 2023.

WINK, Luciamem. Navio com bandeira da Libéria encalha no Guaíba, em Porto Alegre. **Correio do Povo,** Porto Alegre, 31 ago. 2013. Disponível em: <<https://www.correiodopovo.com.br/not%C3%ADcias/geral/navio-com-bandeira-da>>

lib%C3%A9ria-encalha-no-gua%C3%ADba-em-porto-alegre-1.125254>. Acesso em: 15 ago. 2023.

## APÊNDICE A – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS EMBARCAÇÕES.

No Quadro 4 são apresentados os nomes dos navios, tipo de navio, seu comprimento e largura, peso bruto e sua capacidade de carga, em toneladas.

Quadro 4 – Principais características das embarcações.

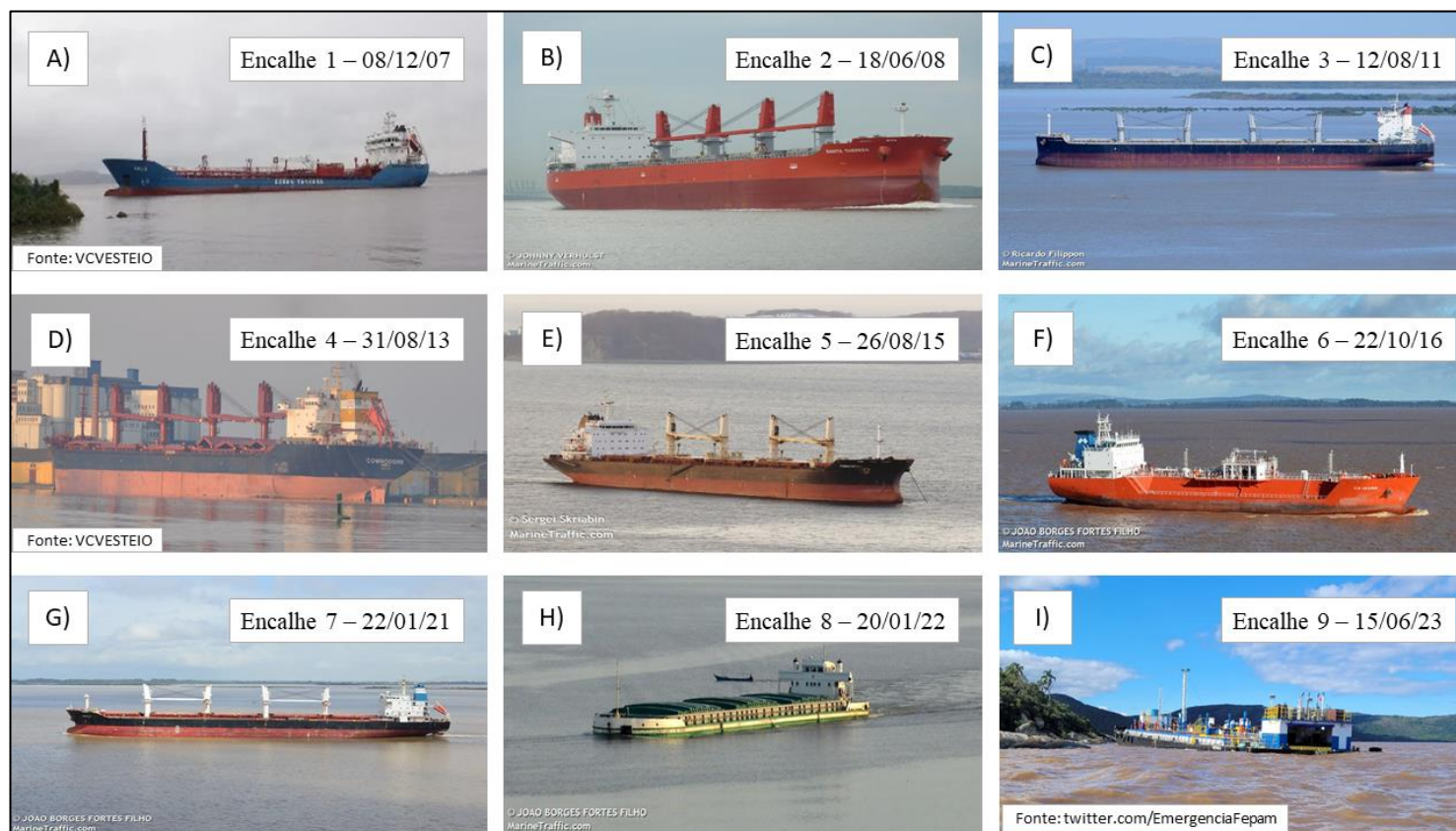
<b>Ano</b>	<b>Navio</b>	<b>Tipo</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Largura (m)</b>	<b>Peso Bruto (Ton)</b>	<b>Capacidade De Carga (Ton)</b>
2007	Kalia	Tanque	109.1	16	-	5771
2008	Santa Theresa	Graneleiro	189.9	32.26	30816	55430
2011	Santa Katarina	Graneleiro	189.99	32.26	32287	58096
2013	Commodore	Graneleiro	171.45	27	18675	-
2015	Pebble Beach	Graneleiro	189.9	28.36	24195	37003
2016	Syn Antares	Gaseiro	122.87	19	7610	9230
2021	Arietta	Graneleiro	180.4	30.04	22400	35083
2022	Prof. Luiz L. de Faria	Carga Geral	84.71	14	1768	3200
2023	Papoula	Tanque	66	15	-	-

Fonte: O autor (2023).

## APÊNDICE B - FOTOS DAS EMBARCAÇÕES DE CADA ENCALHE.

No Apêndice são mostradas as fotos de cada embarcação sendo: A) Kalia; B) Santa Theresa; C) Santa Katarina; D) Commorode; E) Pebble Beach; F) Syn Antares; G) Arietta; H) Prof. Luiz L. De Faria; I) Papoula.

Figura 14 - Fotos das embarcações de cada encalhe.



Fonte: O autor (2023).

## APÊNDICE C - ANÁLISE DO NEVOEIRO E DA VAZÃO MÉDIA.

No Quadro 5 é feita a análise da ocorrência de nevoeiro em cada dia de encalhe registrado na hidrovia do rio Guaíba com hora de início e fim do evento, duração e a menor visibilidade observada.

Quadro 5 – Ocorrência de nevoeiro e vazão média diária no dia do encalhe.

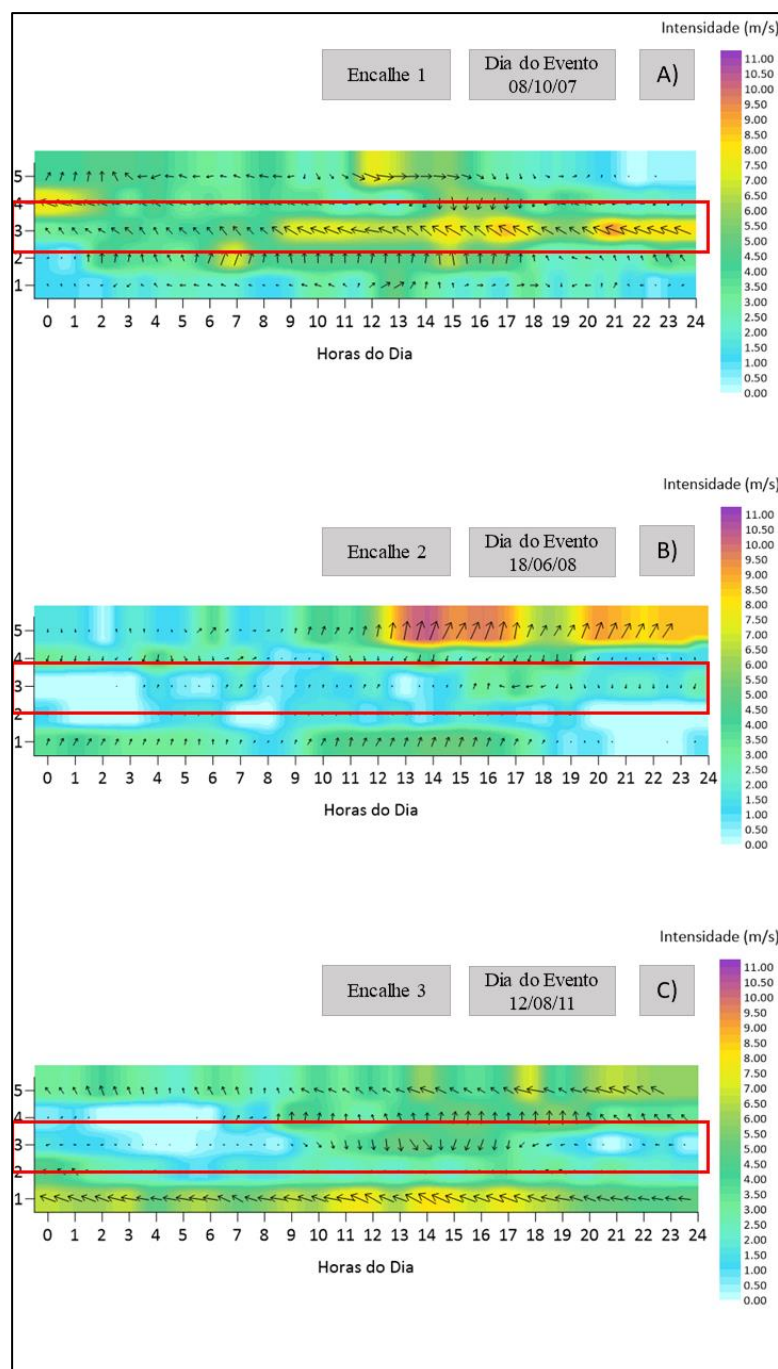
<b>Encalhe</b>	<b>Hora de Início</b>	<b>Hora de Fim</b>	<b>Horas de Nevoeiro</b>	<b>Menor Visibilidade (m)</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/s/dia)</b>
1	06:00	08:00	02:00	3000	1563,67
2	00:00	04:00	04:00	2100	1032,20
	06:00	07:00	01:00	800	
3	Sem ocorrência no dia do evento				5052,68
4	05:00	08:00	03:00	3900	4367,25
5	13:00	20:00	07:00	3000	3303,16
6	Sem ocorrência no dia do evento				7089,37
7	Sem ocorrência no dia do evento				313,81
8	Sem ocorrência no dia do evento				196,96
9	Sem ocorrência no dia do evento				5457,49

Fonte: O autor (2023).

## APÊNDICE D - MAPA DOS VENTOS DOS ENCALHES.

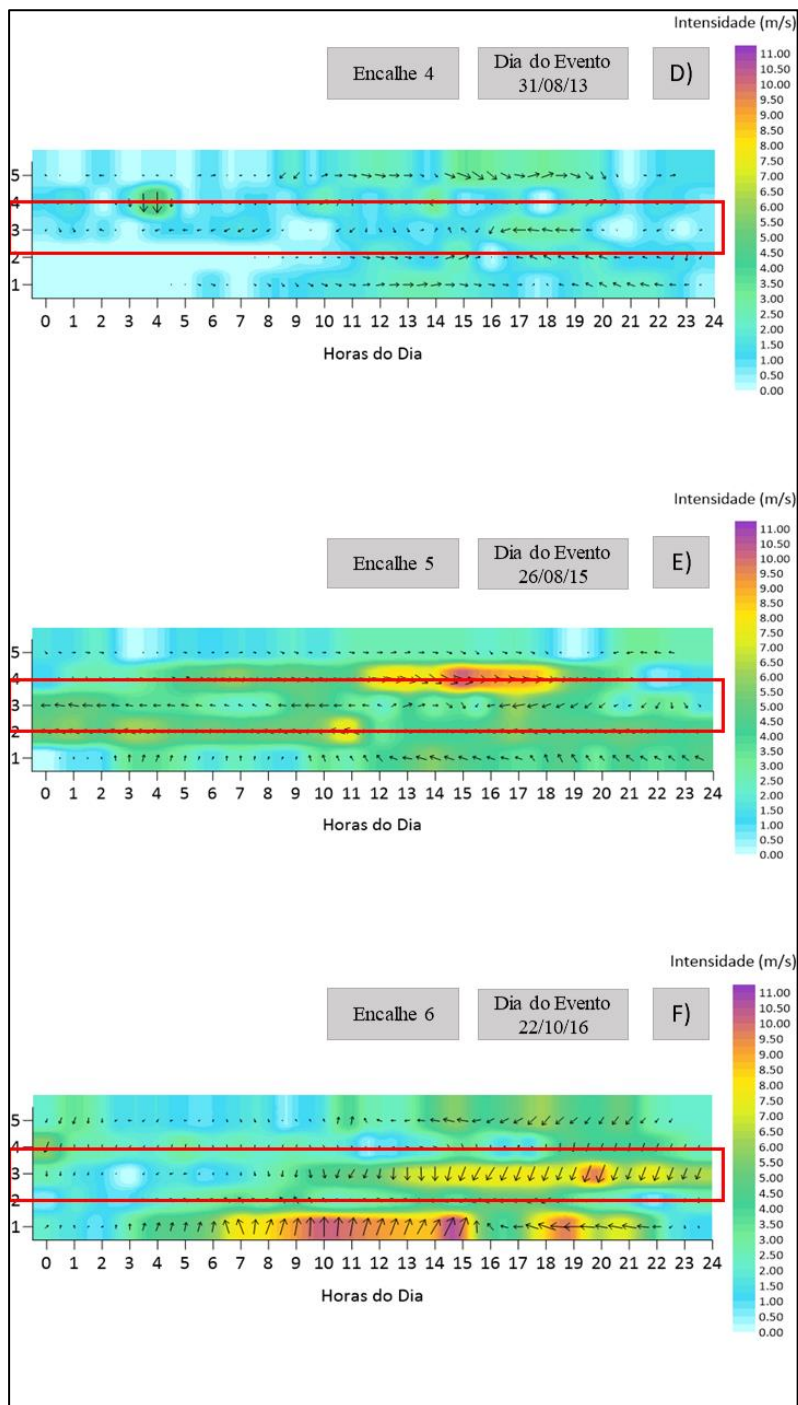
Neste Apêndice é apresentado o mapa de ventos do dia do primeiro, segundo e terceiro encalhe, onde: A) Encalhe 1, B) Encalhe 2 e C) Encalhe 3, D) Encalhe 4, E) Encalhe 5 e F) Encalhe 6, G) Encalhe 7, H) Encalhe 8 e I) Encalhe 9. O quadro em vermelho demarcando o dia “3” do mapa, representa o dia em que o encalhe ocorreu. A seta representa a direção do vento em relação ao norte (azimute).

Figura 15 - Mapa de ventos do encalhe 1, encalhe 2 e encalhe 3.



Fonte: O autor (2023).

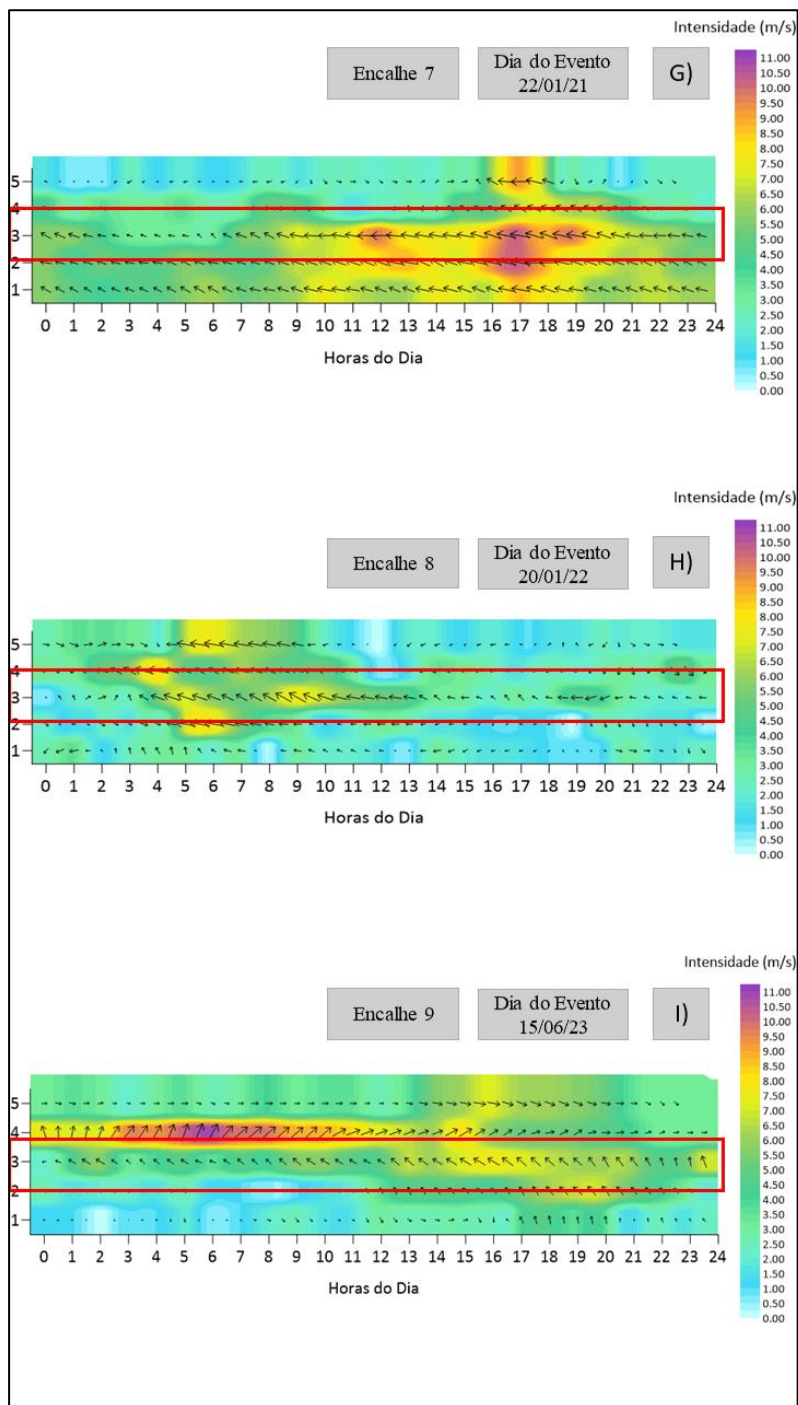
Figura 16 - Mapa de ventos do encalhe 4, encalhe 5 e encalhe 6.



Fonte: O Autor (2023).



Figura 17 - Mapa de ventos do encalhe 7, encalhe 8 e encalhe 9.



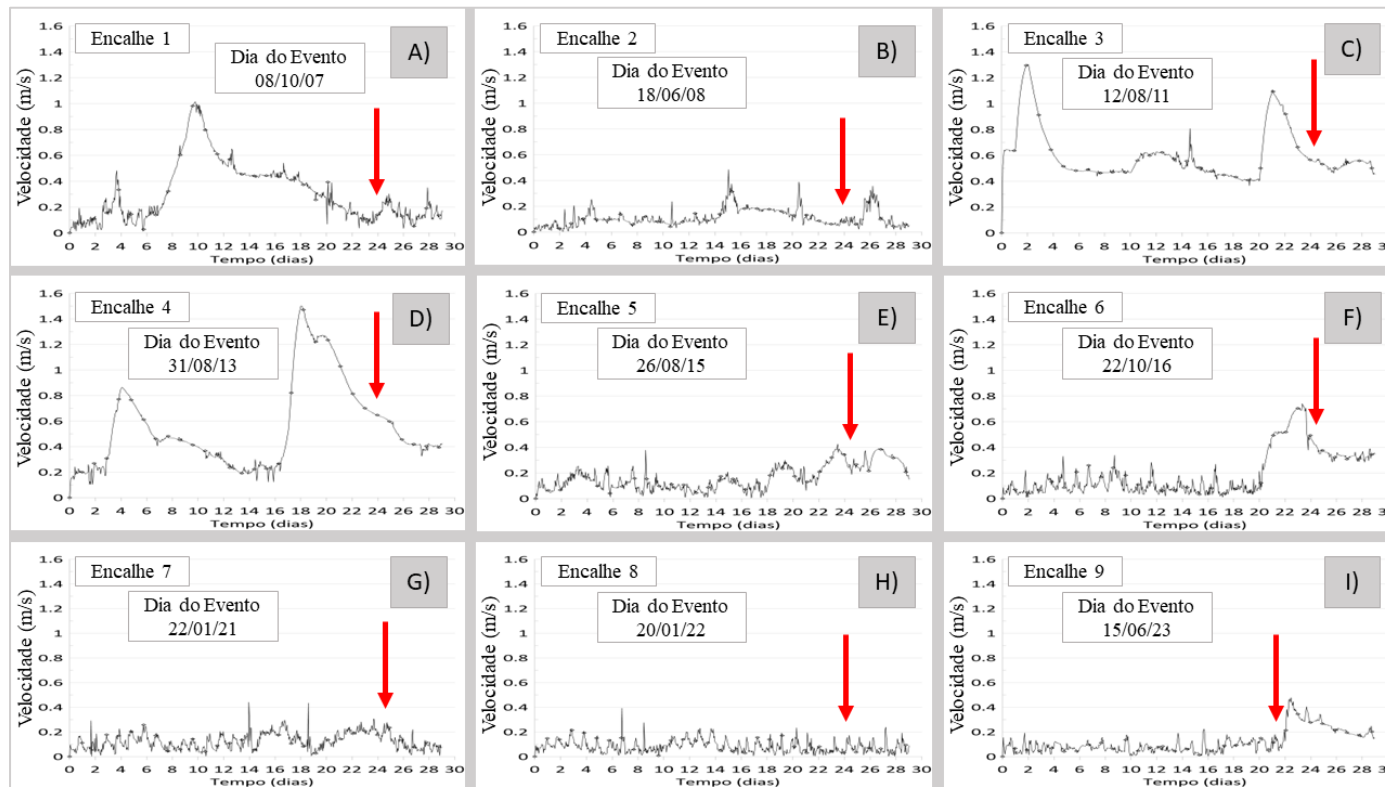
Fonte: O autor (2023).



## APÊNDICE E – VELOCIDADE DAS CORRENTES NA SUPERFÍCIE DA REGIÃO DOS ENCALHES.

Neste Apêndice são apresentadas as velocidades das correntes superficiais no local do encalhe, onde: A) Encalhe 1; B) Encalhe 2; C) Encalhe 3; D) Encalhe 4; E) Encalhe 5; F) Encalhe 6; G) Encalhe 7; H) Encalhe 8; I) Encalhe 9. A flecha vermelha representada nos gráficos indica o dia do encalhe na simulação numérica.

Figura 18 – Gráficos da velocidade das correntes de cada encalhe.

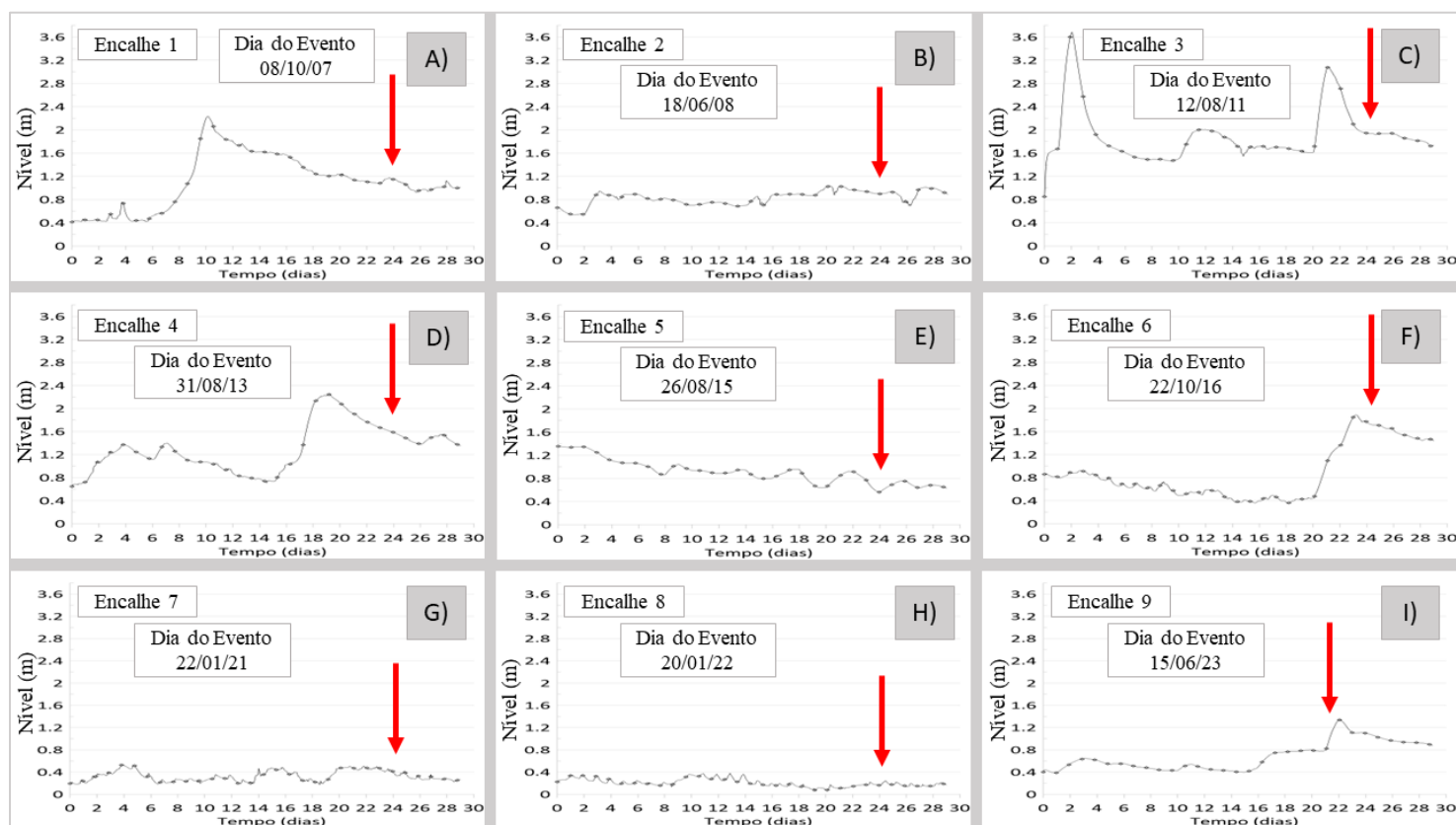


Fonte: O autor (2023).

## APÊNDICE F – NÍVEL DA SUPERFÍCIE D'ÁGUA NA REGIÃO DO ENCALHE.

Neste Apêndice são apresentados os níveis da linha d'água (em relação ao Nível de Redução) no local do encalhe, onde: A) Encalhe 1; B) Encalhe 2; C) Encalhe3; D) Encalhe 4; E) Encalhe 5; F) Encalhe 6; G) Encalhe 7; H) Encalhe 8; I) Encalhe 9. A flecha vermelha representada nos gráficos indica o dia do encalhe na simulação numérica.

Figura 19 – Gráficos da elevação da superfície (em relação ao NR) para cara encalhe.

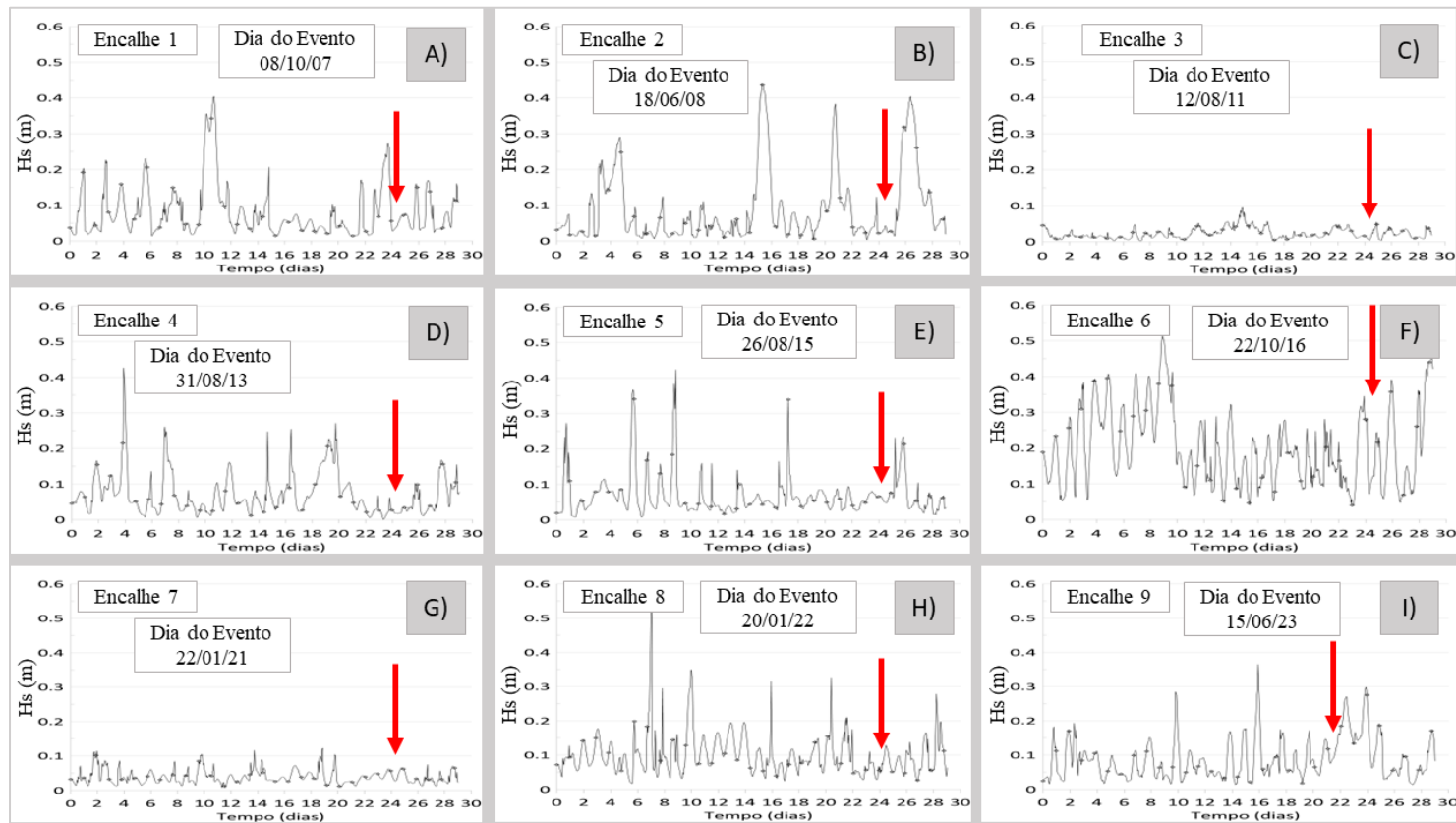


Fonte: O autor (2023).

## APÊNDICE G – ALTURA SIGNIFICATIVA DAS ONDAS NA REGIAO DO ENCALHE.

Neste Apêndice são apresentadas as alturas significativas das ondas ( $H_s$ ) no local do encalhe, onde: A) Encalhe 1; B) Encalhe 2; C) Encalhe3; D) Encalhe 4; E) Encalhe 5; F) Encalhe 6; G) Encalhe 7; H) Encalhe 8; I) Encalhe 9. A flecha vermelha representada nos gráficos indica o dia do encalhe na simulação numérica.

Figura 20 – Gráficos da altura significativa das ondas para cada encalhe.



Fonte: O Autor (2023).