

ISSN 0373-9260



*MARINHA DO BRASIL  
DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO*

# *ANAIHIDROGRÁFICOS*

*REVISTA ANUAL DA DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO*

*TOMO LXXVII*

*BRASIL*

ANAIHIDROGRÁFICOS	RIO DE JANEIRO	T. 77	p. 1-224	2020
-------------------	----------------	-------	----------	------

**ANAIS HIDROGRÁFICOS** – Publicação anual que tem o propósito de manter os hidrógrafos e a comunidade científica marítima informados sobre as atividades desenvolvidas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), bem como divulgar, por meio de artigos técnico-científicos, os diversos assuntos conduzidos no âmbito desta Diretoria.

EDIÇÃO: Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino (CIAARA).  
CONSELHO EDITORIAL da DHN.

*Os trabalhos originais e inéditos aqui publicados são de propriedade da DHN e de seus autores. Portanto, só podem ser reproduzidos, em parte ou no todo, com a expressa autorização de ambas as partes. Os conteúdos dos artigos são de responsabilidade dos autores, não constituindo necessariamente a opinião da DHN.*

**AOS AUTORES** – A revista aceita colaboração, na forma de trabalhos originais e inéditos, ou de resumos informativos e resenhas críticas de teses, artigos técnico-científicos, conclave ou palestras relativas à Hidrografia, Navegação, Sinalização Náutica, Oceanografia, Geologia, Geofísica Marinha e Meteorologia Marinha. As colaborações devem ser entregues digitadas em meio magnético, em editor de texto LibreOffice, acompanhadas dos originais, ao Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino (CIAARA) até a 1ª quinzena de março. O texto dos originais deve ter entre 250 e 500 linhas e o das resenhas/resumos entre 75 e 150 linhas. Na confecção dos artigos devem-se seguir as seguintes Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): NBR 6021, NBR 6022, NBR 6023, NBR 6024, NBR 6027, NBR 6028, NBR 10520 e NBR 14724. As referências bibliográficas devem ser apresentadas em lauda separada. Os trabalhos devem ser acompanhados de um sumário, com o máximo de 10 linhas, e do currículo do autor, com até 5 linhas, iniciando-se pelo seu nome.

ANAIS HIDROGRÁFICOS  
Diretoria de Hidrografia e Navegação  
Rua Barão de Jaceguai s/n  
24048-900 - Niterói, RJ - BRASIL

© Diretoria de Hidrografia e Navegação – Marinha do Brasil. 2021.

A532 Anais Hidrográficos / Diretoria de Hidrografia e Navegação.  
2020 Niterói, RJ: DHN; 1933 –  
t. 77, p. 224 : il., graf.

Anual

ISSN 0373-9260

1. Hidrografia I – Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegação.

CDD 551. 46005

## APRESENTAÇÃO

É com grande satisfação que torno público o Tomo LXXVIII dos “Anais Hidrográficos”, com o registro de alguns trabalhos e realizações da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e suas Organizações Militares subordinadas durante o ano de 2020. Aproveito para ressaltar que 2020 foi um ano repleto de desafios e incertezas, em virtude da pandemia mundial do coronavírus SARS-COV-2. Todavia, a DHN prosseguiu com serenidade e firmeza, conforme os valores presentes na Rosa das Virtudes, a fim de cumprir a sua Missão.

Desde 1933, este importante periódico promove a divulgação das atividades desenvolvidas, das efemérides, bem como a publicação de alguns artigos técnico-científicos produzidos no âmbito da DHN. A presente edição também apresenta os conclaves, intercâmbios e eventos de capacitação, dos quais participaram o nosso pessoal, assim como os cursos de aperfeiçoamento e especialização, que contribuíram para a qualificação e o aprimoramento dos profissionais do mar dedicados às lides hidrográficas e de faróis.

Dentre os trabalhos técnicos aqui apresentados, estão artigos que tratam da compatibilização do datum vertical das cartas náuticas e cartas terrestres; a análise do risco de navegação ao longo de um canal de entrada a partir de simulações probabilísticas; a caracterização dos eventos de ressurgência em Cabo Frio utilizando os dados de uma boia; a análise da energia dos seiches no lago Titicaca, situado na Bolívia, utilizando modelagem numérica e equações analíticas; análise da deriva de objetos nos oceanos através da modelagem numérica oceanográfica aplicada às operações de salvamento e resgate; sistema de medição expedita de ondas em evento de ressaca marítima, na praia de Copacabana (realizado em cooperação com a Petrobrás); estudo da anomalia da cobertura do gelo marinho na região da passagem de Drake durante o verão austral de 2015/2016 e sua relação com El Niño - Oscilação Sul (ENOS); e monitoramento da concentração de metais na água da região adjacente à base de submarinos na baía de Sepetiba.

Desta forma, desejo a todos uma boa leitura, contemplando a excelência e a relevância dos trabalhos aqui realizados, com foco, principalmente, na produção e divulgação do conhecimento técnico-científico, visando à salvaguarda da vida humana, ao desenvolvimento nacional e à aplicação do Poder Naval.



EDGAR LUIZ SIQUEIRA BARBOSA  
Vice-Almirante

Diretor de Hidrografia e Navegação

# SUMÁRIO

6	<b>PRINCIPAIS CARGOS E FUNÇÕES DURANTE O ANO DE 2020</b>	
11	<b>I – AULA INAUGURAL DO 73º CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE HIDROGRAFIA PARA OFICIAIS (CAHO)</b>	
24	<b>II – PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA</b> 1 - Produção cartográfica de 2016 a 2020 2 - Lista completa das cartas e outras publicações náuticas produzidas pela DHN	
25	<b>III – PROGRAMAS DE CONCLAVES E INTERCÂMBIOS</b> 1 - Conclaves 2 - Intercâmbios	
26	<b>IV – CURSOS E ESTÁGIOS EM INSTITUIÇÕES EXTRA-MB</b> 1 - Cursos 2 - Estágios	
26	<b>V – CURSOS REGULARES</b> 1 - Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais (CAHO) 2 - Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia e Navegação (C-Ap-HN) 3 - Curso de Aperfeiçoamento de Faroleiro (C-Ap-FR) 4 - Curso de Especialização em Hidrografia e Navegação (C-Espc-HN) 5 - Curso de Especialização de Faroleiro (C-Espc-FR)	
36	<b>VI – COMISSÕES</b> 1 - Comissões realizadas pelos navios do Grupamento de Navios Hidroceanográficos (GNHo) 2 - Comissões realizadas pelos navios do Centro de Hidrografia e Navegação do Norte (CNH-4)	
65	<b>VII – ARTIGOS CIENTÍFICOS*</b> <b>COMPATIBILIZAÇÃO DO DATUM VERTICAL DAS CARTAS NÁUTICAS E CARTAS TERRESTRES</b> CC (T) CESAR HENRIQUE DE OLIVEIRA BORBA	
84	<b>ANÁLISE DO RISCO DE NAVEGAÇÃO AO LONGO DE UM CANAL DE ENTRADA A PARTIR DE SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS</b> CC MARCOS ANTONIO DE SOUZA SILVA SUSANA BEATRIZ VINZON JEAN DAVID JOB EMMANUEL MARIE CAPRACE JOSEFA VARELA GUERRA	
106	<b>CARACTERIZAÇÃO DOS EVENTOS DE RESSURGÊNCIA EM CABO FRIO POR MEIO DOS DADOS DE UMA BOIA METEOCEANOGRÁFICA DO PROGRAMA NACIONAL DE BOIAS (PNBOIA): MARÇO DE 2012 A FEVEREIRO 2013</b> ALEXANDRE LUIZ COELHO THAISE SENA OLIVEIRA JULIANA MARQUES COELHO BORBA THALITA MIRIAN SANTOS FURTADO EDUARDO JOSÉ ARAÚJO CORREIA LIMA HÉLIO JORGE DA PAIXÃO MARQUES	
133	<b>ANÁLISE PRELIMINAR DA ENERGIA DOS SEICHES NO LAGO TITICACA, UTILIZANDO UM MODELO NUMÉRICO 2DH E EQUAÇÕES ANALÍTICAS</b> GREGÓRIO LUIZ GALVÃO TEIXEIRA MARIO ROCHA JUNIOR	
148	<b>SISTEMA DE MEDIÇÃO EXPEDITA DE ONDAS – ESTUDO DE CASO: EVENTO DE RESSACA MARÍTIMA, PRAIA DE COPACABANA</b> FELIPPE GALDINO 1ºTEN (T) FELIPE SERRANO LÉLLIS CT (T) TOBIAS RAMALHO DOS SANTOS FERREIRA LUIZ ALEXANDRE A. GUERRA ANDRÉ LIMA TORRES MENDES	
166	<b>ESTUDO DA ANOMALIA DA COBERTURA DO GELO MARINHO NA REGIÃO DA PASSAGEM DE DRAKE DURANTE O VERÃO AUSTRAL DE 2015/2016 E SUA RELAÇÃO COM O ENOS</b> MARIANA ROCHA CARDOSO ANA CRISTINA PINTO DE ALMEIDA PALMEIRA	

\*Os artigos enviados são submetidos a avaliação e estão sujeitos a modificações, obedecendo a critérios do nosso estilo editorial.

CT (T) RODRIGO DE SOUZA BARRETO MATHIAS  
MARIE FERNANDA MASSARICO CARDOSO

**180 A DERIVA DE OBJETOS NOS OCEANOS:  
UMA AVALIAÇÃO COMPARATIVA  
ATRAVÉS DA MODELAGEM NUMÉRICA  
OCEANOGRÁFICA APLICADA ÀS  
OPERAÇÕES DE SALVAMENTO E  
RESGATE (SAR)**

1ºTEN THIAGO ZAMITH CUNHA  
1ºTEN (T) ANDRÉ LUIZ ARAUJO DAMIÃO  
RAQUEL LEITE MELLO

**196 MONITORAMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE  
METAIS NA ÁGUA DA REGIÃO ADJACENTE  
À BASE DE SUBMARINOS DA ILHA DA  
MADEIRA, BAÍA DE SEPETIBA, BRASIL**

FERNANDA FREYESLEBEN THOMAZELLI  
NAFISA RIZZINI ANSARI  
EMANUELE PEREIRA DO MONTE PAGANELLY  
BATISTA  
RAFAELLA FONTOURA DE OLIVEIRA  
MONIQUE DIAS CORRÊA DE SOUZA  
CMG MÁRCIO MARTINS LOBÃO

**211 VIII – EFEMÉRIDES HIDROGRÁFICAS**

1 - Ativação do Centro de Instrução e Adestramento  
Almirante Radler de Aquino (CIAARA)  
2 - Centro de Hidrografia da Marinha (CHM)  
3 - Grupamento de Navios Hidroceanográficos (GNHo)

**219 IX – ARTIGO ESPECIAL**

A SOCIEDADE BRASILEIRA DE HIDROGRAFIA  
(SBHidro)  
CMG (RM1) EDSON CARLOS FURTADO MAGNO  
Diretor-Adjunto da SBHidro

**223 X – MISCELÂNEA**

17ª Gincana de Pintura da DHN

## ANAIS HIDROGRÁFICOS

Publicação anual, produzida pela Diretoria de Hidrografia e Navegação e editada pelo Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino localizado na Rua Barão de Jaceguai, s/no Ponta da Armação CEP 24048-900 – Niterói – RJ

### Diretor

VAte Edgar Luiz Siqueira Barbosa

### Presidente do Conselho Técnico

CMG João Candido Marques Dias

### Coordenador

CMG Paschoal Mauro Braga Mello Filho

### Editor

1ºTen (RM2-T) Adenilson de Jesus Nascimento

### Revisores de Texto

CC Daniel de Azevedo Dias dos Santos  
1ºTen (RM2-T) Adenilson de Jesus Nascimento  
2ºTen (RM2-T) Tamires Huguenin Corrêa  
CB-EL Jacson Silva Ferreira  
CB-AM Paulo Phelipe Juschtechechen  
Klassmann

### Revisores de Conteúdo

Conselho Técnico

### Projeto Gráfico e Editoração

Departamento Industrial Gráfico da BHMN  
SC Adriana de Jesus Matos  
SC Marcos Mendonça de Moraes  
CB-GR Valter Luiz da Silva Santos  
CB-GR Thamires F. Avelino dos Santos  
CB-GR Danielle dos Santos Francelino

Visite os Anais Hidrográficos em:

<https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=pt-br/anais-hidrograficos>



# PRINCIPAIS CARGOS E FUNÇÕES DURANTE O ANO DE 2020

## **DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN)**

### **Diretor**

VALte Edgar Luiz Siqueira Barbosa

### **Vice-Diretor**

CMG João Candido Marques Dias

### **Superintendente Técnico**

CMG (RM1) Edson Carlos Furtado Magno

### **Superintendente de Administração**

CMG (T) Marcelo Vieira da Silva

### **Superintendente de Capacitação de Pessoal e Gestão do Conhecimento**

CMG (RM1) Robson da Silva Galhardo

### **Superintendente de Logística**

CMG (RM1) Marcos Ulisses Diniz Sobreira

## **GRUPAMENTO DE NAVIOS HIDROCEANOGRÁFICOS (GNHo)**

### **Comandante**

CMG Pedro Augusto Bittencourt Heine Filho

### **Imediato**

CF Carlos Alexandre Costa de Oliveira

**Encarregado da Seção da Logística**  
CMG (RM1) René Pacheco Filho

**Encarregado da Seção da Organização**  
CC Heldio Loures Perrotta

**Encarregado da Seção de Operações**  
CC Márcio Morais de Lima

**Encarregado da Seção de Inteligência**  
CC Phellipe de Araújo Magalhães

**Encarregado do Grupo de Administração**  
CT Walter Muniz Senna Neto

## **CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA (CHM)**

### **Diretor**

CMG Marcelo Reis da Silva

### **Vice-Diretor**

CMG Alexandre Silveira Varanda Pereira

**Superintendente de Meteorologia  
e Oceanografia**

CMG Emma Giada Matschinske

**Superintendente de Segurança da Navegação**

CMG Cesar Reinert Bulhões de Moraes

**Superintendente de Tecnologia da Informação e Comunicações**  
CF (T) Márcia Cristina Silva Esteves

**Superintendente de Informações Ambientais**  
CF (T) Vladimir Costa Maluf

**Superintendente de Administração**  
CF Paulo Fabriccio Cardoso Garcez

### **BASE DE HIDROGRAFIA DA MARINHA EM NITERÓI (BHMN)**

**Comandante**  
CMG Mario Orlando de Carvalho Júnior

**Imediato**  
CMG Leonardo Diogo da Silva

**Chefe do Departamento de Material e Serviços Náuticos**  
CC Thiago Gomes de Oliveira

**Chefe do Departamento de Intendência**  
CT (QC-IM ) Aline Luz de Oliveira Ferreira

**Chefe do Departamento de Administração**  
CC (Md) Carla Leira de Oliveira

**Chefe do Departamento de Industrial Gráfico**  
CT (T) Flavia de Paula Pinto

**Chefe do Departamento de Apoio**  
1ºTen (RM2-EN) Jônathas Malaguth Costa

### **CENTRO DE AUXÍLIOS À NAVEGAÇÃO ALMIRANTE MORAES REGO (CAMR)**

**Diretor**  
CMG Alex Pinto Babinsck

**Vice-Diretor**  
CF Pietro Piacentini Junior

**Departamento de Auxílios a Navegação**  
CC Marcos Felipe Marinhos Moura

**Departamento do Balizamento do Sudeste**  
CT Maycon Barros Copque

**Departamento de Administração**  
CT (AA) Joelson Oliveira Torres

### **CENTRO DE INSTRUÇÃO E ADESTRAMENTO ALMIRANTE RADLER DE AQUINO (CIAARA)**

**Comandante**  
CMG Paschoal Mauro Braga Mello Filho

**Imediato**  
CF Jansen Santos Poças

Departamento de Ensino  
CC Rodrigo Felipe Marques do Nascimento

Departamento de Administração  
CC Daniel de Azevedo Dias dos Santos

### **CENTRO DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO DO NORTE (CHN-4)**

Diretor  
CF Itamar da Silva dos Santos

Vice-Diretor  
CC Felipe Ferreira da Silva

Chefe do Departamento de Operações  
CT Thierry Pires da Silva

Chefe do Departamento de Logística  
CT Gustavo Mandarino Borges de Lima

### **NAVIO DE APOIO OCEANOGRÁFICO "ARY RONGEL"**

Comandante  
CMG Paulo Max Villas da Silva

Imediato  
CF Douglas Luiz da Silva Pereira

### **NAVIO POLAR "ALMIRANTE MAXIMIANO"**

Comandante  
CMG Anderson Marcos Alves da Silva

Imediato  
CF Eduardo Pereira de Rezende

### **NAVIO DE PESQUISA HIDROCEANOGRÁFICO "VITAL DE OLIVEIRA"**

Comandante  
CMG Márcio Borges Ferreira

Imediato  
CF Alexandre Fonseca de Azeredo

### **NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO "CRUZEIRO DO SUL"**

Comandante  
CF Edmar Rodrigues Alves

Imediato  
CC Tiago Nicolay Freitas

### **NAVIO HIDROGRÁFICO "SIRIUS"**

Comandante  
CF Dante José de Andrade Alexandre

Imediato  
CC Ramon Grosso de Almeida

### **NAVIO OCEANOGRÁFICO "ANTARES"**

Comandante  
CF Fernando José Moraes Monteiro

Imediato  
CC Francisco Cláudio Gonçalves Alves

### **NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO FAROLEIRO "ALMIRANTE GRAÇA ARANHA"**

Comandante  
CF Marcelo de Abreu Souza

Imediato  
CC Edno Vieira da Rosa Neto

**NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO  
“TAURUS”**

**Comandante**

CC Carlos Daniel Sodré Vieira

**Imediato**

CT Fernando Teles Romeiro

**NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO  
“AMORIM DO VALLE”**

**Comandante**

CC Romerson Xavier Veloso

**Imediato**

CC Leonardo da Silva Vieira

**AVISO HIDROCEANOGRÁFICO  
FLUVIAL “RIO TOCANTINS”**

**Comandante**

CT Gustavo Mandarino Borges  
de Lima (até JUL2020); e  
CT Rubens Ikeuti

**Imediato**

CT Marcelo Cardoso de Souza

**AVISO DE PESQUISA  
“ASPIRANTE MOURA”**

**Comandante**

CT João Celso Silva de Deus

**Imediato**

CT Thiago Moret Siqueira

**NAVIO HIDROGRÁFICO  
BALIZADOR  
“TENENTE CASTELO”**

**Comandante**

CT Leandro de Souza Fernandes

**Imediato**

CT Estevão Nunes Ferreira

**NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO  
“GARNIER SAMPAIO”**

**Comandante**

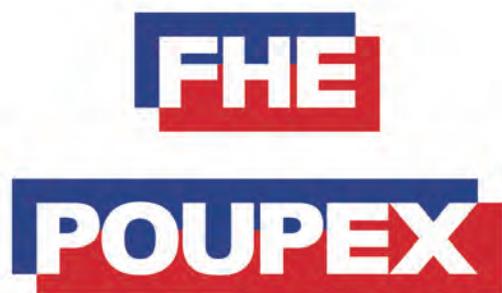
CC Alessandro Oliveira dos Santos

**Imediato**

CT Nelson Ferraz de Araujo Neto

# DIA DO HIDRÓGRAFO

APOIO:



Abrigo do Marinheiro,  
O mar de benefícios da Família Naval

Cadastre-se.  
É de graça!



Associação Brasileira  
dos Terminais Portuários



PRATICAGEM RJ



Itajaí & Navegantes  
Pilots



# I- AULA INAUGURAL DO 73º CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE HIDROGRAFIA PARA OFICIAIS (CAHO)

## Tema: A Evolução da Navegação e da Hidrografia

*Proferida pelo Vice-Almirante Edgar Luiz Siqueira Barbosa*

Aos Almirantes presentes, aos Oficiais-Alunos do CAHO, aos senhores Oficiais, professores e instrutores, boa tarde.

Nesta Aula Inaugural, discorrerei sobre o seguinte sumário:

I - Uma breve introdução, comentando sobre a relação entre a Hidrografia e a Navegação, bem como a história da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN);

II - Fatos históricos, de forma cronológica, sobre a evolução da Navegação e da Hidrografia, sendo a maior parte deles relacionados à DHN e alguns referentes ao desenvolvimento da ciência e de equipamentos náuticos; e

III - As perspectivas para a carreira do Oficial Hidrógrafo.

### I. INTRODUÇÃO

*O que vem a ser Hidrografia?*

Segundo a Organização Hidrográfica Internacional (OHI), “Hidrografia é o ramo das ciências aplicadas que trata da medição e descrição das características físicas dos oceanos, mares, áreas costeiras, lagos e rios, bem como da previsão de suas mudanças ao longo do tempo, com o objetivo principal de prover segurança na navegação e apoio a todas as outras atividades marítimas, inclusive, desenvolvimento econômico, segurança e defesa, pesquisa

científica e proteção do meio ambiente”. A OHI também menciona que a Hidrografia apoia quase todas as outras atividades ligadas ao mar, tais como: exploração de recursos minerais, gestão e proteção ambiental, turismo e navegação recreativa.

*Qual é a relação entre a Hidrografia e a Navegação?*

Primeiramente, temos que saber a definição sobre o que é a Navegação. Segundo Miguens, em seu Manual de Navegação, “navegação é a ciência e a arte de conduzir em segurança um navio de um ponto a outro da superfície da terra”. Para tal, o navegante considera informações disponibilizadas pela Cartografia, Oceanografia, Meteorologia, os Auxílios à Navegação, sensoriamento remoto, sistemas de posicionamento e outras informações. Para padronizar procedimentos, orientar e regulamentar as atividades marítimas em águas brasileiras, a Marinha estabelece Normas da Autoridade Marítima (NORMAM), sendo algumas elaboradas pela Diretoria de Portos e Costas (DPC) e outras pela DHN.

*Qual é o objetivo de um levantamento hidrográfico?*

O objetivo de um levantamento hidrográfico é a aquisição de dados georreferenciados. A partir desses levantamentos,



obtem-se a configuração da linha de costa, a profundidade das áreas de interesse, a constituição do fundo marinho, maré, corrente e propriedades físicas. Após a aquisição desses subsídios, é realizada uma análise, de modo a criar uma base de dados capaz de alimentar a produção de mapas climáticos e cartas náuticas.

#### *Qual é a missão da DHN?*

"Produzir e Divulgar informações de segurança da navegação e do ambiente marinho, a fim de contribuir para a salvaguarda da vida humana, o desenvolvimento nacional e a aplicação do Poder Naval".

Essa missão foi revisada em 2020, principalmente acrescentando-se a expressão "o desenvolvimento nacional", a fim de realçar a relevante participação da DHN na contribuição do crescimento das atividades relacionadas ao mar (Economia Azul).

#### *E quais são as áreas de conhecimento de responsabilidade do Serviço Hidrográfico Brasileiro?*

As áreas de conhecimento tratadas pelo Serviço Hidrográfico Brasileiro são: a Hidrografia; a Cartografia; a Navegação; a Meteorologia; a Oceanografia; os Auxílios à Navegação; a Geologia e a Geofísica Marinha.

#### *E servem para atender a quem?*

Ao Poder Naval, apoio à pesquisa científica e ao navegante (civil), ou seja, aos navios mercantes e também ao pessoal envolvido em atividades de pesca e lazer, por exemplo.

#### *E com qual finalidade?*

Fornecer subsídios para a segurança da navegação, contribuir para o desenvolvimento nacional e auxiliar a proteção ao meio ambiente marinho, principalmente, ajudando a evitar colisões/encalhes, que

poderão resultar em derramamentos de óleo no mar.

#### *E qual é a história da DHN?*

Resumindo rapidamente:

- em 1876 (145 anos atrás) foi criada a Repartição Hidrográfica;
- em 1891, foi renomeada para Repartição da Carta Marítima (em união com a Repartição de Faróis e a Central Meteorológica);
- em 1908, tornou-se a Superintendência da Navegação e, em 1914, teve sua sede transferida para a Ilha Fiscal (sede histórica da DHN);
- em 1924, tornou-se a Diretoria de Navegação; e
- em 1946, recebeu a denominação atual de Diretoria de Hidrografia e Navegação, e sua sede foi transferida para o Complexo Naval da Ponta da Armação (CNPA), em 1983.

## **II. A evolução da Navegação e da Hidrografia**

A partir de agora, convido-os a essa viagem no tempo, voltando a 230 a.C. (sem entrar em muitos detalhes quanto aos Fenícios e aos Vikings). Falarei de alguns acontecimentos ao longo da história e vou procurar apontar as áreas de conhecimento da DHN em cada ocasião.

Na antiguidade, os navegantes tinham dificuldade para retornar ao seu porto. Acendiam-se fogueiras para auxiliar o navegante a voltar para casa, sendo um claro sinal da necessidade dos Auxílios à Navegação. E o primeiro local onde fizeram esse tipo de iluminação foi na Ilha de Faros, no Egito – daí derivando o palavra "Farol".



Aos poucos, a área da cartografia começou a desenvolver-se, com o fito de buscar delinear a costa marítima do Mar Mediterrâneo, com os Fenícios. O registro mais antigo de uma atividade cartográfica é a “Carta Pisana”, datada do final do século XIII (1275 d.C.), ou seja, nessa época já se havia produzido uma representação cartográfica, sendo utilizada uma pele de animal, na qual, foi esboçado um contorno representando o Mar Mediterrâneo.

E nessa época, perceberam a necessidade de ter o pessoal melhor preparado para embarcarem em navios e se aventurarem mundo afora, com os recursos disponíveis. Os principais centros de navegação e comércio eram Gênova (Itália), Veneza (Itália) e Maiorca (Espanha), que tiveram grande destaque, pois foram os locais que incentivaram a criação de escolas de instrução náutica. Nesse ínterim, as cartas passaram a seguir o modelo Portulano, ou seja, passaram a ter 12 marcações em cada ponta, de modo a melhor representar as informações. Nesse passo, a Cartografia foi-se aperfeiçoando, incentivando o navegante a ir para mais longe e, assim, constatou-se a importância da capacitação de pessoal, atividade que, atualmente, é a prioridade número um na nossa Marinha.

Começou, então, a era do prumo de mão, que representou o emprego de um acessório muito importante e de princípio de funcionamento bem simples: um peso amarrado na extremidade de um cabo marcado com nós, que era lançado de uma das bordas da embarcação, de modo a determinar a profundidade e ver se um navio com o seu calado conseguiria navegar em um determinado local.

Alcançados todos esses empreendimentos, foi criada a Escola de Sagres, no século XV, em Portugal. Com a criação dessa Escola e a capacitação de pessoal daí resultante, os portugueses começaram a

aventurar-se a navegar para mais longe, para a costa da África e, posteriormente, passaram a buscar o caminho para a Índias. A cada expedição, deslocavam-se um pouco mais longe, até o momento em que, após várias tentativas, conseguiram o feito de contornar o Cabo das Tormentas, rebatizando-o de “Cabo da Boa Esperança”, ao sul da África.

Após a conquista do Cabo, seguiram contornando a Costa Oriental da África, conquistaram Moçambique, e, posteriormente, chegaram às Índias. E, depois disso, continuaram a conduzir grandes navegações, até descobrirem o Brasil, em 1500.

Contudo, os portugueses somente descobriram o Brasil graças ao desenvolvimento e melhoria de algumas tecnologias, tais como a agulha magnética, a bússola, o astrolábio (que passou a permitir uma melhor precisão na observação dos astros, a navegação astronômica), a balestrilha, a ampulheta (que ajudou no problema da mensuração do tempo entre as observações dos astros), entre outros.

E, provavelmente, o primeiro toque que houve em solo brasileiro foi o de um prumo de mão, pois o navegante, chegando em terras desconhecidas e aproximando-se da costa, certamente, fez uso desse instrumento, para verificar a profundidade local, pois o mar territorial estende-se até 12 milhas náuticas (MN) e tocar o leito do oceano é o mesmo que tocar o solo de uma nação.

Logo após o descobrimento do Brasil, em 1503, a Nau Portuguesa da expedição de Gonçalo Coelho naufragou no Atol das Rocas. E por que isso aconteceu? Ausência de informações de Cartografia e de Meteorologia, além de poucos recursos de Navegação. Nessa época, os conquistadores tinham poucas informações cartográficas disponíveis e limitavam-se a elaborar “Instruções Náuticas”.

As primeiras cartas náuticas que temos sobre o Brasil começam a aparecer em



1502, com o Planisfério de Cantino e a localização do país e representação gráfica parecida com o que é atualmente. No Planisfério de Canerio, em 1506, também já eram ilustrados o Brasil e a África, como resultado das primeiras expedições dos portugueses. O Atlas de Luís Teixeira, em 1586, para se ter uma ideia, já tinha a Baía de Guanabara representada de forma muito parecida com a realidade e com vários topônimos que se perpetuam até hoje, Piratininga, por exemplo.

No entanto, acidentes de navegação continuavam a ocorrer. No Arquipélago de São Pedro e São Paulo, a caravela São Pedro, no ano de 1511, comandada por Manuel de Castro Alcoforado, encalhou, no período noturno. Nessa parte do Oceano Atlântico Sul, há uma falha geológica chamada Falha de São Paulo, onde, soçobrou, então, a caravela de São Pedro, daí a origem do nome do arquipélago.

Nessa época, havia pouco conhecimento de Cartografia e, menos ainda, de Geologia Marinha. Nesse cenário, em 1668, a nau capitânia da frota composta de mais de 150 navios, que transportava o futuro Governador-Geral do Brasil, sofreu um acidente na costa de Salvador. Esse acidente motivou a construção do Farol da Barra, que é o Farol mais antigo do Brasil, e que por sinal, recebeu, em 2020, o prêmio internacional de “Farol do Ano”, denotando a perene importância dos Auxílios à Navegação.

Entretanto, um dos grandes problemas que os navegantes ainda tinham àquela época era na obtenção precisa da longitude no mar, enquanto havia uma certa facilidade para se obter a latitude. E esse problema devia-se à ausência de um relógio ou de um cronômetro de alta precisão, que permitisse fazer as transposições exatas das retas e o cálculo dos demais elementos da navegação astronômica, os quais dependem dessa informação precisa do tempo.

Além da dificuldade com a longitude, os navegantes deparavam-se, também, com a imprecisão na previsão meteorológica, que causava prejuízos à navegação. Em 1707, por exemplo, houve um grande desastre de navegação nas Ilhas Scilly, localizadas ao sul da Grã-Bretanha. Era uma noite de cerração, e quatro navios ingleses, que navegavam em coluna, encalharam e afundaram, um após o outro. Nesse desastre, morreram mais de 2 mil marinheiros e o fato motivou a realização de um concurso, na Inglaterra, com premiação elevada para a pessoa que conseguisse desenvolver um cronômetro confiável para ser usado no mar.

Movido por esse certame, o britânico John Harrison, que era filho de um carpinteiro, desenvolveu vários modelos de cronômetro, até chegar à sua 4ª Versão, com alta precisão e que é muito similar ao que utilizamos atualmente. Foi com o uso desse invento que se passou a ter uma maior precisão da obtenção da longitude no mar, conseqüentemente, incrementando a acurácia do posicionamento e da navegação na carta náutica.

No ano de 1805, na Batalha Naval de Trafalgar, enfrentaram-se, no mar, os britânicos e uma grande coluna com navios franceses e espanhóis. Os avanços tecnológicos ajudaram os britânicos a lograr uma grande vitória. Entretanto, doze dias depois desse triunfo histórico, dois cargueiros, britânicos foram perdidos em mais um acidente ocorrido no Atol das Rocas, evidenciando a necessidade urgente de se aperfeiçoar as ciências náuticas.

Em 1808, a corte portuguesa foi transferida para o Brasil e decretada a abertura dos portos brasileiros. Nessa época, o Capitão-Tenente Diogo Brito, da Marinha Portuguesa, realizou o primeiro levantamento hidrográfico da Baía da Guanabara, utilizando a metodologia de triangulação,



que continuou a ser usada por muitos anos. Essa metodologia de triangulação funciona da seguinte forma: é necessário ter três pontos muito bem estabelecidos em terra e o processo é realizado somente por ângulos, não por distâncias. É também preciso ter marcos geodésicos ou uma torre específica, fornecendo melhor referência e, conseqüentemente, maior precisão no posicionamento no navio.

Então, por triangulação, deve-se ter os pontos muito bem amarrados, com topografia muito bem estabelecida e latitude/longitude precisa para poder chegar à informação requerida. Desse modo, chegou-se à confecção da primeira carta náutica da Baía da Guanabara, com base nessas primeiras sondagens feitas por Diogo Brito, em 1810.

É importante citar, também, a relevante participação dos hidrógrafos franceses na formação do nosso serviço hidrográfico. Observava-se que havia dois países na vanguarda da Hidrografia naquela época: França e Inglaterra. Dois Franceses destacaram-se nos serviços cartográficos da costa brasileira: Albin Roussin, que, entre os anos de 1819 a 1820, produziu 14 cartas da costa brasileira, de Santa Catarina ao Maranhão; e o Almirante Amedée Ernest Brathelemy Mouchez, que, de 1861 a 1866, efetuou o levantamento hidrográfico do Rio Paraguai, dos Abrolhos e de uma grande extensão da costa brasileira.

O Almirante Mouchez utilizava uma simplificação de posicionamento, com apoio de navegação astronômica. Era criticado por seus pares pelo uso desse método. Porém, conseguiu obter algum produto com certa velocidade e precisão e utilizava observação astronômica. Mouchez realizou o levantamento hidrográfico de Abrolhos, que era outro local onde ocorriam muitos acidentes, razão pela qual recebeu esse

nome – “Abrolhos” – uma contração da expressão “Abram-se os olhos”.

Esses especialistas franceses empreenderam, assim, campanhas hidrográficas que propiciaram os elementos para a construção de grande parte das cartas náuticas da nossa costa. Nesse sentido, atos administrativos sucessivos foram sendo promulgados, permitindo a criação de repartições especializadas para gerenciar as atividades de Hidrografia, Sinalização Náutica e Meteorologia.

A Marinha do Brasil também teve oficiais que se destacaram nas atividades hidrográficas, como o Capitão de Fragata Manuel Antônio Vital de Oliveira, patrono da Hidrografia, nascido em 28 de setembro de 1829, data que comemoramos o Dia do Hidrógrafo. Vital de Oliveira realizou diversos levantamentos hidrográficos durante sua carreira. De 1855 a 1859 e de 1861 a 1864, ficou responsável pelo Roteiro da Costa do Brasil – do Rio Mossoró ao Rio São Francisco e fez também o levantamento hidrográfico do Atol das Rocas. Morreu na Guerra do Paraguai, em combate.

Vale comentar que, em 1860, o Brasil passou por um grande desafio internacional, com a participação no lançamento de um cabo submarino, contando com a presença do Comandante Torres de Alvin, depois promovido a Almirante. Ele era o comandante da Corveta Beberibe e viajou aos Estados Unidos para ver como se faria o levantamento, pois, na época, utilizava-se apenas o prumo de mão, mesmo para elevadas profundidades. Coube ao Brasil realizar o lançamento do cabo submarino de São Roque até a Ilha de São Vicente. Assim, a Corveta Beberibe teve que lançar repetidamente, com intervalos de poucos minutos, o prumo de mão, com toda a complicação da sondareza, marcando, assim, nossa contribuição para a cooperação internacional.



Ainda no século XIX, em 1865, ocorreu a Batalha Naval do Riachuelo, que resultou na histórica vitória do Almirante Barroso. Ressalta-se o crucial apoio da Hidrografia ao Poder Naval durante a Guerra do Paraguai. Pode-se afirmar isso porque o Barão de Jaceguai realizou sondagens, mesmo sob fogo, para definir o melhor ponto de invasão no Paraguai, garantindo assim uma vantagem no posicionamento estratégico, contribuindo para a nossa vitória.

Quatro meses depois da Batalha Naval do Riachuelo, tivemos outro acidente de grande repercussão no Atlântico Sul – um naufrágio de um navio australiano de passageiros no Atol das Rocas. Por que continuavam a ocorrer acidentes? Por conta da dificuldade de divulgar as informações hidrográficas, pois nem todo mundo tinha acesso aos dados levantados, assim como era necessária uma melhor capacitação aos navegantes.

Em 1876, foi criada a Repartição Hidrográfica do Brasil, destinada a cuidar especificamente desta área do conhecimento e suprir as demandas de produção e divulgação de dados sobre Hidrografia. Seu primeiro Diretor foi o Capitão de Fragata Antonio Luiz von Hoonholtz, o Barão de Tefé, que foi indicado ao cargo devido à influência e repercussão positiva dos trabalhos cartográficos por ele realizados no Nordeste, em 1864. O Serviço Hidrográfico Brasileiro existe há 145 anos e é relativamente recente, se comparamos, por exemplo com o Serviço Hidrográfico Francês, que completou três séculos de existência em 2020.

Na segunda metade do século XIX, os países e organizações hidrográficas observaram que muitos acidentes aconteciam por conta da ausência de uma boa previsão meteorológica. Desse modo, uniram esforços no intuito de preencher essa lacuna e, em 1873, foi estabelecida a

Organização Meteorológica Internacional (OMI), reconhecendo a importância de haver um organismo internacional dedicado à cooperação de informações relacionadas à meteorologia. Mais tarde, em 1950, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) sucedeu a OMI.

Em 14 de abril de 1912, aconteceu o famoso naufrágio do transatlântico Titanic, após colidir com um iceberg, o que resultou na morte de 1.504 pessoas. Por conta daquela tragédia, foi aprovada a Primeira Convenção da Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS), em 1914. Adicionalmente, os acidentes de navegação influenciaram no surgimento da Organização Marítima Internacional (OMI), que ocorreu posteriormente, em 1948. Outro detalhe interessante sobre o naufrágio do Titanic foi o estabelecimento de um canal de comunicação específico para alertar perigos à navegação, dando origem aos Avisos Náuticos (*Maritime Safety Information – MSI*).

De 1914 a 1918, ocorre a Primeira Guerra Mundial, quando tivemos o emprego dos submarinos, havendo, desse modo, a importância do conhecimento da massa d'água do fundo marinho.

Logo após a 1ª Guerra Mundial, hidrógrafos britânicos e franceses estudaram formas de como a cooperação internacional poderia levar à troca de informação e à padronização gráfica das cartas náuticas, resultando na criação da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), em 21 de junho de 1921, com sede em Mônaco, e que, neste ano, completa seu centenário. Ressalto a proativa participação brasileira nas diversas comissões regionais, subcomissões e grupos de trabalho da OHI, principalmente por meio do pessoal lotado na assessoria de órgãos internacionais da DHN e no Centro de Hidrografia da Marinha (CHM).



Na década de 1920, o Sonar foi desenvolvido, com o propósito de detectar os submarinos inimigos e, a partir dele, foi criado o Ecobatímetro, que passou a ser o principal equipamento utilizado para realizar levantamentos hidrográficos.

Tais evoluções tecnológicas exigiam maior capacitação de nosso pessoal. Assim, o ensino moderno de Hidrografia em nosso país iniciou-se, principalmente, em 1931, quando foi levada a cabo a criação da especialidade Hidrografia e Navegação para os Oficiais da Armada. A criação desta nova especialidade deveu-se aos esforços do Almirante Heráclito da Graça Aranha no seu processo de implantação, juntamente com o Comandante Nogueira Aragão. Como resultado, em 1933 foi criado o primeiro Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais (CAHO).

Cabe ressaltar que os dois primeiros colocados da turma do Curso de Hidrografia de 1933 foram cursar um estágio de capacitação no exterior, no ano seguinte, sendo o Tenente Frota em Cartografia, nos Estados Unidos, e o Tenente Bardy em Segurança da Navegação, na Inglaterra. Esses intercâmbios foram um ponto de inflexão e um fator bastante relevante para que pudéssemos garantir, com qualidade, o primeiro navio totalmente dedicado à Hidrografia – o Navio Hidrográfico Rio Branco. Antes disso, os levantamentos hidrográficos eram efetuados por Navios Patrulha.

Em 1935, foi aprovado o Plano Náutico Cartográfico Brasileiro, primeiro plano estratégico relacionado à Hidrografia e o decorrente Plano de Trabalho Cartográfico. De 1933 a 1943, foram realizados vários levantamentos hidrográficos na Amazônia Azul, graças ao planejamento contido nas orientações dos referidos Planos. Ainda em 1935, a Diretoria de Navegação passou a distribuir publicações destinadas a informar e orientar o navegador, tais como Lista

de Faróis, Lista de Sinais Rádio e Roteiro da Costa do Brasil.

Durante a Segunda Guerra Mundial, vimos que as ciências náuticas haviam evoluído bastante, pois havia uma organização mundial dedicada à Meteorologia, uma organização mundial para Hidrografia e, na parte militar, porta-aviões e aeronaves operando em navios, o que aumentou a importância das previsões meteorológicas.

O desembarque na Normandia, em 1944, foi um grande exemplo de como a meteorologia influenciou no planejamento e execução da Operação Overload. Foi realizado um estudo sobre a interferência da previsão meteorológica na execução da operação, auxiliando a correta decisão de realizar o desembarque (dia D) em 06 de junho de 1944.

Adicionalmente, outras evoluções tecnológicas foram desenvolvidas no decorrer da Segunda Guerra Mundial e início da Guerra Fria: o primeiro computador e, posteriormente, computadores mais modernos, de segunda e terceira gerações.

Logo após a Segunda Guerra, em 1945, foi criada a Organização das Nações Unidas (ONU), com sede em Nova York, com foco principal na segurança e paz internacionais, e em seguida, outros órgãos associados, como a Organização Marítima Internacional (OMI), em 1948.

Enquanto isso, no Brasil, foi descoberta uma grande quantidade de manganês no Amapá, na Serra do Navio. Nossa Marinha teve que apoiar na preparação para que os navios navegassem com segurança, transportando o precioso mineral. Dessa forma, era necessário realizar levantamentos hidrográficos e todo o balizamento da região, que foram executados em longas campanhas hidrográficas.

A primeira campanha durou quase um ano, de maio de 1952 até maio de



1953, com a participação do então Capitão-Tenente Maximiano, e que mais tarde, exerceu o cargo de Ministro da Marinha. De outubro de 1954 a dezembro de 1955, tivemos uma segunda campanha, evidenciando o esforço da Hidrografia em contribuição ao desenvolvimento nacional. Naquela época, a DHN possuía uma aeronave, empregada para efetuar aerofotogrametria. Esta aeronave, infelizmente, foi perdida durante o retorno de uma missão no Amapá.

Em 1957, foi fundada a *International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities* (IALA), instituição que regulamenta a nível mundial as questões relativas aos Auxílios à Navegação.

No final dos anos 1950, inicia-se a corrida espacial – quem vai chegar à lua primeiro: União Soviética ou Estados Unidos? Isso impulsionou o lançamento de novas tecnologias, como o Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* – GPS), por exemplo. Mas a precisão desse sistema era confiável para a navegação? Poderíamos abandonar as cartas náuticas? Não. O GPS possuía uma imprecisão, que exigia o estabelecimento de Estações fixas de correção de posicionamento. Assim, a Marinha estabeleceu 11 estações de correção de posicionamento DGPS, um importante Auxílio à Navegação, ao longo do litoral brasileiro.

Em 1959, é assinado o Tratado da Antártica, por meio do qual os países se comprometiam a não empreender a exploração dos recursos energéticos naquele continente até 2041, mas era necessário que os países ocupassem permanentemente aquela região.

Diante disso, o Brasil, com participação ativa da Marinha do Brasil, constituiu em solo antártico, a Estação Antártica Comandante Ferraz. Os Navios Polar Almirante Maximiano e de Apoio Oceânico Ary Rongel participam anualmente nas

atividades de apoio logístico, apoio às pesquisas e também realizam levantamentos hidrográficos em locais planejados pelo Serviço Hidrográfico Brasileiro. Hoje, estamos na fase final da OPERANTAR XXXIX, ou seja, em vias de completar 40 anos desta operação. E a nossa Estação Antártica, que fora destruída em um incêndio em fevereiro de 2012, foi reconstruída e reinaugurada em 2020.

Ao longo da década de 1960, continuamos a evoluir nos conhecimentos de Geologia, Hidrografia e Oceanografia. Em 1961, foi criada a Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI), concebida com o intuito de fomentar a investigação marinha nos oceanos. Aproveito o ensejo para lembrá-los de que a ONU estabeleceu que de 2021-2030 será a Década dos Oceanos, com o intuito de apoiar os esforços para reverter o ciclo de declínio da saúde oceânica e criar melhores condições para o desenvolvimento sustentável dos oceanos, mares e regiões costeiras.

Retomando a questão da evolução das ciências náuticas, observamos que, apesar de ter havido uma grande evolução em sistemas e equipamentos de navegação e na cartografia, continuaram a acontecer acidentes. Um exemplo emblemático ocorreu no encalhe do Navio-Tanque Torrey Canyon, no local chamado Seven Rocks, entre o Reino Unido e a França, quando transportava 119.000 toneladas de petróleo. Houve um grande vazamento de óleo, atingindo a Inglaterra e a França. Interessante observar que as forças armadas e voluntários atuaram nas ações de resposta ao derramamento, na limpeza das praias. Na ocasião, foi constatada a importância da influência da Oceanografia (correntes e ventos), para prevenir a deriva das manchas de óleo, e que poderiam ser criados sistemas de modelagem de dispersão de óleo, a fim de auxiliar nas ações de resposta ao vazamento.



Como resultado do acidente do NT Torrey Canyon, foi criado, em 1968, o *International Tanker Owners Pollution Federation Limited* (ITOPF), uma instituição internacional específica para ações de resposta a derramamentos de óleo, tendo atuado, até 2021, em mais de oitocentos eventos de vazamento, em mais de 100 países.

Ainda como consequência desse derramamento, várias leis internacionais foram modificadas, com destaque para Convenção sobre Responsabilidade Civil Poluição (CLC 69, em 1969), Convenção para Prevenção de Poluição por Navios (MARPOL, em 1973) e o Código para Formação, Certificação e Serviço de Quarto de Marítimos (STCW, em 1995).

Em dezembro de 1982, foi aprovada a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM), em Montego Bay, Jamaica, com o fito de estabelecer as regras do direito relacionados ao mar. Discutiu-se, por exemplo, a possibilidade de estender a plataforma continental, de acordo com algumas regras específicas em relação ao talude da costa de cada país.

Com base na CNUDM e características do fundo mar brasileiro, nas proximidades do litoral, a Marinha estabeleceu o programa de Levantamento da Plataforma Continental (LEPLAC), iniciado em 1987, e conduzido pelos nossos Hidrógrafos, os Bandeirantes da Longitudes Salgadas, com o intuito de ampliar os limites de nossa plataforma continental ao LESTE, após a realização de diversos levantamentos hidrográficos.

O Brasil foi o segundo país a depositar as demandas de ampliação da Plataforma Continental – o primeiro foi a Rússia – e fizemos solicitações de ampliação em três grandes áreas. Na margem Sul, uma área correspondente aos estados de Santa Catarina, Alagoas e Espírito Santo, conseguimos convencer os peritos da ONU

sobre esta região. Essa decisão favorável dependeu do trabalho de Hidrógrafos e especialistas brasileiros, que fizeram análises geológicas, geofísicas marinhas e muitos levantamentos hidrográficos.

Hoje, estamos debatendo sobre a margem Equatorial, próximo à foz do Amazonas, para anexar uma área correspondente ao estado da Paraíba e do Distrito Federal, e posteriormente, trataremos da aprovação da margem Oriental Meridional, com área pleiteada correspondente ao estado do Amazonas, incluindo a Elevação de Rio Grande, onde há indicação da existência de riquezas como nódulos polimetálicos, petróleo e gás.

Muitas descobertas e a melhoria de precisão nas informações hidrográficas foram possíveis com as constantes evoluções tecnológicas. O desenvolvimento do ecobatímetro multifeixe, por exemplo, possibilitou o aperfeiçoamento na determinação do contorno do fundo marinho. Além disso, foi inventado o sonar de varredura lateral (*side scan*), que conferiu melhor definição à visualização do fundo do mar, e o serviço de tráfego de embarcações (*Vessel Traffic Service – VTS*), um Auxílio à Navegação que representa uma grande evolução no monitoramento dos portos.

Com o apoio dos nossos Hidrógrafos, esses equipamentos e sistemas passaram a ser utilizados no Brasil, de modo que hoje temos VTS homologados para emprego nos Portos do Açu e de Vitória, auxiliando o monitoramento dos navios e ajudando a evitar acidentes de navegação.

Na construção do Porto do Açu, por exemplo, constatamos a importância de utilizarmos o conhecimento da Oceanografia. Até o ângulo no qual os terminais foram posicionados foi estudado e cuidadosamente analisado, baseando-se na incidência das ondas, a fim de não afetar os navios atracados nos molhes.



Porém, mesmo com o uso dessas tecnologias, acidentes continuaram a acontecer, como o grande derramamento de óleo causado pelo Navio-Tanque Exxon Valdez, no Alasca (EUA), em 1989. Este derramamento trouxe como consequência a modificação da lei de poluição por óleo norte-americana, com a aprovação do *The Oil Pollution Act of 1990* (OPA / 90), estabelecimento do plano de área e a revisão do Plano Nacional de Contingência americano, além de proibir o transporte de óleo em petroleiros de casco simples. A OMI, ainda em 1990, adotou a Convenção Internacional sobre Preparo, Resposta e Cooperação em Caso de Poluição por Óleo (OPRC-90), exigindo que determinados tipos de navios tivessem planos de emergência para prevenir ou mitigar os efeitos dos derrames de óleo no mar, o denominado SOPEP (*Shipboard Oil Pollution Emergency Plan*).

Em 1998, o Brasil passou a ocupar permanentemente o arquipélago de São Pedro e São Paulo, sob a coordenação da Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos no Mar (SeCIRM) e a presença permanente de pesquisadores, permitindo ampliar os limites da nossa Amazônia Azul.

Em janeiro de 2012, o Comandante do transatlântico Costa Concórdia resolveu alterar o trajeto de navegação do navio, aproximando-se da ilha de Giglio, em período noturno, ocasionando o encalhe da embarcação e a morte de 32 pessoas, mesmo dispondo de diversos equipamentos modernos de navegação.

O Mar também é testemunha de disputas geopolíticas, e porque não dizer oceanopolíticas. Em 2015, a Rússia fincou sua bandeira no fundo mar do Ártico e fez questão de divulgar as imagens para todo mundo, em clara demonstração de sua reivindicação territorial.

Apesar de novas tecnologias de navegação, os acidentes continuaram a acontecer. Podemos citar, como exemplo, a colisão ocorrida entre o navio da Marinha norte-americana USS John S McCain e o Navio-Tanque Alnic MC, em 2017, no estreito de Málaca, resultando na morte de 10 marinheiros norte-americanos.

Em 2019, ocorreu um derramamento de óleo inédito no Brasil, que teve uma longa duração, atingiu grande extensão do litoral brasileiro (mais da metade). O poluidor não notificou às autoridades nacionais sobre esse derramamento e o óleo derivou para a nossa costa submerso. Tal ocorrência demonstrou, novamente, a importância da oceanografia para a determinação da área de investigação (onde ocorreu o derramamento) e a moldura temporal (quando). Também foi fundamental o emprego da modelagem matemática, de forma progressiva e regressiva, para auxiliar na busca pelo agente poluidor.

Em fevereiro de 2020, aconteceu um acidente com o navio mercante Stellar Banner, por ocasião da saída do porto de São Luís, tendo o navio saído do canal antes de chegar ao final, resultando no encalhe do navio. Ao ser desencalhado, chegou-se à conclusão que a relação custo-benefício não compensaria realizar os reparos, apesar de ser um navio novo, (cerca de quatro anos) e decidiu-se pelo seu afundamento.

Em dezembro de 2020, tivemos a visita do USS Vermont, submarino nuclear norte-americano, à Base de Submarinos na Ilha da Madeira, em Itaguaí (RJ). Destaco a participação, com sucesso, de vários navios hidroceanográficos (NHo Taurus, AvPqHo Aspirante Moura e NHoF Graça Aranha) e da embarcação orgânica do NPqHo Vital de Oliveira, na realização de levantamentos hidrográficos e varredura do canal de



acesso, em clara demonstração de apoio da Hidrografia ao Poder Naval.

Atualmente, está sendo desenvolvida a navegação aprimorada, o e-Navigation (*enlarged navigation*), que é um conceito que interligará e disponibilizará, em formato digital, diversas informações de segurança da navegação, de porto a porto. O e-Navigation engloba várias capacidades combinadas, seja de Hidrografia, seja de Cartografia, Administrativas portuárias, de socorro e salvamento, de Auxílios à Navegação ou Meteorologia, reunindo no console de controle de Navegação, no Passadiço e no Camarim de Navegação, informações de segurança que irão auxiliar durante todo o trajeto do navio. A atuação do e-Navigation transcende a Marinha, pois envolve ainda outros Ministérios, e inclui o que há de mais moderno em termos de tecnologia e segurança. Desse modo, exige um conhecimento tecnológico avançado, que acompanhe os padrões internacionais, e os produtos de segurança da navegação disponibilizados pela DHN já estão seguindo os requisitos estabelecidos para o e-Navigation.

Nesse percurso cronológico que apresentamos, foi possível constatar a evolução dos equipamentos de Hidrografia e de Navegação, que surgiram a partir de ferramentas rudimentares, como o prumo de mão, até alcançarem o alto nível tecnológico atual, dominado pelos meios digitais. Diante desse cenário, reitera-se a relevância de termos profissionais capacitados, mais especificamente os Hidrógrafos, desde a sua formação, nas diversas áreas de conhecimento sob responsabilidade da DHN. Tudo isso de forma que possamos disponibilizar produtos de segurança da navegação confiáveis aos navegantes, buscando um equilíbrio entre o conhecimento tecnológico moderno e o tradicional.

### III. As perspectivas para a carreira do Oficial Hidrógrafo

A partir de agora falaremos sobre as perspectivas para a carreira do Oficial Hidrógrafo (HN). Ao aperfeiçoar-se em Hidrografia, o Primeiro-Tenente (1T) terá que cumprir o requisito de embarque e servirá em um navio branco, ou seja, em um Navio Hidroceanográfico, podendo inclusive ser Imediato de navio de 4ª classe. Além dos navios do GNHo, sediados no Rio de Janeiro, esses embarques poderão ocorrer em navios do 4º Distrito Naval (NHo Garnier Sampaio) e no 9º Distrito Naval (NHoFlu Rio Branco).

Existem, também, opções do HN servir mais dedicado à área técnica, realizando um Mestrado nas áreas de Oceanografia, Navegação, Meteorologia, Sensoriamento Remoto, Cartografia, Acústica Submarina, entre outros. Logicamente, esse direcionamento para o Mestrado é proporcional ao tamanho da turma e avaliado de acordo com o seu perfil, em conjunto com as necessidades da DHN e da Marinha. Nas áreas citadas, há Mestrado na Universidade de São Paulo (USP), no Instituto Militar de Engenharia (IME), Universidade Federal Fluminense (UFF), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e também no exterior, na Universidade de New Hampshire (*New Hampshire University – EUA*), na Escola de Pós-graduação Naval (*Naval Postgraduate School – EUA*), na Universidade Simon Fraser (*Simon Fraser University – Canadá*), entre outros. A partir do último ano de 1T o HN poderá se candidatar a realizar cursos de Mestrado, sendo que de acordo com o histórico dos últimos 10 anos, a média é termos dois oficiais por turma. Naturalmente, esta opção de Mestrado representa uma predominância



do militar em servir em Organizações Militares (OM) de terra, principalmente porque há um vínculo a ser cumprido, normalmente de 5 anos, de permanência na correspondente OM técnica.

Para os Hidrógrafos Capitães-Tenentes (CT), além das opções comentadas, há vagas para embarque nos navios vermelhos, nas funções de Encarregado de Divisão no NApOc Ary Rongel e no NPo Altemaximiano, logicamente levando-se em consideração a pontuação, o desempenho no curso e a meritocracia. Outras possibilidades de serviço para os CT incluem: Ajudante do Instrutor de Navegação no NE Brasil e Ajudante no Serviço de Sinalização Náutica do Nordeste (SSN-3), no Serviço de Sinalização Náutica do Sul (SSN-5) e no Serviço de Sinalização Náutica do Sul-Sudeste (SSN-8); Comando dos cinco Avisos Hidroceanográficos e do AvPqHo Aspirante Moura; e Imediatice dos quatro Navios Hidroceanográficos de 3ª classe, sendo três da Classe Amorim do Valle e o NHo "Rio Branco".

Já como Capitão de Corveta (CC), há chances de se tornarem Chefe de Operações do NApOc Ary Rongel ou do NPo Maximiano; comandar um dos quatro navios de 3ª classe; ser Imediato dos navios de 2ª classe, ser Instrutor de Navegação do NE Brasil, Encarregado do SSN-3, SSN-5 ou do SSN-8; ser Vice-Diretor do Centro de Hidrografia e Navegação do Norte (CHN-4), do Centro de Hidrografia e Navegação do Oeste (CHN-6), do Centro de Hidrografia e Navegação do Noroeste (CHN-9) e ajudante do Serviço de Sinalização Náutica do Leste (SSN-2).

Como Capitão de Fragata (CF), poderão comandar os navios de 2ª classe, ser Imediato dos navios vermelhos e, também, embarcar no NE Brasil como Encarregado de Navegação. As possibilidades também incluem ser Imediato e Vice-Diretor do CAMR, CIAARA, CHM, GNHo, BHMN,

ser o Diretor do CHN-4, CHN-6, CHN-9 e o Encarregado do SSN-2.

Como Capitão de Mar e Guerra (CMG), os Hidrógrafos poderão comandar as OM diretamente subordinadas à DHN, os dois navios vermelhos e, posteriormente, serem promovidos a Almirante, como temos vários exemplos na Marinha, inclusive de oficiais que chegaram ao último posto na carreira, tendo o exemplo do Almirante Maximiano, Ministro da Marinha. Há possibilidade de continuarem na Marinha contratados pelo regime de Tarefa por Tempo Certo (TTC), pois a experiência adquirida ao longo da carreira se mostra de grande valor para realizar estudos e adotar medidas para melhorar os produtos de segurança da navegação.

Para aqueles que optarem por um trabalho no mercado extra-MB, um estudo feito pela Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE 2030) prevê que o crescimento das atividades relacionadas ao mar (Economia Azul) nos próximos dez anos será bem superior a média de projeção do PIB mundial, que resultarão na necessidade de maior perspectiva de trabalho nas áreas de conhecimento dos Hidrógrafos. Para se ter uma ideia do crescimento da Economia Azul, apesar da pandemia (COVID-19), o Brasil está em um viés positivo nas atividades relacionadas ao mar, com ampliações sucessivas em recordes em safras do agronegócio e com os correspondentes aumentos de transportes de carga, em portos brasileiro. Com isso, os hidrógrafos capacitados e que fizerem um bom trabalho terão possibilidade de conseguir empregos em empresas civis, após irem para a Reserva Remunerada.

Basicamente, era isso o que eu queria apresentar aos senhores, que têm a importante missão de conduzir a Hidrografia brasileira por um bom tempo. Lembrem-se de que a capacitação é o que faz e fará toda



a diferença hoje na nossa ciência, arte e prática da navegação segura e eficiente. Por isso, dediquem-se ao estudo e busquem sempre o conhecimento, procurando ler

bastante, principalmente sobre os assuntos relacionados à profissão do Hidrógrafo.

Bom curso a todos!

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ADRIÃO, Paulo; LEÔNCIO, Hélio. *História da Hidrografia no Brasil*. Niterói (RJ). 2014.

BRASIL. Marinha do Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegação. *Livreto em Comemoração da Semana do Marinheiro de 1949*. Rio de Janeiro: DHN, 1949.

FONSECA, Maximiliano. *De Taboas a Brasília*. Rio de Janeiro. 1999.

INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION. *The importance of Hydrography*. Disponível em: <<https://iho.int/en/importance-of-hydrography>>. Acesso em: 15 de março de 2021.

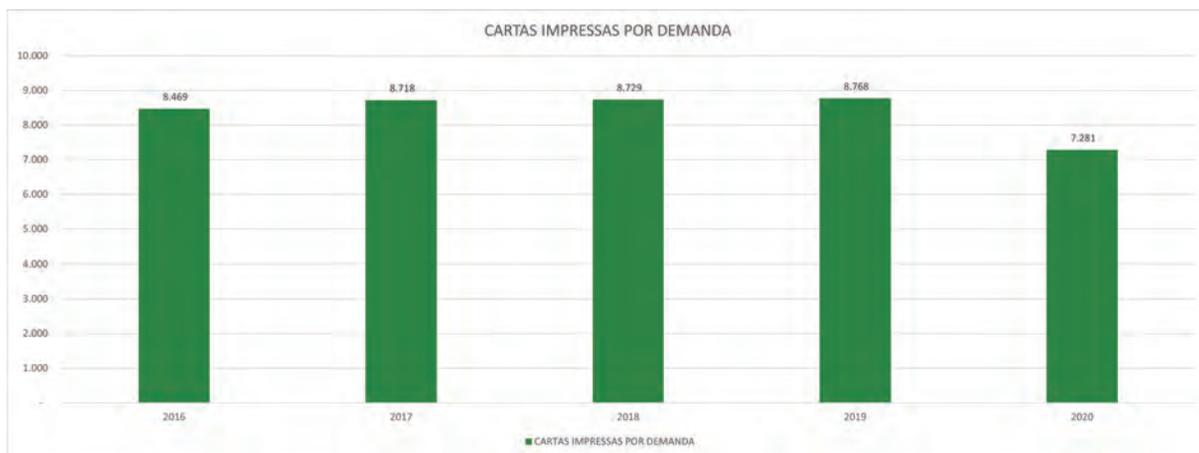
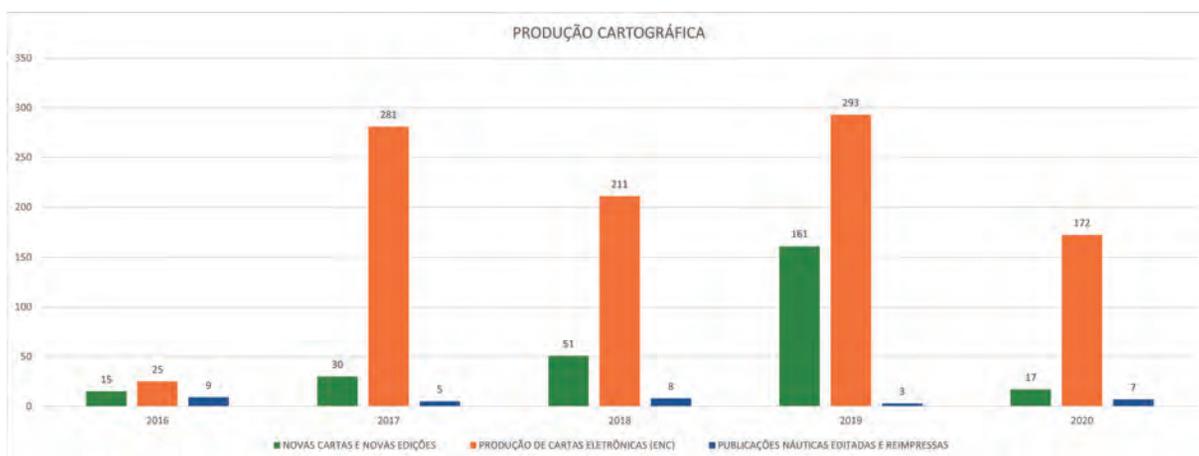
MIGUENS, Altineu Pires. *Navegação: a Ciência e a Arte*. Niterói (RJ): Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), 1999. v. 1





## II – PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA

1- Apresentamos abaixo os dados referentes à produção cartográfica do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) e outras publicações náuticas realizadas pela Base de Hidrografia da Marinha em Niterói (BHMN) incluindo o período de 2016 a 2020:



2- A lista completa das cartas e outras publicações realizadas no ano de 2020 estão disponíveis no [link](https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=pt-br/anais-hidrograficos): <https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=pt-br/anais-hidrograficos>

Ou através do QR Code abaixo:



# III – PROGRAMA DE CONCLAVES E INTERCÂMBIOS

## 1 - CONCLAVES

### 1.1 - GOVERNAMENTAIS NO EXTERIOR

- Reunião da Comissão de Limites da Plataforma Continental (CLPC). Nova Iorque, EUA.
- Sessão da Comissão de Limites da Plataforma Continental (CLPC). Nova Iorque, EUA.
- Sessão do Subcomitê de Navegação, Comunicações, Busca e Salvamento – IMO (NCSR). Londres, Reino Unido.

### 1.2 - NÃO GOVERNAMENTAIS NO EXTERIOR

- Sessão da Assembleia da Organização Hidrográfica Internacional (A-2). Realizado por videoconferência.
- Reunião da Mesa Diretora da Comissão Oceanográfica Intergovernamental (*IOC Officers*). Paris, França.
- Reunião do *Hydrographic Survey Project Team* da Organização Hidrográfica Internacional (HSPT). Estocolmo, Suécia.
- Reunião do *International Board on Standards of Competence for Hydrographic Surveyors and Nautical Cartographers (IBSC)* da Organização Hidrográfica Internacional (OHI) – (IBSC-2020). Cartagena das Índias, Colômbia.
- *S-100 Working Group Meeting (S-100WG)*. Taunton, Reino Unido.
- *Data Quality Working Group (DQWG)*. Monte Carlo, Mônaco.
- *Workshop on Future of Marine Radiobeacon DGPS/DGNSS*. Edimburgo, Escócia.
- Reunião do Comitê de Gerência e Requisitos de Auxílios à Navegação da *International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA – ARM)*. Buenos Aires, Argentina.
- Reunião do *Marine Spatial Data Infrastructures Working Group (MSDIWG)* e Sessão da *United Nations Committee of Experts on Global Geospatial Information Management (UN-GGIM WGMG Meeting)*. Rostock-Warnemünde, Alemanha.
- *Canadian Hydrographic Conference (CHC)*. Quebec, Canadá.
- Conferência Diplomática para alteração organizacional da *International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities - IALA (ONG para OIG)*". Kuala Lumpur, Malásia.

## 2. INTERCÂMBIOS

Não houve.



## IV – CURSOS E ESTÁGIOS EM INSTITUIÇÕES EXTRA-MB

### 1 – CURSOS

- Mestrado “*Master of Sciences in Earth Sciences: Ocean Mapping*” – Universidade de New Hampshire (UNH) – Durham – EUA;
- PhD “*Oceanography*” – Universidade de Monterey – EUA;
- Mestrado em Ciências Geodésicas - UFPR – Curitiba – PR; e
- Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha – UFF – Niterói – RJ.

### 2 – ESTÁGIOS

Curso de Formação de Sargentos (CFS) Especialista em Meteorologia – 2ª e 3ª séries da Fase Técnico-Especializada – EEAR Guaratinguetá – SP.

## V – CURSOS REGULARES

A Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) tem como missão: “Produzir e divulgar informações de segurança da navegação e do ambiente marinho, a fim de contribuir para a salvaguarda da vida humana, o desenvolvimento nacional e aplicação do Poder Naval”. Além desse seu propósito, a DHN, por meio do Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino (CIAARA), OM subordinada, promove a realização de cursos do Sistema de Ensino Naval que lhe competem.

Nesse sentido, o CIAARA ministra os seguintes cursos de carreira: Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais (CAHO); Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia e Navegação (C-AP-HN); Curso de Aperfeiçoamento em Farol (C-AP-FR); Curso de Especialização em Hidrografia e Navegação (C-Espc-HN); e Curso de Especialização em Farol (C-Espc-FR), totalizando 5 (cinco) cursos regulares.

Além dos cursos de aperfeiçoamento e especialização, o CIAARA tem desenvolvido o treinamento do pessoal para o adequado desempenho de funções técnicas e administrativas, por meio de cursos expeditos e de estágios de qualificação nas áreas de Meteorologia, Oceanografia e Batitermografia; e dos estágios voltados para a área de Sinalização Náutica e para as atividades de aquisição e processamento de dados das fainas hidroceanográficas.

Trata-se de atividade basilar desta Diretoria, sendo que em 1993, o CAHO foi reconhecido como categoria “A” pela Organização Hidrográfica Internacional (OHI), e, em 2010, o Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Sargentos foi reconhecido por aquela Organização como categoria “B”, o que atesta a excelente qualidade dos cursos ministrados e demonstra que a DHN, a cada dia, se qualifica para superar os novos desafios dessa ampla área de conhecimento, investindo na qualificação de seu pessoal.



## 1 – CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE HIDROGRAFIA PARA OFICIAIS (CAHO)

Oficiais que concluíram o 73º Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais – Turma 2020:



*Foto do encerramento do CAHO 2020 no Salão Nobre da DHN.*

Primeiro-Tenente	GUSTAVO RAMOS CATARINO
Primeiro-Tenente	RICARDO DZIEDZIC DE ARAÚJO LIMA
Primeiro-Tenente	BRUNO DE OLIVEIRA FREITAS
Primeiro-Tenente	PEDRO HENRIQUE AINSWORTH DE OLIVEIRA E SOUZA
Primeiro-Tenente	LUAN DA PAIXÃO RIBEIRO CASIMIRO
Primeiro-Tenente	GUILHERME NEVES VIEIRA
Primeiro-Tenente	THIAGO ZAMITH CUNHA
Primeiro-Tenente	IGOR DE SOUZA SILVA
Primeiro-Tenente	ROBSON JOSÉ DA SILVA MARTINS
Primeiro-Tenente	VINICIUS FUCHS
Primeiro-Tenente	THALLES VIANNA RICHTER
Primeiro-Tenente	GABRIEL BARBOSA AMARAL
Primeiro-Tenente	FILIFE DE LIMA TEIXEIRA
Primeiro-Tenente	ALESSANDRO LAMONICA CASTRO
Primeiro-Tenente (QC-CA)	LUAN RAFAEL PIMENTA MEDEIROS
Primeiro-Tenente (QC-CA)	DAVI REMÍGIO MOTA

**1º Colocado:** 1ºTen GUSTAVO RAMOS CATARINO, com média final 9,540.



## 1.1 - PRÊMIOS ESCOLARES

### PRÊMIO “EVOLUÇÃO E APLICAÇÃO”

Concedido ao Oficial classificado em primeiro lugar em seu curso.

1ºTen GUSTAVO RAMOS CATARINO	9,540
------------------------------	-------

### CERTIFICADO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM DISTINÇÃO

Concedido ao militar que obtiver média final igual ou superior a nove e meio (9,5) em seu respectivo curso:

1ºTen GUSTAVO RAMOS CATARINO	9,540
------------------------------	-------

### LÁUREA “VITAL DE OLIVEIRA”

Destina-se a premiar o Oficial do Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais que obtiverem a maior média na área de Hidrografia, abrangendo as disciplinas de Geodésia, Topografia, Cartografia, Gerenciamento de Dados Hidrográficos, Hidrografia e Levantamento Hidroceanoográfico de Fim de Curso, desde que em nenhuma delas o aluno tenha obtido média inferior a oito (8,0).

1ºTen GUSTAVO RAMOS CATARINO	9,767
------------------------------	-------

### LÁUREA “ALMIRANTE PAULO MOREIRA”

Destina-se a premiar o Oficial do Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais que obtiverem a maior média na área de Geofísica, que abrange as disciplinas de Oceanografia, Meteorologia, Geologia e Geofísica Marinha, Marés e Sensoriamento Remoto, desde que em nenhuma delas tenha obtido média inferior a oito (8,0).

1ºTen GUSTAVO RAMOS CATARINO	9,398
------------------------------	-------

### LÁUREA “ALMIRANTE MORAES REGO”

Destina-se a premiar o Oficial do Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais que obtiverem a maior média na área de Auxílios à Navegação – Navegação, que abrange as disciplinas de Sinalização Náutica e Navegação – Sistemas e Normas, desde que em nenhuma delas tenha obtido média inferior a oito (8,0).

1ºTen ALESSANDRO LAMONICA CASTRO	9,299
----------------------------------	-------



## 2 – CURSO DE APERFEIÇOAMENTO EM HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (C-Ap-HN)

Militares que concluíram o 48º Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia e Navegação  
– Turma 2020:



*Foto do encerramento dos C-Ap-HN e C-Ap-FR 2020 no Salão Nobre da DHN.*

3ºSG-HN	11.0272.15	GILMARIO COSTA BORGES
3ºSG-HN	08.0637.53	FÁBIO EDUARDO BARBOSA EDIRCIO
3ºSG-HN	11.0340.92	VICTOR JOSÉ CARVALHO BITTENCOURT
3ºSG-HN	11.0413.15	JOSÉ CARLOS COELHO DOS SANTOS JUNIOR
3ºSG-HN	11.0241.19	GUILHERME DA SILVA ALVES
3ºSG-HN	11.0263.08	BRUNO GARCIA MARCELINO
3ºSG-HN	11.0271.93	THIAGO ARAUJO TEIXEIRA
3ºSG-HN	11.0306.23	YURI FERNANDES DE CARVALHO
3ºSG-HN	86.8944.04	MARCOS PAULO BELO DA SILVA
3ºSG-HN	11.0314.92	MARCELO SILVA RODRIGUES
3ºSG-HN	11.0208.49	JOÃO FELIPE DE OLIVEIRA COSTA
3ºSG-HN	11.0376.28	EDUARDO RAMOS DA SILVA
3ºSG-HN	11.0357.49	MAICON COSTA LIMA
3ºSG-HN	11.0223.11	NICHOLAS LIMA ALVES
3ºSG-HN	11.0213.31	CLEYTON CARLOS DUARTE BRITO
3ºSG-HN	08.0389.11	ARTHUR SCHOTTZ CRUZAL
3ºSG-HN	11.0363.54	JANDIR VALENTIM TORRES BORGES
3ºSG-HN	11.0377.41	BRUNO SILVA DE ARAUJO
3ºSG-HN	11.0376.01	ALAN DOS SANTOS SOUZA



3ºSG-HN	11.0320.14	JADER ARRUDA ROTTINI
3ºSG-HN	11.0266.77	JOÃO ROBERTO SILVA DE BRITO
3ºSG-HN	87.0994.62	CARLOS SABINO DE OLIVEIRA JUNIOR
3ºSG-HN	86.7491.37	KELITON CEZÁRIO DA SILVA JÚNIOR

**1º Colocado:** 3ºSG-HN 11.0272.15 GILMARIO COSTA BORGES, com média final 9,313.

## 2.1 - PRÊMIOS ESCOLARES

### PRÊMIO “ESTUDO E APLICAÇÃO”

Concedido ao aluno classificado em primeiro lugar em seu curso.

3ºSG-HN	11.0272.15	GILMARIO COSTA BORGES	9,313
---------	------------	-----------------------	-------

### PRÊMIO “ALMIRANTE SALDANHA DA GAMA”

Concedido pela Diretoria de Ensino da Marinha e destina-se a premiar as praças que mais se distinguirem em cada curso de aperfeiçoamento.

3ºSG-HN	11.0272.15	GILMARIO COSTA BORGES	9,313
---------	------------	-----------------------	-------

### LÁUREA “BARÃO DE TEFFÉ”

Destina-se a premiar o aluno do Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia e Navegação (C-Ap-HN) que obtiver maior média na área de Hidrografia, que abrange as disciplinas de Astronomia, Cartografia, Topografia, Geodésia, Marés, Sondagem e Hidrografia Aplicada, desde que em nenhuma delas tenha obtido média inferior a oito (8,0).

3ºSG-HN	11.0272.15	GILMARIO COSTA BORGES	9,296
---------	------------	-----------------------	-------

### LÁUREA “COMANDANTE FERRAZ”

Destina-se a premiar o aluno do Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia e Navegação (C-Ap-HN) que obtiver a maior média nas áreas de Meteorologia e Navegação, que abrangem as disciplinas de Meteorologia e Oceanografia, desde que em nenhuma delas tenha obtido média inferior a oito (8,0).

3ºSG-HN	11.0272.15	GILMARIO COSTA BORGES	9,400
---------	------------	-----------------------	-------

### LÁUREA “RADLER DE AQUINO”

Destina-se a premiar o aluno do Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia e Navegação (C-Ap-HN) que obtiver a maior média na área de Navegação, que abrange as



disciplinas de Navegação, Astronomia e Navegação – Sistemas e Normas, desde que não tenha obtido média inferior a oito (8,0).

3ºSG-HN	11.0413.15	JOSÉ CARLOS COELHO DOS SANTOS JUNIOR	9,217
---------	------------	--------------------------------------	-------

### 3 – CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE FAROLEIRO (C-Ap-FR)

Militares que concluíram o 34º Curso de Aperfeiçoamento de Faroleiro – Turma 2020:

3ºSG-FR	09.0165.71	EMILIANO DA COSTA LUIZ
3ºSG-FR	10.0326.65	RENATO EDUARDO DA SILVA
3ºSG-FR	11.0148.81	FILIFE LOPES DE ALBUQUERQUE MURUCCI
3ºSG-FR	11.0105.25	DOUGLAS DA CONCEIÇÃO MOURA
3ºSG-FR	11.0224.18	EDGLEYSO DE SENA MARTINS
3ºSG-FR	11.0274.61	GUILHERME DE FIGUEIREDO BASTOS
3ºSG-FR	11.0240.11	TIERRY PINHEIRO ALMEIDA
3ºSG-FR	11.0366.72	FÁBIO SILVA DE CARVALHO
3ºSG-FR	11.0388.96	DANIEL DE OLIVEIRA CAMPOS BORGES
3ºSG-FR	87.0861.15	ANDREW DICKSSON ARAÚJO DOS SANTOS
3ºSG-FR	11.0373.00	CARLOS EDUARDO RODRIGUES DE LIMA
3ºSG-FR	11.0199.64	VLAUBER RANGEL DE ALENCAR ARAUJO
3ºSG-FR	11.0379.89	LEONARDO LIMA DOS SANTOS

**1º Colocado:** 3ºSG-FR 11.0148.81 FILIFE LOPES DE ALBUQUERQUE MURUCCI, com média final 9,705.

#### 3.1 - PRÊMIOS ESCOLARES

##### PRÊMIO “ESTUDO E APLICAÇÃO”

Concedido ao aluno classificado em primeiro lugar em seu curso.

3ºSG-FR	11.0148.81	FILIFE LOPES DE ALBUQUERQUE MURUCCI	9,705
---------	------------	-------------------------------------	-------

##### PRÊMIO “ALMIRANTE SALDANHA DA GAMA”

Concedido pela Diretoria de Ensino da Marinha e destina-se a premiar as praças que mais se distinguirem em cada curso de aperfeiçoamento.

3ºSG-FR	11.0148.81	FILIFE LOPES DE ALBUQUERQUE MURUCCI	9,705
---------	------------	-------------------------------------	-------



### **CERTIFICADO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM DISTINÇÃO**

Concedido aos militares que obtiverem média final igual ou superior a nove e meio (9,5) em seus respectivos cursos.

3ºSG-FR	11.0148.81	FILIFE LOPES DE ALBUQUERQUE MURUCCI	9,705
3ºSG-FR	11.0105.25	DOUGLAS DA CONCEIÇÃO MOURA	9,574
3ºSG-FR	11.0224.18	EDGLEYSO DE SENA MARTINS	9,529
3ºSG-FR	11.0388.96	DANIEL DE OLIVEIRA CAMPOS BORGES	9,529

### **LÁUREA “ALMIRANTE MORAES REGO”**

Destina-se a premiar o aluno do Curso de Aperfeiçoamento de Faroleiro (C-Ap-FR) que obtiver a maior média na área de Auxílios à Navegação, que abrange a disciplina de Equipamentos de Sinalização Náutica II, desde que não tenha obtido média inferior a oito (8,0).

3ºSG-FR	11.0148.81	FILIFE LOPES DE ALBUQUERQUE MURUCCI	10,000
---------	------------	-------------------------------------	--------

### **LÁUREA “FAROLEIRO ARÊAS”**

Destina-se a premiar o aluno do Curso de Aperfeiçoamento de Faroleiro (C-Ap-FR) que obtiver maior média na área de Navegação, que abrange a disciplina de Navegação II, desde que em nenhuma delas tenha obtido média inferior a oito (8,0).

3ºSG-FR	11.0148.81	FILIFE LOPES DE ALBUQUERQUE MURUCCI	9,580
---------	------------	-------------------------------------	-------

### **LÁUREA “FAROLEIRO NASCIMENTO”**

Destina-se a premiar o aluno do Curso de Aperfeiçoamento de Faroleiro (C-Ap-FR) que obtiver a maior média na área de Auxílios à Navegação, que abrangem as disciplinas de Sinalização Náutica II e Sinalização Náutica Aplicada II, desde que em nenhuma delas tenha obtido média inferior a oito (8,0).

3ºSG-FR	11.0240.11	TIERRY PINHEIRO ALMEIDA	9,675
---------	------------	-------------------------	-------

### **4 – CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (C-Espc-HN)**

Militares que concluíram o 59º Curso de Especialização em Hidrografia e Navegação – Turma 2020:

2ºSG	Senegal	MARIAMA YALY
MN-QPA	17.0198.85	MAX RODRIGUES GONÇALVES
MN-QPA	17.0189.19	FERNANDO HENRIQUE DA SILVA KELLY
MN-QPA	17.0553.00	VICTOR DA SILVA LIMA



MN-QPA	16.1309.95	ÍTALO BARROS MARQUES
MN-QPA	17.0077.39	JOCSĂ LIMA MOREIRA
MN-QPA	17.0104.11	ERICLEPTON DANTAS DE OLIVEIRA
MN-QPA	17.0189.01	PEDRO GUIMARĂES PADILHA
MN-QPA	17.0083.52	ÍTALO AUGUSTO NOBRE SANTIAGO
MN-QPA	17.0176.53	DANIEL SANTANA FERREIRA
MN-QPA	17.0188.46	WILLIAM COSTA LOPES

**1º Colocado:** MN-QPA 17.0189.19 FERNANDO HENRIQUE DA SILVA KELLY, com média final 9,738.



*Foto do encerramento do C-Espc-HN e C-Espc-FR 2020 no Salão Nobre da DHN.*

#### 4.1 - PRÊMIOS ESCOLARES

##### PRÊMIO “INSTRUÇÃO E APLICAÇÃO”

Concedido ao aluno classificado em primeiro lugar em seu curso.

MN-QPA	17.0189.19	FERNANDO HENRIQUE DA SILVA KELLY	9,738
--------	------------	----------------------------------	-------

##### CERTIFICADO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM DISTINÇÃO

Concedido aos militares que obtiverem média final igual ou superior a nove e meio (9,5) em suas respectivas especialidades.

MN-QPA	17.0189.19	FERNANDO HENRIQUE DA SILVA KELLY	9,738
--------	------------	----------------------------------	-------



MN-QPA	17.0104.11	ERICLEPTON DANTAS DE OLIVEIRA	9,624
MN-QPA	17.0198.85	MAX RODRIGUES GONÇALVES	9,615
MN-QPA	16.1309.95	ÍTALO BARROS MARQUES	9,599

#### LÁUREA “BARÃO DE JACEGUAI”

Destina-se a premiar o Marinheiro do C-Espc-HN que obtiver maior média na área de Hidrografia, que abrange as disciplinas de Topografia, Cartografia, Marés, Sondagem, e Hidrografia Aplicada, desde que em nenhuma delas tenha obtido média inferior a oito (8,0).

MN-QPA	17.0198.85	MAX RODRIGUES GONÇALVES	9,663
--------	------------	-------------------------	-------

#### LÁUREA “ALMIRANTE JULIO DE NORONHA”

Destina-se a premiar as praças que mais se distinguem em cada curso de especialização.

MN-QPA	17.0189.19	ERNANDO HENRIQUE DA SILVA KELLY	9,738
--------	------------	---------------------------------	-------

#### LÁUREA “OCEANOGRÁFICO”

Destina-se a premiar o Marinheiro do C-Espc-HN que obtiver maior média na área de Geofísica, que abrange as disciplinas de Meteorologia e Oceanografia, desde que em nenhuma delas tenha obtido média inferior a oito (8,0).

MN-QPA	17.0189.19	ERNANDO HENRIQUE DA SILVA KELLY	9,669
--------	------------	---------------------------------	-------

#### LÁUREA “NAVEGADOR”

Destina-se a premiar o Marinheiro do C-Espc-HN que obtiver maior média na área de Navegação, que abrange as disciplinas de Navegação I e Navegação II, desde que em nenhuma delas tenha obtido média inferior a oito (8,0).

MN-QPA	17.0189.19	ERNANDO HENRIQUE DA SILVA KELLY	9,656
--------	------------	---------------------------------	-------

#### 5 – CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO DE FAROLEIRO (C-Espc-FR)

Militares que concluíram o 35º Curso de Especialização de Faroleiro – Turma 2020:

MN-QPA	17.0569.93	LUCAS DA CONCEIÇÃO MOREIRA	
MN-QPA	16.0695.44	REYNALD STEFFANE HIGINO DA SILVA	
MN-QPA	15.0670.41	LUIZ CARLOS RODRIGUES DE ASSIS JUNIOR	

**1º Colocado:** MN-QAP 16.0695.44 REYNALD STEFFANE HIGINO DA SILVA, com média final 9,575.



### 5.1 - PRÊMIOS ESCOLARES

#### PRÊMIO “INSTRUÇÃO E APLICAÇÃO”

Concedido ao aluno classificado em primeiro lugar em seu curso.

MN-QAP	16.0695.44	REYNALD STEFFANE HIGINO DA SILVA	9,575
--------	------------	----------------------------------	-------

#### PRÊMIO “ALMIRANTE JULIO DE NORONHA”

Destina-se a premiar as praças que mais se distinguirem em cada curso de Especialização.

MN-QAP	16.0695.44	REYNALD STEFFANE HIGINO DA SILVA	9,575
--------	------------	----------------------------------	-------

#### CERTIFICADO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM DISTINÇÃO

Concedido aos militares que obtiverem média final igual ou superior a nove e meio (9,5) em suas respectivas especialidades.

MN-QAP	16.0695.44	REYNALD STEFFANE HIGINO DA SILVA	9,575
--------	------------	----------------------------------	-------

#### LÁUREA “ALMIRANTE CÂMARA”

Destina-se a premiar o Marinheiro do C-Espc-FR que obtiver maior média na área de Auxílios a Navegação, que abrange a disciplina de Componentes Eletrônicos de Auxílios a Navegação, desde que em nenhuma delas tenha obtido média inferior a oito (8,0).

MN-QAP	16.0695.44	REYNALD STEFFANE HIGINO DA SILVA	9,236
--------	------------	----------------------------------	-------

#### LÁUREA “SUBOFICIAL OLIVEIRA”

Destina-se a premiar o Marinheiro do C-Espc-FR que obtiver maior média na área de Navegação, que abrange a disciplina de Navegação, desde que em nenhuma delas tenha obtido média inferior a oito (8,0).

MN-QAP	16.0695.44	REYNALD STEFFANE HIGINO DA SILVA	9,358
--------	------------	----------------------------------	-------

#### LÁUREA “MESTRE JOÃO DOS SANTOS”

Destina-se a premiar o Marinheiro do C-Espc-FR que obtiver maior média na área de Auxílios à Navegação, que abrange as disciplinas de Auxílios à Navegação e Manutenção de Auxílios à Navegação de Fim de Curso, desde que em nenhuma delas tenha obtido média inferior a oito (8,0).

MN-QAP	15.0670.41	LUIZ CARLOS RODRIGUES DE ASSIS JUNIOR	9,775
--------	------------	---------------------------------------	-------

## VI – COMISSÕES

### 1. COMISSÕES REALIZADAS PELOS NAVIOS DO GRUPAMENTO DE NAVIOS HIDROCEANOGRÁFICOS (GNHo)

# NAVIO DE APOIO OCEANOGRÁFICO “ARY RONGEL”



*Figura 1 – NApOcaRongel na comissão OPERANTAR XXXVIII*

No período compreendido entre 3 de janeiro e 8 de abril de 2020, o Navio de Apoio Oceanográfico “Ary Rongel” (NApOcaRongel) realizou a segunda parte da Operação Antártica (OPERANTAR) XXXVIII, iniciada em 25 de outubro de 2019.

Essa fase da comissão foi marcada pela inauguração das novas instalações da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), em 15 de janeiro de 2020. Ainda nessa etapa, o NApOcaRongel prestou apoio logístico à EACF e deu suporte a dez



projetos de pesquisa do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), implantando e recolhendo quatro acampamentos no continente gelado.

Na Ilha Marambio, no Mar de Weddell, desenvolveu-se um projeto científico por 57 dias, sendo a mais longa permanência em acampamento de pesquisadores brasileiros registrada nessa região. Nas Ilhas Shetlands do Sul, os estudos ficaram concentrados em Demay Point, Módulo Ipanema e na Ilha Livingston.

Entre maio e setembro de 2020, o NApOcaRongel passou por um Período de Manutenção no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ), durante o qual foram executadas diversas verificações em equipamentos, máquinas e sensores de bordo, merecendo destaque a revisão dos sistemas de propulsão e de geração de energia e a implementação de melhorias voltadas para o conforto e a habitabilidade do meio. Essa detalhada revisão é um investimento feito pela Marinha do Brasil e tem demonstrado, nos últimos anos, gerar resultados positivos para a operação, com segurança, nas intempéries das águas antárticas.

Em outubro de 2020, foram realizadas comissões preparativas para a OPERANTAR XXXIX, como a Inspeção Operativa e a Verificação de Segurança de Aviação, que muito contribuíram para o incremento do adiestramento da tripulação e, por consequência, para a segurança das atividades desenvolvidas na Antártica.

As limitações impostas pela pandemia do novo coronavírus trouxeram desafios adicionais para a OPERANTAR XXXIX, como a impossibilidade de licenciamento da tripulação, restrições logísticas nos portos e realização de quarentena prévia de 14 dias. Entretanto, superando todos os fatores de dificuldade, o NApOcaRongel vem, desde 3 de novembro de 2020,

realizando sua vigésima sétima viagem austral consecutiva.

Ao longo de 2020, o NApOcaRongel, principal vetor logístico do PROANTAR, cruzou o tormentoso Estreito de Drake por oito vezes, com seus 1.100m<sup>3</sup> de volume dos porões abastecidos de carga e tanques com 500.000 litros de óleo combustível destinados à EACF, enfrentando, por muitas vezes, condições de mar adversas, com ondas de até 8 metros de altura e ventos que superaram os 70 nós.

Para atender às demandas apresentadas, o “Gigante Vermelho” conquistou 127,5 dias de mar e navegou 11.944 milhas, sempre ostentando, com orgulho, o Pavilhão Nacional nas frias e silenciosas latitudes da região antártica.



Figura 2 – Transporte de trator na Enseada Martel



Figura 3 – Embarque de trator

# NAVIO POLAR “ALMIRANTE MAXIMIANO”



*Figura 1 – NPoAlteMaximiano operando no Continente Antártico*

No início do ano de 2020, o Navio Polar “Almirante Maximiano” (NPoAlteMaximiano) navegou nos mares austrais, realizando as últimas fases da OPERANTAR XXXVIII. Durante a 4ª Fase da Comissão, ocorreu a inauguração das novas instalações da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), evento de grande magnitude no contexto do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR). Na ocasião, o Navio recebeu autoridades de alto escalão, como o Sr. Vice-Presidente da República Antônio Hamilton Martins Mourão, o Ministro da Defesa Fernando Azevedo e Silva, o Ministro da Infraestrutura Tarcísio Gomes de Freitas, o Ministro da Ciência, Tecnologia e Inovações Marcos Cesar Pontes e o Comandante da Marinha, Almirante de Esquadra Ilques Barbosa Junior.



*Figura 2 – Inauguração das novas instalações da EACF*

Na 5ª Fase da OPERANTAR XXXVIII, foram conduzidas coletas de amostras biológicas nas Ilhas Rei George e Deception, além da prospecção de amostras de água ao longo da Baía do Almirantado e da Enseada Martel. O apoio à pesquisa teve prosseguimento na 6ª Fase da Comissão,



destacando-se os seguintes eventos: o lançamento de um seaglider nas proximidades das Ilhas Elefante e Clarence; a realização de estações oceanográficas no Estreito de Bransfield, Estreito de Gerlache, Mar de Scotia, nas proximidades das Ilhas Orcadas do Sul; e coletas de amostras biológicas de baleias nos Estreitos de Bransfield e Gerlache. Nesse período, de janeiro a março de 2020, o NPoAlteMaximiano apoiou 10 projetos de pesquisa, com o embarque de 54 pesquisadores, tendo sido realizadas 65 estações oceanográficas, além de diversas coletas em terra e sondagens, totalizando 578 horas com ecobatímetro multifeixe e mais de 1.500 horas de dados com o ecobatímetro monofeixe, termossalinógrafo e ADCP.



Figura 3 – Estação oceanográfica em águas antárticas

A última Fase da Operação compreendeu o regresso ao Brasil e foi marcada pelo início das restrições impostas pela pandemia da COVID-19, quando foram fechados os portos de Ushuaia (ARG) e Montevideu (URU), o que implicou grandes desafios de natureza logística ao Navio.

Concluída a OPERANTAR XXXVIII, o NPoAlteMaximiano executou, entre os meses de abril e setembro, o Período de Docagem de Rotina no AMRJ, quando foram realizadas revisões do Motor de

Combustão Auxiliar (MCA) e dos Motores de Combustão Principais (MCP), com a verificação do sistema de monitoramento da propulsão, a retirada do eixo de BE e a revisão geral do Hélice de Passo Controlado (HPC) de boreste. Ademais, foi instalado o moderno ECDIS K-NAV, da empresa KONGSBERG MARITIME, e foram realizadas a revisão e calibração dos guinchos e sensores do CTD, além da aquisição de periféricos para sua modernização.

Nos meses de setembro e outubro, já na fase de preparação da OPERANTAR XXXIX, o “Tio Max” realizou as comissões “CICLO PÓS PM”, “INSPEX - H41” e “VSA II (Dinâmica)”, além de comissão para homologação do envelope das aeronaves UH-17, recém-adquiridas pela MB.

No dia 14 de outubro, observando o protocolo de segurança estabelecido pela Diretoria de Saúde da Marinha, o Navio iniciou o período de quarentena e, no dia 28 do mesmo mês, largou as espias do cais do AMRJ, dando início à OPERANTAR XXXIX. Por conta das restrições logísticas impostas pela pandemia, o apoio prestado pelo Navio foi essencial à consecução do PROANTAR, ao transportar os Grupos-Base “Polaris” e “Ferraz” na 1ª Etapa da Comissão.

A OPERANTAR XXXIX foi marcada, ainda, pelo voo inaugural na Antártica das novas aeronaves UH-17, embarcadas no NPoAlteMaximiano, estabelecendo-se um novo capítulo das operações aéreas do Navio no continente gelado.

No dia 21 de dezembro, 55 dias após a desatracação do AMRJ, o NPoAlteMaximiano atracou no porto de Rio Grande, onde efetuou atividades logísticas de apoio à OPERANTAR. Ao final de 2020, o Navio perfez 139,5 dias de mar e 16.442 milhas náuticas navegadas.



*Figura 4 – Faina de QRPB com a aeronave UH-17*



# NAVIO DE PESQUISA HIDROCEANOGRÁFICO “VITAL DE OLIVEIRA”



*Figura 1 – NPqHovitaldeOliveira em trânsito para a comissão “ERG”*

O Navio de Pesquisa Hidroceanográfico “Vital de Oliveira” (NPqHovitaldeOliveira) tem a missão de servir como Plataforma Marítima, Laboratório Oceânico e Laboratório Multiuso, sendo empregado prioritariamente em prol do monitoramento e caracterização física, química, biológica, geológica e ambiental de áreas oceânicas estratégicas para a exploração de recursos naturais, com ênfase nos recursos minerais, óleo e gás, ampliando

a presença brasileira no Atlântico Sul e Equatorial, a fim de contribuir para a aplicação do Poder Naval e para os projetos nacionais de pesquisa em Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB), bem como os resultantes de compromissos internacionais.

No que tange às comissões de cunho científico, de 28 de janeiro a 19 de março, o Navio suspendeu para a Elevação do Rio Grande (ERG) com o objetivo de realizar coleta de dados ambientais no

Atlântico Sul, a fim de contribuir para os estudos do Serviço Geológico do Brasil (Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais – CPRM) e para o enriquecimento da base de dados do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO).

De 27 de julho a 3 de agosto, o Navio realizou um levantamento hidrográfico na Base de Submarinos da Ilha da Madeira (BSIM), a fim de perfazer uma sondagem multifeixe ao longo do cais e da área contígua na bacia de manobra dessa Base, empregando para isso a lancha hidrográfica “Cehili”, pertencente ao Navio.

De 12 de outubro a 5 de novembro, o Navio realizou a comissão “Elevação do Rio Grande / PROERG Gás II”, com a missão de realizar coleta de dados para subsidiar futuras requisições brasileiras na área em questão, ressaltando-se os aspectos necessários à construção da Linha de Base Ambiental da ERG, e os padrões gerais e processos potencialmente importantes para a interpretação dos futuros estudos localizados na região.

Quanto às comissões de cunho operativo, este Navio realizou, em 20 de março, uma Vistoria de Segurança de Aviação, perfazendo duas horas de voo; de 31 de março a 4 de abril, realizou uma comissão em proveito do Comando em Chefe da Esquadra; em 6 de maio, uma comissão



Figura 2 – Navio e pesquisadores celebram a comissão “ERG”

de qualificação de Equipe de Manobra e Crache (EQMAN), perfazendo sete horas de voo; e, de 31 de agosto a 4 de setembro, uma comissão de familiarização do Destacamento Aéreo Embarcado (DAE) da OPERANTAR XXXIX com a aeronave UH-17, adquirida recentemente pelo 1º Esquadrão de Helicópteros de Emprego Geral, perfazendo vinte horas de voo.

Realizou ainda, em 20 de setembro, o lançamento da boia meteoceanográfica “Itaguaí” (Figura nº 3), pertencente ao Programa Nacional de Boias (PNBOIA), em apoio ao Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Esta boia, especificamente, contribui para o aperfeiçoamento dos sistemas de previsão de ondas e correntes em águas rasas, dentre eles o SISCORAR, e para a validação de avisos de ressaca e mar grosso emitidos pelo Serviço Meteorológico Marinho para o litoral do Rio de Janeiro.

Assim, o NPqHoVitaldeOliveira realizou diversas comissões durante o ano de 2020 em prol do cumprimento de sua missão.

“Pesquisa no Mar? Vital, Navegar!”



Figura 3 – Lançamento de boia do projeto “REMO Observacional”



# NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO “CRUZEIRO DO SUL”



Figura 1 – NHoCSul nas proximidades da Ilha Rasa de Guaratiba

Em 29 de junho de 2020, o Navio Hidroceanográfico “Cruzeiro do Sul” (NHoCSul) suspendeu com destino a Salvador, para cumprir o Período de Docagem de Rotina (PDR-2020) na Base Naval de Aratu. Em proveito à travessia, o Navio fundeou nas proximidades do Farol de Macaé para, em 1º de julho, realizar o abastecimento de 6.400 litros de Óleo Combustível do Farol. Em paralelo, foi destacada uma equipe para tratamento e pintura do Faroete dos Papagaios.

Durante o PDR-2020, o Navio realizou, dentre outros serviços, a manutenção

na máquina de suspender e fundear, com retirada de bordo; tratamento, pintura e substituição de chapas das obras vivas; e sondagem, tratamento e reparo estrutural de tanques de combustível e do *peak tank*. Destacaram-se o planejamento preciso e a qualidade técnica dos serviços conduzidos e executados pela BNA, que permitiram a conclusão dos reparos rigorosamente no prazo, bem como a realização das provas de cais e de mar, com pleno êxito.

No segundo semestre de 2020, após o término do PDR e retorno ao Rio de Janeiro, o Navio foi designado para, em 2

de dezembro, apoiar o Centro de Instrução e Adestramento Almirante Wandenkolk (CIAW) na representação da Formatura do CFO/2020. Logo após a cerimônia, o Navio suspendeu em direção a Arraial do Cabo, fundeando na manhã do dia 3 de dezembro nas proximidades da Ilha dos Franceses, com o objetivo de lançar para o IEAPM a estação submersa do Laboratório de monitoramento por Métodos Acústicos da Ressurgência (LABMMAR).

Em 7 de dezembro, o “Cruzeiro do Sul” suspendeu do Rio de Janeiro para manutenção/recolhimento da boia

meteoceanográfica ITAGUAÍ, integrante do Programa Nacional de Boias (PNBOIA), localizada nas proximidades da Ilha Grande. Em virtude do estado de alagamento da boia, não foi possível restabelecer seu funcionamento, o que obrigou a realizar seu recolhimento. No mesmo dia, foram realizadas observações batitermográficas e lançamento de conjuntos (XBT), bem como adquiridos dados batimétricos multifeixe, a fim de que fosse conduzida calibração do sistema (Patch Test), ambos em proveito do adestramento dos Oficiais Hidrógrafos a bordo da embarcação.



*Figura 2 – Docagem na Base Naval de Aratu*



*Figura 3 – Faina de manutenção em boia do projeto PNBOIA*



# NAVIO HIDROGRÁFICO “SIRIUS”



*Figura 1 – NHiSirius realizando a comissão “QUEBRA SAL”*

No período de 14 a 15 de janeiro de 2020, o Navio Hidrográfico “Sirius” (NHiSirius) realizou o embarque de familiarização para sessenta e seis adaptandos da Escola de Formação de Oficiais da Marinha Mercante (EFOMM), divididos em dois grupos, com o objetivo de motivar os futuros

Alunos para a carreira, bem como verificar os auxílios à navegação ao longo da derrota.

Foram realizados adestramentos referentes às atividades de navegação e à missão do Navio, contribuindo para o primeiro contato dos futuros Alunos com as peculiaridades da vida embarcada.



*Figura 2 – Adestramento de navegação para os alunos da EFOMM*



*Figura 3 – Comissão “Apoio à Sinalização Náutica”*

Nos meses de janeiro e março de 2020, o NHiSirius realizou duas Comissões em apoio ao Centro de Auxílios à Navegação Almirante Moraes Rego (CAMR), na área do litoral do Estado do Rio de Janeiro, cumprindo as seguintes tarefas: verificação dos auxílios à navegação ao longo da derrota e realização do reabastecimento de óleo combustível do Farol de Macaé, localizado na Ilha de Santana-RJ.

Mostraram-se fundamentais o adestramento da tripulação e as ações tomadas com o intuito de prevenir a disseminação da COVID-19, a fim de garantir a operacionalidade do Navio e a preservação da saúde do pessoal.

No período compreendido entre 15 de maio e 11 de novembro de 2020, o NHiSirius passou por um Período de

Docagem de Rotina (PDR), na Base Naval do Rio de Janeiro, em que realizou diferentes manutenções preventivas e corretivas. Entre os principais reparos conduzidos, destacaram-se: a substituição do chapeamento do piso e teto do hangar; o reparo da base do mastro de ré, com a necessidade de sua remoção de bordo para manutenção; a extensa substituição de chapas nas obras vivas; a revisão das linhas de eixo e do HPC; a revisão da máquina de suspender; a substituição de vários trechos de redes de óleo e água salgada; a substituição de todo o teto do tanque de aguada nº 1; a revisão das duas bombas de incêndio; e a revisão e substituição de válvulas de fundo e de sistemas diversos. Tais serviços visaram garantir melhores condições operacionais e a extensão da vida útil do Navio, de forma a cumprir sua missão com segurança e excelência.



# NAVIO OCEANOGRÁFICO “ANTARES”



Figura 1 – NOcAntares realizando a comissão PIRATA BR-XX

No ano de 2020, de maio a setembro, o Navio Oceanográfico Antares realizou período de manutenção corretiva e preventiva, devido à avaria no acoplamento flexível do MCP, ocorrida na comissão “ADECOMTE”. Além do reparo necessário, foram realizadas as revisões parciais de 5.000h do MCP e revisões de 2.400h dos MCA 1 e 2.

Entre os dias 1º e 4 de setembro, o Navio realizou experiência de máquinas com o propósito de realizar testes no MCP e nos MCA, além de verificar, em proveito da comissão, os auxílios à navegação ao longo da derrota no litoral do estado do Rio de Janeiro, observando o alcance luminoso dos faróis, faroletes e boias luminosas, e a transmissão ou recepção de auxílios eletrônicos.

De 8 a 12 de setembro, o NOcAntares deu continuidade à experiência de máquinas, realizou adestramento da tripulação, alinhamento da agulha magnética e análise de vibração.

No dia 25 de setembro, o navio desatracou com o propósito de cumprir PAD-CIASA e, em proveito da comissão, verificar os auxílios à navegação ao longo da derrota no litoral do estado do Rio de Janeiro.

A Operação PIRATA BR-XX, realizada entre os dias 21 de outubro e 1º de dezembro de 2020, teve como objetivo manter a operacionalidade das boias ATLAS/T-FLEX, por meio da inspeção, recolhimento, manutenção e lançamento das mesmas, bem como a coleta de dados oceanográficos na região.

Essa operação visa garantir a contribuição brasileira ao Projeto PIRATA (*Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic*), iniciativa tripartite de instituições científicas do Brasil, Estados Unidos e França. Adicionalmente, a Operação também consistiu na obtenção de dados físico-químicos

da água do mar, destinados à produção de informações ambientais, necessárias ao planejamento e condução de operações navais nas áreas de interesse. Os dados coletados ao longo desta comissão contribuíram para o enriquecimento da base de dados do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO).



Figura 2 – Recolhimento de boia do Projeto PIRATA



Figura 3 – Inspeção e manutenção de boia do Projeto PIRATA



# NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO FAROLEIRO “ALMIRANTE GRAÇA ARANHA”



*Figura – NHoFAlteGraçaAranha fundeado na Barra Norte do Rio Amazonas*

Entre os dias 21 de janeiro e 4 de fevereiro de 2020, o Hidroceanográfico “Almirante Aranha” (NHoFAlteGARanha) realizou apoio logístico ao Posto Oceanográfico da Ilha da Trindade (POIT I) e a pesquisadores vinculados ao Programa de Pesquisas Científicas na Ilha da Trindade (PROTRINDADE). Durante a comissão, fundeado na Enseada dos Portugueses, o Navio prestou apoio ao veleiro de bandeira angolana “ADRIANA”, que se encontrava em travessia rumo ao porto do Rio de Janeiro, fornecendo 440 litros de óleo diesel. Para a ilha, foram transferidos 4 galões de gasolina de 200 litros e materiais de higiene, consumo e pesquisa, em 66 caixas de marfinites.

Em 20 de fevereiro, o Navio suspendeu para realizar a etapa dinâmica de Vistoria de Segurança da Aviação (VSA). Após cumprir o programa de pousos e decolagens, manobras de PICK UP e VERTREP, hangaragem e desangaragem e reabastecimento de QAv-5 com a aeronave, o Navio foi aprovado para realização de operações aéreas.

Em 9 de março, o Navio suspendeu para realizar a comissão “PROARQUIPELAGO/PROTRINDADE V”, cuja missão era realizar o transporte de pesquisadores e material para o Arquipélago de São Pedro e São Paulo e para a Ilha da Trindade. Porém, em virtude da deflagração da pandemia de COVID-19,



e visando salvaguardar a saúde da tripulação, enquanto as medidas sanitárias cabíveis eram tomadas pelos órgãos competentes, a comissão foi cancelada; e o Navio, que estava atracado em Salvador, retornou ao porto sede, atracando no PIRF em 21 de março.

Em julho, o NHoFAlteGaranha suspendeu para realizar a comissão ADECOMTE, a fim de realizar ambientação do Comandante nomeado e, em aproveitamento, realizar manutenção da qualificação das Equipes de Manobra e Crache de meios subordinados à DHN. Estiveram a bordo o Diretor-Geral de Navegação, Almirante de Esquadra Marcelo Francisco Campos, e o Diretor de Hidrografia e Navegação, Vice-Almirante Edgar Luiz Siqueira Barbosa. Foram cumpridos circuitos de pouso e decolagem, manobras de carga, por meio de PICK UP e VERTREP, além do reabastecimento da aeronave com 297 litros de QAv-5.

Em agosto, o Navio realizou a comissão "ADESTRIP", realizando exercícios de controle de avarias, abandono, postos de voo, acidente de pessoal, avarias operacionais e manobras de homem ao mar. Além disso, contribuiu com a prática de 11 alunos do Curso de Especialização de Hidrografia e Navegação para Praças (C-Espc-HN) nas matérias de Navegação I e Oceanografia. Durante todo o período, foram verificados os Auxílios à Navegação ao longo da derrota e na área de operações, observando o alcance luminoso dos faróis, faroletes e boias luminosas.

No período de 8 de setembro a 18 de novembro, o Navio realizou a comissão

"Levantamento Hidrográfico da Barra Norte do Rio Amazonas". Antes do suspender do Navio, foi realizado o isolamento social e testagem de toda a tripulação, visando ao cumprimento dos protocolos de segurança estabelecidos no Plano de Atividades da Marinha do Brasil – COVID-19. Durante a comissão, o Navio foi utilizado como Estação Maregráfica Móvel, pois realizou a coleta de dados, a fim de aprimorar o Nível de Redução (NR) na região do Arco Lamoso, contribuindo para a correta determinação da profundidade, implementando segurança à navegação, além de adquirir elementos para a atualização das cartas náuticas 221 e 21300.

Já no período de 19 a 22 de novembro, o Navio realizou a comissão "Apoio ao LHFC/ Sinalização Náutica Sudeste VI", cuja missão foi realizar o traslado da lancha hidroceanográfica "Cehili" até a Base de Submarinos da Ilha da Madeira (BSIM) e prover o abastecimento do Farol de Macaé. Após desembarcar a lancha nas proximidades do porto de Itaguaí, o Navio demandou a enseada da Ilha de Santana, onde fundeou e iniciou a transferência de materiais de consumo, higiene, água potável e 6.000 litros de óleo diesel para os militares que guarneciam aquele farol.

Em dezembro, o Navio fundeou nas proximidades da Escola Naval, com a missão de apoiar a cerimônia de declaração de Guardas-Marinha/2020 da turma "Capitão-Mor Jerônimo de Albuquerque".





# NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO “TAURUS”



*Figura 1 – NHoTaurus realizando sondagem na Baía de Sepetiba*

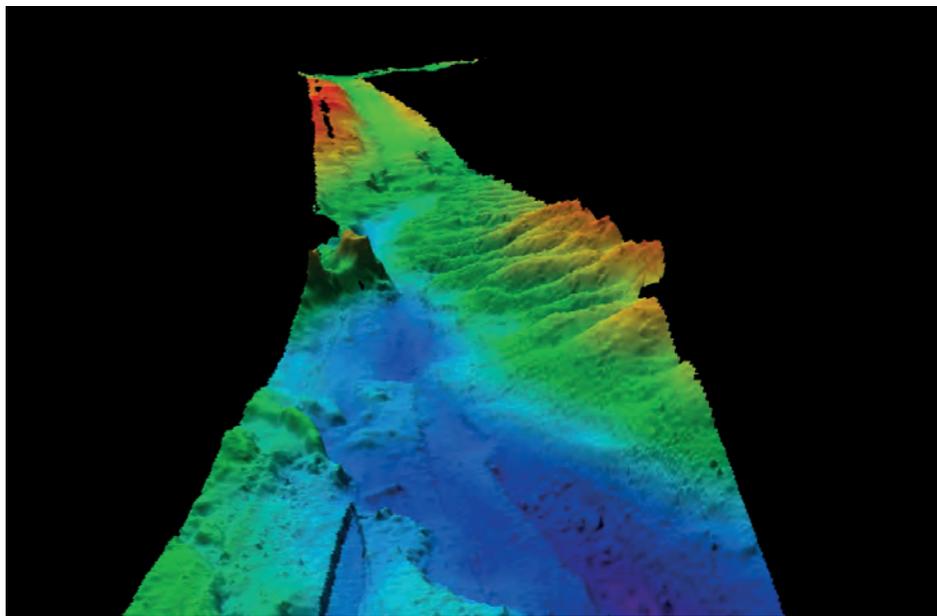
Ao longo de 2020, o Navio Hidroceanográfico “Taurus” (NhoTaurus) buscou solucionar um problema surgido na vedação das linhas de eixo, após a desdocagem da Base Naval do Rio de Janeiro, em março de 2020. Com a correta e precisa assessoria técnica da Diretoria Industrial da Marinha, o Navio realizou uma segunda docagem, em agosto de 2020, alcançando sucesso no reparo, e encerrando, com êxito, o Período de Docagem de Rotina, iniciado no final de 2019.

Durante o período de imobilização, o Navio se dedicou ao adestramento da Tripulação e à melhoria do seu estado material, o que o conduziu à aprovação nas Inspeções Operativas da Comissão de Inspeção e Assessoramento do Adestramento (CIAAs), em novembro de 2020.

Imediatamente após ascender à Fase II, o NHoTaurus suspendeu para realizar, em operação conjunta com o Aviso de Pesquisa Hidroceanográfico “Aspirante Moura”, o Levantamento Hidrográfico no canal de acesso à Base de Submarinos da Ilha da Madeira (BSIM), em Itaguaí-RJ, em apoio ao Setor Operativo, contribuindo para o Plano de Medidas Preventivas que permitiu a visita ao Brasil do submarino nuclear norte-americano “USS VERMONT” (SSN 792). O “USS VERMONT” atracou na BSIM para prestigiar o lançamento do Submarino “Humaitá” (S-41), pertencente à classe “Riachuelo” de submarinos convencionais da Marinha do Brasil, e a integração do casco do Submarino “Tonelero” (S-42), em cerimônia realizada em 11 de dezembro, naquela Base.

O levantamento realizado consistiu na execução de Varredura Acústica, com o propósito de identificar novos alvos antrópicos no leito marinho, na derrota do canal de acesso à BSIM, compreendendo, também, o canal principal do porto de Itaguaí. O Navio realizou a sondagem regular multi-feixe do canal principal, utilizando o seu eco-batímetro modelo EM-710, além de realizar

a perfilagem dos parâmetros de salinidade e temperatura das massas de água. Os dados coletados integrarão os subsídios para a atualização das cartas náuticas da região sob jurisdição do Comando do 1º Distrito Naval, propiciando maior segurança à navegação de todas as embarcações que ali transitarem e, conseqüentemente, contribuindo para o desenvolvimento e prosperidade do País.



*Figura 2 – Perfil batimétrico do canal*



*Figura 3 – Resultado da sondagem aplicado à carta náutica*



# NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO “AMORIM DO VALLE”



*Figura 1 – NHoAValle durante a experiência de máquinas*

No dia 28 de maio de 2020, o Navio Hidroceanográfico “Amorim do Valle” (NHoAValle) realizou uma Experiência de Máquinas, no interior da Baía de Guanabara, em que foram conduzidos adestramentos visando à manutenção do aprestamento da Tripulação, após encerrar um Período de Docagem Extraordinário no Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ). Nessa ocasião, foi verificada a

necessidade de se realizar uma manutenção geral nos seus Motores de Combustão Principal (MCP), de modo a ampliar a vida útil desses equipamentos e permitir o emprego seguro do Navio.

Em face de suas características e equipagens, os navios da classe “Amorim do Valle” são os meios da MB mais indicados para realizar LH em áreas marítimas de aproximação dos portos, que precisam ser

constantemente atualizadas, de acordo com o planejado nos Planos de Trabalho de Hidrografia (PTHidro) e de Cartografia (PTCart), de forma a cooperar com o desenvolvimento nacional.

A partir de julho, foram iniciadas 2 (duas) tratativas:

- a primeira, junto ao AMRJ, de modo que a empresa MAN Diesel, representante do fabricante no Brasil, realizasse as manutenções gerais dos MCP”.

- a segunda, junto à Comissão Naval Brasileira na Europa (CNBE), para efetuar as aquisições dos sobressalentes no exterior.

Em novembro, o Navio atracou no AMRJ para que os MCP fossem retirados de bordo e enviados para execução do serviço

de revisão geral. Em 2 de dezembro, iniciou-se a retirada do MCP de bombordo e, em 9 de dezembro, este foi entregue na oficina da MAN Diesel.

Não obstante a imobilização do Navio e visando manter o aprestamento da Tripulação, entre os dias 6 a 9 de novembro, membros da Divisão de Hidroceanografia do NHoAValle realizaram um Levantamento Hidrográfico (LH) nas proximidades do Centro de Instrução Almirante Alexandrino (CIAA), empregando a lancha hidrográfica “Cehili”, pertencente ao NPqHoVitaldeOliveira. O LH teve como missão realizar sondagem multi-feixe no Canal do Galeão, na margem próxima ao trapiche de atracação do CIAA, a fim de subsidiar o projeto de obra no local.

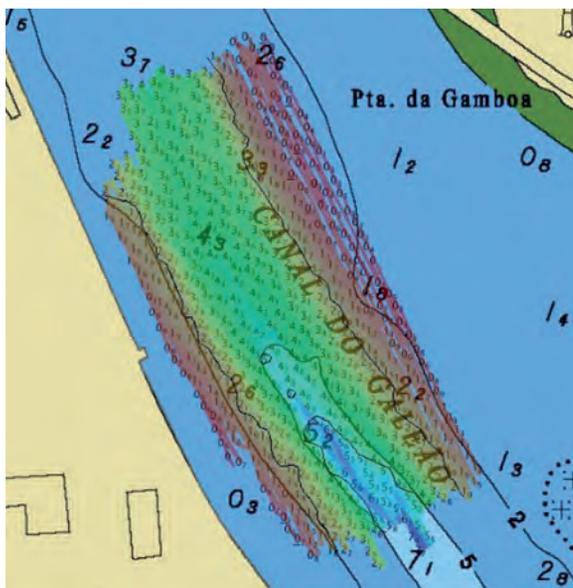


Figura 2 – Sondagem no Canal do Galeão



Figura 3 – Realização de lançamento do Sound Velocity Profile (SVP)



# AVISO DE PESQUISA HIDROCEANOGRÁFICO “ASPIRANTE MOURA”



*Figura 1 – AvPqHoAspMoura nas proximidades da Ilha de Mocanguê*

O ano de 2020 foi um ano de grande desenvolvimento para o Aviso de Pesquisa Hidroceanográfico “Aspirante Moura” (AvPqHoAspMoura), pois foi possível contribuir com a capacitação de futuros Hidrógrafos, em duas comissões de apoio à instrução, realizar dois importantes levantamentos hidrográficos – em Macaé e na Baía de Sepetiba –, e apoiar o Instituto de Estudos do Mar “Almirante Paulo Moreira” (IEAPM) em atividades de pesquisa e oceanografia, em Arraial do Cabo.

Em agosto de 2020, o Navio iniciou intensos trabalhos de pesquisa, começando por realizar sua primeira campanha hidrográfica na Marinha do Brasil, para atualização da carta náutica 1507 – Enseada de Macaé e Proximidades, cumprindo evento previsto no Plano de Trabalho de Hidrografia da DHN, de grande relevância para a segurança da comunidade marítima local e de navios que prestam apoio às plataformas da Bacia de Campos.





Após reavivar a vertente de pesquisa de sua missão, o Navio foi designado para apoiar o Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino (CIAARA) na instrução de navegação do Curso de Especialização em Hidrografia para Praças (C-Espc-HN), Compensação de Agulha Magnética e na Semana Hidrográfica dos Oficiais-Alunos do Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais (CAHO). Em seguida, prestou, também, apoio como plataforma de sondagem monofeixe e de apoio logístico ao longo de todo o Levantamento Hidrográfico de Final de Curso (LHFC-2021), durante o qual a tripulação do navio pôde passar adiante as experiências adquiridas nas comissões anteriores.

Por fim, o Navio teve a oportunidade de contribuir com a Base de Submarinos da Ilha da Madeira (BSIM), em dezembro de 2020, fornecendo subsídios de imageamento do fundo para a navegação segura e atracação na BSIM do submarino nuclear norte-americano “USS VERMONT” (SSN 792). A equipe do Navio também guardou a lancha “Cehili”, em conjunto com os Oficiais-Alunos do LHFC, para efetuar um LH multifeixe na bacia de manobra da BSIM, para assegurar-se de que o cais teria condições de receber o submarino.

Como se pode observar, o AvPqHoAspMoura contribuiu de maneira significativa no ano hidrográfico de 2020, demonstrando o grande potencial que o Navio possui para agregar valor aos trabalhos da DHN e às demandas da Marinha do Brasil.

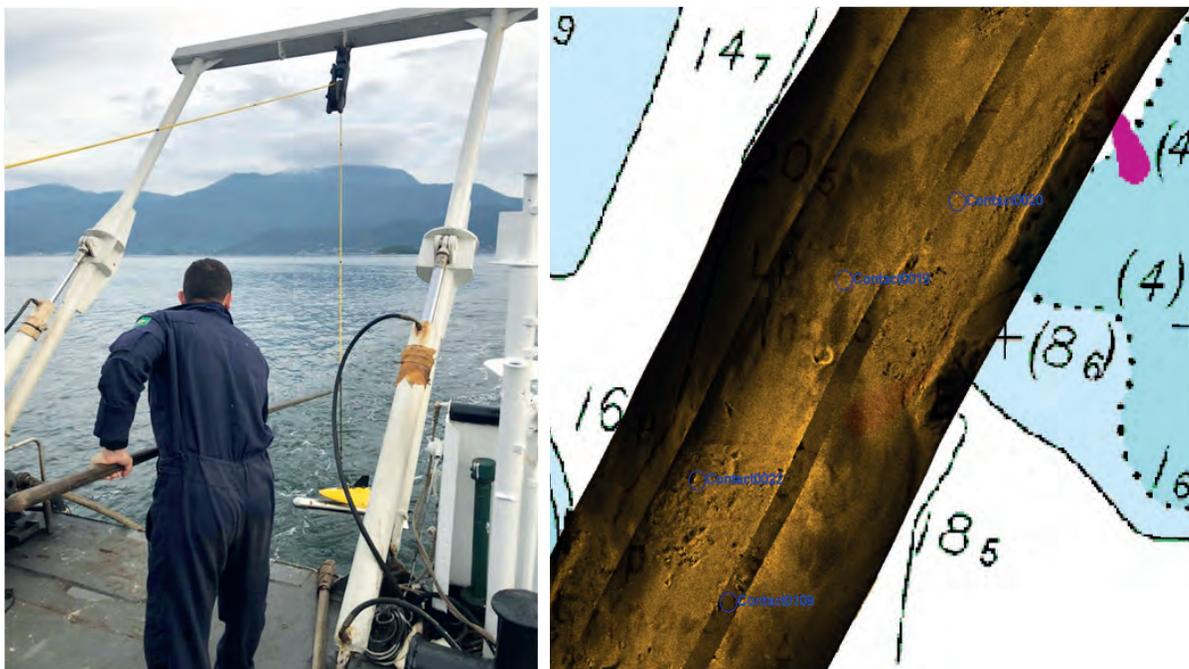


Figura 4 – Imageamento de alta resolução do Canal da BSIM



## 2. COMISSÕES REALIZADAS PELOS NAVIOS DO CENTRO DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO DO NORTE (CHN-4)

# NAVIO HIDROGRÁFICO BALIZADOR “TENENTE CASTELO”



### **Comissão Hidrográfica I – 10 a 13MAR**

Em cumprimento à Ordem de Movimento Simplificada nº 008/2020 do Centro de Hidrografia e Navegação do Norte (CHN-4) o NHiB “Tenente Castelo” realizou a comissão “Hidrográfica I”, coletando dados hidrodinâmicos no Canal do

Quiriri e realizando inspeção dos auxílios à Navegação, ao longo da derrota.

Durante os 3 dias de comissão, o Navio coletou importantes dados para o estudo hidrodinâmico local, além de realizar adestramentos com sua tripulação visando ao aprestamento do meio.



### Comissão Hidrográfica-Extra V – 15SET a 16SET

Ao longo de 02 dias, o Navio realizou 15 km<sup>2</sup> de Levantamento Hidrográfico (LH), apoiado pela Lancha Hidrográfica “Jari”, no cais da Companhia Docas do Pará (CDP), próximo à localidade Outeiro-PA, com o fito de realizar assessoramento ao planejamento da Operação ÁGATA, que contou com a participação de meios da Esquadra.



### Comissão Hidrográfica III – 25SET a 31OUT

Em cumprimento à Ordem de Movimento Simplificada nº 037/2020 do Centro de Hidrografia e Navegação do Norte (CHN-4), o Navio realizou Levantamento Hidrográfico (LH) nas regiões do Arco Lamoso e Canal Grande do Curuá, em conjunto com o Navio Hidroceanográfico Faroleiro “Almirante Graça Aranha”, com objetivo de coletar dados para atualização das Cartas Náuticas locais e servir como subsídio ao estudo de aumento do calado da Barra Norte do Rio Amazonas.

Nos 36 dias de comissão, o Navio percorreu 4.213 milhas náuticas, realizando Levantamento Hidrográfico em 820,25 km<sup>2</sup>.





# AVISO HIDROCEANOGRÁFICO FLUVIAL “RIO TOCANTINS”



Em decorrência da pandemia do novo Coronavírus, no ano de 2020, e a fim de contribuir para a segurança da navegação fluvial e apoiar as Operações Navais da Marinha do Brasil no âmbito do Distrital, o Aviso Hidroceanoográfico Fluvial “Rio Tocantins” realizou atividades de Inspeção Naval e Resgate SAR no primeiro semestre do ano.

Em junho de 2020, iniciou seu primeiro Período de Manutenção Geral (PMG). Dentre os principais reparos, destacam-se a revisão dos motores de propulsão

principal, do sistema de geração de energia auxiliar, das linhas de eixo e reformas estruturais. Ainda durante essa fase de reparos, o Navio realizou revisão do Ecobatímetro Monofeixe EA-400 e seus periféricos, bem como a revisão e calibração dos equipamentos da estação meteorológica, que irão permitir que o Navio, ao retornar a sua atividade operativa, contribua com a qualidade da segurança da navegação fluvial na região do 4º Distrito Naval com o grau de excelência esperado de nossos meios.



# AVISO HIDROCEANOGRÁFICO FLUVIAL “RIO XINGU”



## Comissão Hidrográfica-Extra I – 18MAI a 30JUN 2020

Em cumprimento ao Plano de Trabalho de Hidrografia 2020, o Aviso realizou a Comissão Hidrográfica-Extra I, executando levantamento hidrográfico (LH) no Rio Amazonas entre o “Furo da Juçara” - PA e as “Ilhas Pedreira” - PA.



Ao longo dos 44 dias de comissão, o Aviso Hidroceanoográfico Fluvial “Rio Xingu” reocupou 4 estações maregráficas, instalou seis referências de nível (RN), realizou 10 rastreios estáticos e perfez 713,73 km<sup>2</sup> de sondagem. Ao final do LH, o Navio produziu 16 folhas de bordo, fornecendo subsídios para atualização das cartas que abrangem a região sondada.

## Comissão Hidrográfica VII – 30AGO A 20OUT

Em cumprimento à Ordem de Movimento Simplificada nº 033/2020 do Centro de Hidrografia e Navegação do Norte (CHN-4) e ao item 13.1.7 do Plano de Trabalho de Hidrografia 2020, o Aviso realizou a comissão Hidrográfica VII.

A comissão teve seu início no dia 30 de agosto de 2020, quando o Aviso desatracou da cidade de Almeirim-PA, chegando na cidade de Santarém-PA no dia 31 do mesmo mês, iniciando os trabalhos de campo.

A comissão teve duração de 52 dias e, neste período, o Aviso reocupou 03 estações maregráficas, em Santarém-PA, Óbidos-PA e Parintins-AM. Realizou também 07 rastreios estáticos e sondou uma área de 592,05 km<sup>2</sup>. Ao término do LH, o Navio produziu 10 folhas de bordo, fornecendo dados para a atualização e produção de cartas náuticas, que abrangem a região compreendida entre a Foz do Rio Tapajós e a Ilha do Patacho no Rio Amazonas.

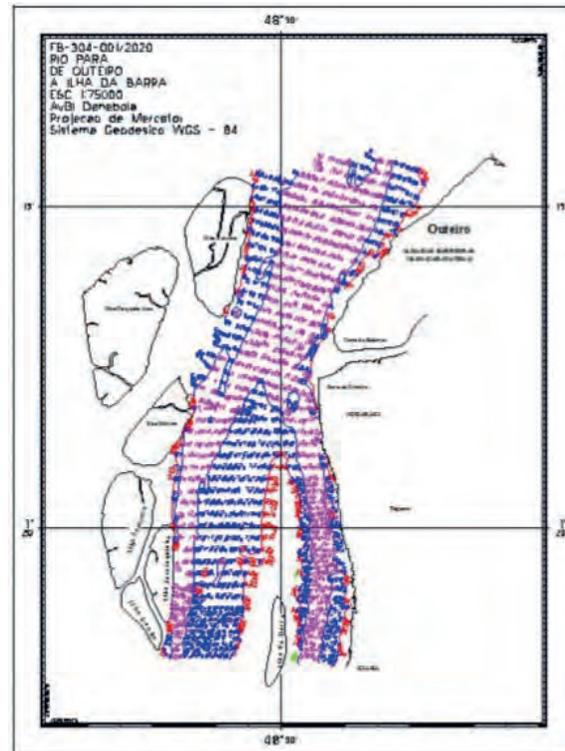
### **Levantamento Hidrográfico do Estágio de Qualificação em Hidrografia na Amazônia (EQ-Hid-A) – 1/2020 – 27ABR a 10JUN 2020**

Em cumprimento ao Estágio de Qualificação em Hidrografia na Amazônia (EQ-Hid-A) – 1/2020, o Aviso Balizador “Denébola” realizou a comissão de Levantamento Hidrográfico (LH) do Canal de Acesso ao Porto de Belém, no rio Pará, entre as proximidades da Ilha da Barra a Mosqueiro-PA.

Ao longo dos 45 dias de Estágio, o Aviso Balizador “Denébola” reocupou 02 Estações Maregráficas, realizou 02 rastreios estáticos e 23,53 km<sup>2</sup> de sondagem. No fim do Estágio, os alunos apresentaram o LH para uma banca presidida pelo Diretor do Centro de Hidrografia e Navegação do Norte (CHN-4), obtendo grau de conceito satisfatório.

### **Levantamento Hidrográfico no rio Araguaia – 17 A 27 JUN 2020**

Uma equipe destacada do CHN-4 foi designada para a Comissão de Levantamento Hidrográfico (LH) no rio Araguaia.



FB-304-001-2020

O trecho do rio Araguaia, na região próxima à cidade de São Geraldo do Araguaia-PA, foi contemplado com um Levantamento Hidrográfico (LH). A referida região, atualmente, conta com uma empresa de navegação autorizada pela ANTAQ, operando regularmente o serviço de travessia. Entretanto, no ano de 2020, uma nova empresa recebeu a outorga daquela agência a fim de operar concomitantemente a travessia de balsas. Nesse contexto, o CHN-4 foi designado para executar o Levantamento Hidrográfico, em atendimento às demandas de informações da ANTAQ.

Ao longo dos 10 dias de comissão, uma equipe do CHN-4 guarneceu 01 Estação Fluviométrica, realizou 06 rastreios estáticos e 1,35 km<sup>2</sup> de sondagem.



Área de sondagem



Folha de Bordo

## Levantamento Hidrográfico no trio de boias do canal do Quiriri – 14 a 21JUL 2020

Em cumprimento a uma solicitação da Capitania dos Portos da Amazônia Oriental (CPAOR), o Aviso Balizador “Vega” realizou a comissão de Levantamento Hidrográfico (LH) no trio de boias do canal do Quiriri.

Ao longo dos 07 dias de comissão, uma equipe do CHN-4, a bordo do Aviso Balizador “Vega”, reocupou 02 estações maregráficas e realizou 1,35 km<sup>2</sup> de sondagem. Como resultado, a equipe produziu 01 folha de bordo, a qual subsidiou a CPAOR na decisão acerca da continuidade da realização de testes com Navios, para a implementação do sistema de Folga Dinâmica Abaixo da Quilha (FDAQ) naquele canal de acesso.

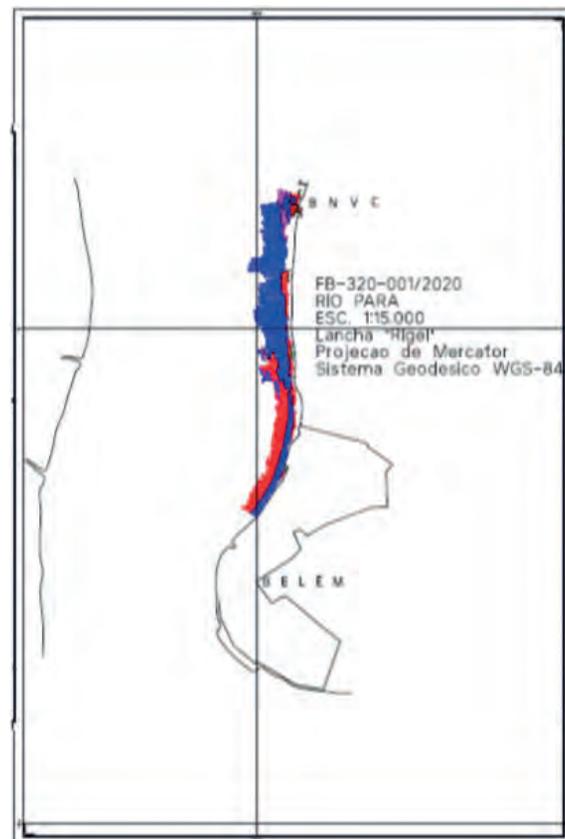


## Levantamento Hidrográfico em apoio a Operação ÁGATA – 08 A 12SET

Em cumprimento à solicitação do Comando Conjunto da Operação ÁGATA, o trecho do rio Pará, no canal de acesso ao porto de Belém, foi contemplado em

um Levantamento Hidrográfico (LH), a fim de fornecer dados para a confecção de relatório de navegabilidade para os Navios da Esquadra.

Ao longo dos 04 dias de comissão, uma equipe do CHN-4 reocupou 02 estações maregráficas e realizou 47,77 km<sup>2</sup> de sondagem.



FB-320-001/2020

A galeria de fotos completa das comissões realizadas pelo GNHo e pelo CHN-4 está disponível no *link* abaixo: <https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=pt-br/anais-hidrograficos>

Ou através do QR Code abaixo:





## VII – ARTIGOS CIENTÍFICOS

# COMPATIBILIZAÇÃO DO *DATUM* VERTICAL DAS CARTAS NÁUTICAS E CARTAS TERRESTRES

*Autor: CC (T) Cesar Henrique de Oliveira Borba<sup>1</sup>*

### RESUMO

O estabelecimento de um *datum* vertical para a representação cartográfica é importante, pois fornece o “zero” de referência para todas as cotas verticais representadas no documento. A utilização de diferentes referências verticais entre as cartas náuticas e cartas terrestres, sem uma compatibilização entre elas, causa diversos problemas no planejamento de gestão costeira e/ou atividades militares ao se tentar migrar de um ambiente para o outro. Desta forma, realizou-se uma ampla pesquisa bibliográfica com o objetivo de encontrar soluções para o problema exposto, iniciando-se pelo levantamento dos parâmetros técnicos necessários para a compatibilização dos principais *data* verticais. Posteriormente, a situação brasileira em relação a cada um desses parâmetros foi verificada e fez-se uma pesquisa de projetos internacionais que objetivaram

resolver essa mesma questão, ressaltando os pontos positivos e negativos de cada um. A pesquisa mostrou a viabilidade do Brasil para compatibilização das referências verticais, apontando os passos necessários para alcançar o objetivo final.

### Palavras-chave:

*Datum*; Referência Vertical; Gerenciamento Costeiro; Carta Náutica; Carta Terrestre.

### ABSTRACT

The establishment of a vertical *datum* for cartographic representation is important because it provides the “zero” reference to all vertical dimensions represented in the document. The use of different vertical references between nautical charts and land charts without compatibility between them causes several problems in coastal management planning and/or military activities when

<sup>1</sup>Oceanógrafo formado pela FURG. Mestre em *Ocean Mapping*, pela *University of New Hampshire*. Foi ajudante e encarregado da Seção de Marés do CHM e participou de diversos Levantamentos Hidrográficos. Atualmente, exerce a função de Encarregado da Divisão de Oceanografia do CHM.



trying to migrate from one environment to another. Thus, an extensive bibliographic research was done, aiming to find solutions for this problem, starting by surveying the technical parameters that are needed for the compatibility of the main vertical *data*. After that, the Brazilian situation in relation to each of these parameters was verified and a research on international projects intended to resolve this same issue was carried out, then highlighting the positive and negative aspects of each of those projects. The resulting work showed the viability for Brazil to make vertical references compatible, by pointing out the necessary steps to accomplish the intended purposes.

**Keywords:**

*Datum*; Vertical Reference; Coastal Management; Nautical Chart; Terrestrial Chart.

## 1. INTRODUÇÃO

A Zona Costeira (ZC) brasileira é uma região de alta densidade populacional para a qual converge uma grande parte dos investimentos, das infraestruturas e dos fluxos econômicos preponderantes no país. A vulnerabilidade natural, intrínseca à ZC, incrementa riscos aos efeitos das mudanças do clima, com impactos relevantes ao bem-estar da população e ao crescimento econômico do país. Estudos dos impactos previstos das mudanças do clima sobre esta área demandam informações confiáveis a fim de possibilitar a correta avaliação dos riscos de inundação costeira, associados à elevação do nível do mar e à ocorrência de eventos meteoceanográficos extremos (Pugh, 1987).

Embora o nível do mar não seja estático, ele é usado como referência para medições ambientais, construções de obras civis, estabelecimento de cotas de segurança para planejamento urbanístico, definição de terrenos de marinha e, em alguns serviços hidrográficos, é o *datum* de referência vertical para as cartas náuticas em lagos, rios e águas interiores. Nesse contexto, a existência de informações altimétricas integradas (tanto altitudes quanto profundidades) é essencial para a correta avaliação do avanço do nível do mar. No Brasil, essa condição não é satisfeita, devido à descontinuidade entre os níveis de referência ("zeros") das elevações dadas pela cartografia terrestre e das profundidades mostradas na cartografia náutica, bem como a falta de informações precisas, que são necessárias à integração destes referenciais. Atualmente, não sabemos com precisão quais são os impactos que uma elevação do nível do mar causará em terra firme e quais medidas de adaptação e mitigação deverão ser tomadas.

Para a Marinha do Brasil (MB), a unificação do *datum* vertical favorecerá uma das suas tarefas básicas: Projetar Poder Sobre Terra, especialmente, nas atividades de Operações Anfíbias e Ribeirinhas. Na área da Hidrografia, essa unificação terá uma aplicação operacional na condução de Levantamentos Hidrográficos, fazendo-se o uso da maré GPS<sup>2</sup>.

A questão da integração do datum vertical na zona costeira tem sido tema de investigação internacional. Diversos países já estão realizando projetos para identificar formas de tratar esta questão. Nesse sentido, vale ressaltar a experiência dos países da comunidade europeia, os quais já vêm

---

<sup>2</sup>Na maré GPS, utiliza-se um sensor a bordo das embarcações conectado ao Sistema de Posicionamento Global GNSS, para fornecer a variação do nível do mar no local do levantamento hidrográfico.



estabelecendo regulamentações, estratégias e planos para adaptação aos efeitos adversos das mudanças do clima, incluindo recomendações para regiões costeiras.

## 2. DATUM

*Datum* é um sistema de referência utilizado como origem para determinar a localização de um ponto na superfície terrestre. Esse sistema é de suma importância, pois seu propósito é projetar uma superfície curva incluindo as três dimensões da Terra (eixos x, y e z) em um plano de duas dimensões (representação cartográfica). Existem basicamente dois tipos de *data*<sup>3</sup>: horizontal e vertical. O *datum* horizontal é utilizado no referenciamento das posições obtidas sobre a superfície da terra e, neste caso, ele é definido pelas coordenadas geográficas. Mundialmente, existem diversos *data* horizontais, mas, no Brasil, podemos considerar basicamente três referências horizontais reconhecidas oficialmente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): Córrego Alegre, SAD69 e SIRGAS2000. Não é intenção deste trabalho entrar em detalhes quanto à diferença de cada um desses *data*.

O *datum* vertical tem como objetivo referenciar as altitudes/profundidades tomadas sobre a superfície da Terra. Idealmente, o *datum* vertical terrestre, utilizado como referência para definir as altitudes da porção emersa da superfície da Terra, deve ser o mesmo que o *datum* vertical marítimo, o qual, por sua vez, é utilizado para definir as profundidades das cartas náuticas. No Brasil, essa condição não é atendida e, dessa forma, há dois *data* diferentes para cada tipo de representação cartográfica (cartas terrestre e náutica).

### 2.1 Datum Vertical Terrestre Brasileiro

O primeiro *datum* vertical brasileiro, ou *datum* altimétrico brasileiro, foi definido em 1946 como sendo o nível médio do mar (NMM), observado entre os anos de 1919 e 1920 na cidade de Torres-RS (Alencar, 1990). O serviço geodésico internacional da antiga agência militar americana de mapeamento, a *Inter-American Geodetic Survey* (IAGS), iniciou, em 1948, a implantação de uma rede de estações maregráficas na costa brasileira. Em 1959, decidiu-se adotar um novo *datum* como sendo o NMM, observado no período de 1949 a 1957 na cidade de Imbituba-SC. A escolha dessa nova estação de referência deve-se ao fato de ela possuir um período de observação maior que o da estação anterior (Torres), além de ser a estação maregráfica mais próxima ao local de origem do primeiro *datum*.

Essa estação maregráfica foi operada até 1969 pelo IAGS, sendo os dados digitalizados e enviados mensalmente ao *Permanent Service for Mean Sea Level* (PSMSL), órgão ligado ao Comitê Oceanográfico Internacional (COI) da UNESCO, o qual é responsável por coletar, publicar, analisar e interpretar dados de nível do mar das redes de estações maregráficas dos países membros. Atualmente, só estão disponíveis as médias mensais e anuais para o período de 1949 a 1969 e, como não se sabe por quais processos matemáticos essas médias foram calculadas, o *datum* vertical não foi recalculado.

Para transformar o NMM em um *datum* vertical, é preciso determinar sua distância vertical a um ponto fixo em terra próximo ao sensor mareográfico e, posteriormente, transportar essa cota encontrada para toda a área de interesse – neste caso a porção emersa do território brasileiro – realizando, assim,

<sup>3</sup>Plural do termo de origem latina *datum*.



o nivelamento geométrico entre dois pontos. Dessa forma, dá-se origem a uma rede altimétrica cujo objetivo é definir localmente a cota vertical entre um ponto em terra e o *datum* vertical de referência. Atualmente, a Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP), sob responsabilidade do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), possui mais de 65 mil pontos implantados em todo o país (IBGE, 2018).

## 2.2 Datum Vertical Náutico Brasileiro

As Cartas Náuticas (CN) são documentos cartográficos cujo objetivo é servir de base à navegação, fornecendo informações precisas a respeito das profundidades, perigos à navegação, natureza de fundo, auxílios à navegação, altitudes e pontos notáveis aos navegantes. Uma das principais atribuições das CN é fornecer ao navegante a informação de águas seguras, a fim de que se possa traçar rota de navegação por locais onde a profundidade seja suficientemente grande, evitando, assim, o encalhe do navio.

Desta forma, conhecer a altura da coluna d'água é importante, porém essa altura não é estática, pois varia conforme a maré local. Assim, é preciso estabelecer uma cota baseada na oscilação da maré e, a partir desta, representar as alturas verticais das CN. Por sua vez, a altura da maré não oscila sempre da mesma forma em um mesmo local, já que sofre influência de parâmetros astronômicos e meteorológicos. O primeiro é facilmente previsível, já os fatores meteorológicos agem de forma aleatória, como bem comentado por Pugh e Woodworth (2014). Na hidrografia, essa cota é conhecida como Nível de Redução (NR) e representa o *datum* vertical náutico.

A Organização Hidrográfica Internacional (OHI) recomenda que o *datum* vertical para as cartas náuticas onde o efeito da maré seja representativo (variação diária >

0,3 metros de nível) seja definido como sendo a *Lowest Astronomical Tide* (LAT)<sup>3</sup>, a qual representa a menor altura do nível do mar observado durante um período de 19 anos, que é todo um ciclo nodal lunar. Na ausência de um período de observação de maré maior ou igual a 19 anos, a OHI recomenda o uso de um outro *datum* próximo ao LAT.

Nas cartas náuticas brasileiras, o *datum* vertical náutico é definido localmente, na área representada pela carta náutica, com um período de observação de maré igual ou superior a 32 dias, a fim de que se garanta a observação da variação do nível do mar durante todo um ciclo lunar. Após o período de observação, é feita a análise harmônica, desenvolvida por Franco e Rock (1971), para obter-se a amplitude e fase de componentes harmônicas da maré, aplicando o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) no domínio das frequências. Para isto, emprega-se a análise de Fourier como ferramenta para a elaboração de filtros que dependem essencialmente da diferença entre as frequências angulares da série de Fourier e de maré.

Uma vez identificada cada componente harmônica, calcula-se o coeficiente de Courtier (Courtier, 1928), o qual representará o tipo do regime de maré observado: Diurna, Semidiurna, Semidiurna com Desigualdade ou Mista. O NR é obtido pela diferença entre o nível médio do mar observado e a combinação das amplitudes das componentes harmônicas principais, que variam dependendo do tipo de maré observado.

## 3. BENEFÍCIOS DA COMPATIBILIZAÇÃO DAS REFERÊNCIAS VERTICAIS

A falta da compatibilização das referências verticais representa um sério problema para o gerenciamento ambiental e segurança nacional, principalmente na área costeira do continente. Para o Ministério do Meio Ambiente e o Ministério



do Planejamento, saber qual o tamanho da área de risco costeiro por conta das inundações é importante, pois existem diversas áreas de preservação ambiental na região litorânea, as quais podem ser alagadas, além da necessidade de se fazer um plano de contingenciamento em casos de eventos catastróficos.

Com isso, unificar a batimetria náutica e altimetria terrestre é imprescindível para avaliar os riscos e os potenciais prejuízos de inundações costeiras causadas por eventos meteoceanográficos extremos, como, por exemplo, ondas em período de ressaca, elevação do nível do mar, alto índice de precipitação acumulado e ventos fortes. Hoje, não se pode definir qual a porção da faixa litorânea que será afetada caso ocorra uma elevação momentânea do nível do mar, causada pelos fatores supracitados, por não se conhecer a cota de inundação no litoral. Este panorama torna-se mais crítico se levarmos em consideração que 24,6% da população brasileira reside na faixa litorânea, a qual representa apenas 4,1% de todo o território nacional (IBGE, 2011).

Para a MB, o interesse na compatibilização das referências verticais dá-se para atender a uma de suas tarefas básicas: Projeção do Poder Naval Sobre Terra, principalmente nas atividades das operações anfíbias (OpAnf), nas quais se faz o lançamento de uma tropa pelo mar até um litoral hostil. Esse ataque pode ser feito por meio do uso de carros lagarta anfíbio (CLAnf) ou emprego de mergulhadores de combate (MEC), com o apoio de navios de desembarque de carros de combate (NDCC), navios transporte de tropa (NTrT), navios desembarque doca (NDD) ou embarcações de desembarque de carga geral (EDCG).

A modalidade mais completa de uma OpAnf é o Assalto Anfíbio (AssAnf), onde, além do emprego de tropas especializadas devidamente treinadas, é preciso

conhecer aquele ambiente para o sucesso da missão. Neste contexto, principalmente na transição mar-terra, são necessárias informações com alto grau de precisão, que resultarão em um diagnóstico do cenário e previsões ambientais mais acurados. Dessa forma, o conhecimento detalhado da batimetria, da natureza de fundo e sua transição com a topografia da porção emersa da praia são essenciais para a confiabilidade da carta. O correto entendimento das informações nessa interface mar-terra só é possível de forma plena se as alturas do terreno e a batimetria náutica estiverem na mesma referência vertical.

No campo da hidrografia, a compatibilização do *datum* vertical será útil, pois os pontos notáveis aos navegantes, como alturas de pontes, alturas de faróis, altura de montanhas, entre outros, terão a mesma altura representada tanto nas cartas náuticas quanto nas cartas terrestres. Outro benefício será a possibilidade da utilização de um subproduto nas atividades hidrográficas. Onde não houver informações observadas de maré ou se o levantamento hidrográfico não estiver na área de abrangência da estação maregráfica, o modelo hidrodinâmico de nível do mar, utilizado para calcular o NMM ou o LAT na zona costeira, poderá ser empregado na redução das sondagens, definindo a altura da coluna d'água que deverá ser descontada das sondagens batimétricas.

Já com a superfície do geóide bem definida, é possível a utilização da maré GPS para a redução de sondagem. Nessa metodologia, utiliza-se um receptor GNSS a bordo da embarcação do levantamento hidrográfico, que fornece a informação precisa do posicionamento horizontal e vertical em relação ao elipsoide. De posse da superfície do geóide refinada, é possível calcular a distância do geóide ao elipsoide e, assim, referenciar a batimetria obtida ao geóide, mesma referência sugerida para as cartas terrestres.

#### 4. PARÂMETROS TÉCNICOS

Para que se alcance a compatibilização das referências verticais em zonas costeiras, alguns pontos técnicos devem ser resolvidos e refinados. A relação entre esses parâmetros relevantes é ilustrada na Figura 1

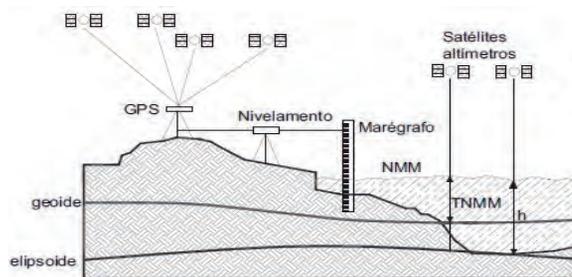


Figura 1 – Principais parâmetros técnicos para compatibilização do datum vertical e suas inter-relações (Fonte: Reis et al., 2018).

##### 4.1 Nível Médio do Mar (NMM)

O NMM é o principal parâmetro a ser definido, pois sua variação é o que irá definir a cota de alagamento da porção emersa do continente, bem como as profundidades representadas nas CN. Estabelecer o NMM local é uma tarefa relativamente simples, desde que se tenham dados observados confiáveis, pois representa a média aritmética de todas as alturas medidas. O problema ocorre quando se deseja estabelecer a cota do NMM em um ponto onde não há dados medidos *in loco*. Neste caso, faz-se o uso de alturas do nível do mar medidas por satélites (no oceano aberto) ou interpolação de dados medidos por meio de modelos hidrodinâmicos (nas áreas costeiras) como, por exemplo, o SISBAHIA ou DELFT3D.

A superfície do oceano não é estática, variando ao longo do tempo, devido ao aumento do nível do mar, mudanças sazonais e seculares, expansão térmica, entre outros fatores. Conseqüentemente, qualquer média de longo período de nível do mar deve sempre especificar o período usado para a sua realização. O NMM tem sido tradicionalmente usado como referência vertical para os sistemas de altimetrias de diversos países. Alguns exemplos são: o Amsterdam Peil, para os países do Norte da Europa; o Imbituba, para o Brasil; o Newport, para o Reino Unido; e o Triest, para o Mediterrâneo.

Com a intensificação da rede de nivelamento preciso do IBGE, verificou-se que há uma divergência entre o plano no nível médio calculado com as observações de maré local e o nível médio observado em Imbituba-SC, o qual foi adotado como o *datum* vertical terrestre brasileiro (Figura 2). Essas diferenças originam-se do próprio processo de nivelamento, que possui erros instrumentais, operacionais e, principalmente, oriundos do fato de não se considerarem os efeitos causados pela gravidade, cuja influência varia conforme o tipo de relevo e a composição da crosta.

O uso do NMM como *datum* vertical já foi amplamente aceito, porém, atualmente, reconhece-se que essa superfície não coincide com o geoide global. Há uma distância vertical entre a superfície do NMM para o geoide. Essa diferença é denominada Topografia do Nível Médio do Mar, cuja espessura não é constante (Sanchez, 2009).

O cálculo do nível médio do mar global tornou-se mais fácil com o avanço da altimetria por satélite. Esse procedimento permite uma representação detalhada da superfície do mar com alta resolução espacial e temporal. Atualmente, existem diversos modelos de NMM, sendo cada um proveniente de projetos diferentes e definidos com diferentes períodos de observação.



Porém, o uso da altimetria por satélite nas áreas costeiras é crítico, e a correção da onda da maré não é confiável devido à mudança da amplitude e fase da maré ao propagar-se por águas rasas. Comparações entre esses modelos apresentam diferenças verticais da ordem de 2 a 3 cm em média, podendo haver locais com diferenças entre 10 cm ou até 30 cm (Schaeffer *et al.*, 2012).

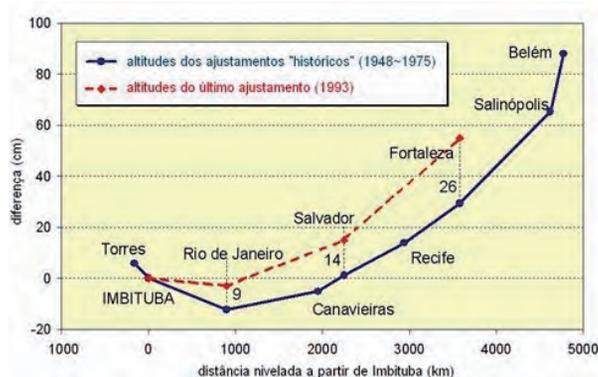


Figura 2 – Desnível entre o datum terrestre transportado e o NMM local. (Fonte: Luz, 2008)

## 4.2 Rede Maregráfica

O marégrafo representa uma indispensável interface entre a terra e o oceano. Séries longas de observação de maré fornecem dados robustos para definição das constantes harmônicas e, conseqüentemente, uma previsão de maré mais acurada e, em particular, para definição do LAT. Por outro lado, os marégrafos devem ser montados em terrenos sólidos e, ao realizar o nivelamento geométrico do sensor, o zero do marégrafo deve ser correlacionado a um marco de referência do sistema de altura nacional. Além disso, pode ser relacionado a um sistema de observação via satélite como, por exemplo, o *Global Navigation Satellite System* (GNSS).

Uma rede maregráfica é extremamente importante para a unificação dos *data* verticais terra-mar pois, além de ser a origem para a definição do *datum* vertical náutico, poderá fazer a conexão local com o *datum* terrestre, utilizando-se controles geodésicos por nivelamento regular a uma rede de altimetria terrestre. O IBGE mantém uma rede de marégrafos permanente, conectados a redes altimétricas terrestres de alta precisão, conforme apresentado na Figura 3.

Verificações regulares no funcionamento dos equipamentos, bem como o controle preciso da altura do sensor em relação a um ponto conhecido em terra (referência de nível), são essenciais para assegurar registros estáveis e consistentes do nível do mar durante longos períodos de tempo. Caso contrário, existe o risco de se interpretar uma subsidência do terreno como sendo um aumento do nível do mar ou, em áreas com compensação isostática, como redução do nível do mar. Para um controle vertical e geodésico preciso e contínuo do marégrafo, indica-se um receptor GPS (*Global Positioning System*) instalado o mais próximo possível do sensor.

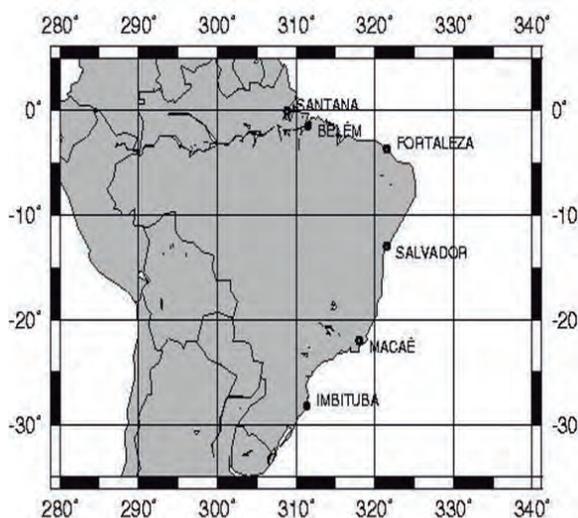


Figura 3 – Rede Maregráfica Permanente (RMP) do IBGE. (Fonte: Reis *et al.*, 2018)



### 4.3 Geoide

O geoide é uma superfície equipotencial particular do campo de gravidade da Terra que mais se aproxima do nível médio do mar. Em princípio, o geoide é definido por um valor constante de potencial de gravidade da Terra ( $W_0$ ), porém determinar esse valor não é trivial, pois não existe um modelo da topografia da superfície do mar único ou o mais correto. Cada modelo advém de diferentes missões de lançamento de satélites (TOPEX/Poseidon, Jason, Geosat, etc.), os quais coletaram dados da altimetria do nível do mar em períodos diferentes. Outro problema é que não há uma integração entre cada um dos modelos de nível do mar e o modelo de potencial de gravidade de Terra.

A determinação do geoide é tradicionalmente baseada na Teoria de Stokes e Molodensky (Heiskanen e Moritz, 1967) e requer o conhecimento de dados gravimétricos para se definir o campo da gravidade terrestre. Uma maneira de determinar o campo da gravidade é por meio de medidas de aceleração da gravidade na superfície terrestre, as quais são realizadas através de gravímetros. A gravidade é influenciada pela massa da crosta terrestre e o efeito rotacional da Terra. Desta forma, o campo gravitacional varia em função da densidade do interior da Terra, da interação do sistema Terra-Lua-Sol e, também, da altitude e posição geográfica (Ribeiro e Guimarães, 2017). Com a interpolação das medições de aceleração da gravidade em diversos pontos, é possível calcular o modelo geoidal que representa a superfície do geoide.

Para uma pequena área de estudo, o geoide é facilmente determinado a partir de medições gravimétricas em diferentes pontos e, posteriormente, modulando-se os resultados. O problema surge quando se necessita determinar o geoide em áreas de dimensões continentais ou o geoide global.

Nestes casos, os dados podem ser compilados de missões satelitais (GRACE e GOCE) e de dados gravimétricos obtidos por aerolevantamentos e/ou por navios. Devido às medições indiretas desses métodos, há um grau de incerteza atribuído a cada um, que pode ser minimizado com o método tradicional de medição, utilizando-se gravímetros em pontos de controle.

### 4.4 Topografia do nível médio do mar

Conforme comentado no tópico anterior, o geoide não é exatamente igual ao nível médio do mar. Com a evolução dos nivelamentos de alta precisão e conectando-os às estações maregráficas permanentes, verificaram-se diferenças da ordem de 55 cm entre essas duas superfícies na estação maregráfica de Salvador-BA e 51 cm em Imbituba-SC (Reis *et al.*, 2018). Essa separação denomina-se Topografia do Nível Médio do Mar (TNMM) e, devido a ela, a posição do NMM ao longo da costa não está na mesma altura equipotencial e, assim, não pode ser usada como *datum* da rede altimétrica.

No oceano, a TNMM é causada pelo balanço geostrófico das correntes oceânicas, pela força de Coriolis e pela diferença de expansão volumétrica com origem térmica entre as águas tropicais e polares (Stewart, 2008). Já na área costeira e de águas rasas, os principais fatores geradores são os ventos e os efeitos dinâmicos da topografia do fundo do mar (Luz *et al.*, 2008).

Diante da não conformidade entre o NMM e o TNMM, há três métodos independentes para estimar essa separação. O primeiro baseia-se nas alturas dinâmicas, integrando a equação hidrostática, usando perfis verticais de temperatura e salinidade. O outro método é a modelagem numérica com a solução das equações gerais de movimento, a que fornece uma série temporal do nível de água acima de uma superfície



geopotencial. Esse processo é conduzido por campos de vento, mas os dados de altimetria por satélite também são assimilados. O terceiro método baseia-se exclusivamente em dados satelitais. O TNMM pode ser estimado como a diferença entre o modelo de superfície do nível médio e as alturas geoidais obtidas de um modelo de campo gravitacional.

#### 4.5 Batimetria e Altimetria

As profundidades das cartas náuticas são obtidas por levantamentos batimétricos, empregando-se o sistema de posicionamento GNSS e sensores monofeixe e/ou multifeixe para a determinação das profundidades. Esse processo resulta em uma operação demorada e de alto custo, pois necessita ser feita por linhas paralelas equidistantes que são percorridas pelos navios. Por outro lado, com o uso do sensoriamento remoto, como aerofotogrametria ou levantamento topográfico, é possível obter informações sobre a cobertura do terreno, fatores topográficos, tipo de cobertura, entre outros. Esse processo é realizado com maior rapidez, precisão e baixo custo. Deste modo, o mapa de altimetria terrestre é muito mais abrangente e preciso que o mapa de batimetria náutica.

Para obtenção da batimetria, existem dois tipos de sensores remotos. Os passivos ou óticos, são aqueles que não possuem fonte própria de radiação. Nestes, as imagens são obtidas pela reflectância<sup>4</sup> da radiação solar sobre os alvos. Para esses sensores, as profundidades são inferidas por imagens de satélite tipo fotografias. Imagens Landsat, Ikonos, SPOT, entre outras são exemplos de imagens de sensores passivos. Já o sensor ativo possui sua própria fonte de radiação, emitindo e recebendo o pulso, trabalhando

em faixas restritas do espectro. O LiDAR (*Light Detection and Ranging*) é o tipo de sensor ativo mais usado atualmente para definição de batimetria/altimetria.

Já existem vários trabalhos acadêmicos sobre a determinação da batimetria utilizando imagens de satélites passivos, nas quais são utilizadas imagens provenientes de diferentes satélites (Landsat 5, Ikonos II, Landsat 7, etc.) (Cabral, 1993; Tedesco, 2003; Krug e Noerberg, 2005; e Ribeiro *et al.*, 2008).

O erro máximo encontrado em todos os estudos realizados foi de até 1 metro de diferença entre o valor calculado pelos satélites e a medição real da profundidade. Um consenso básico entre eles é que a turbidez da água (índice de transparência) é o principal fator limitador para uso dessa ferramenta. Outro fator limitante importante é o limite da profundidade a ser medida. Nenhum dos trabalhos citados recomenda o uso de imagens de satélite para determinar profundidades maiores que 5 metros.

O LiDAR possui penetração maior na coluna d'água, podendo obter com precisão a batimetria de até 50 metros de profundidade (Nascimento, 2019). O sensor pode ser aerotransportado por aviões ou drones. Assim como os sensores passivos (óticos), a quantidade de partículas em suspensão na água é o principal fator limitante para o uso dessa plataforma.

## 5. SITUAÇÃO DO BRASIL

### 5.1 Nível Médio do Mar

A falta de longas séries de dados observados de maré na costa brasileira dificulta a análise da tendência do nível do mar no

<sup>4</sup>Reflectância é a relação entre a quantidade de radiação incidente em um alvo e a quantidade de radiação refletida por ele.

Brasil. Uma das séries de observação mais longas encontra-se em Cananéia (SP), desde 1954. Estudos apontam uma variação de 3,8 mm/ano a 7,0 mm/ano (Albarici *et al.*, 2018). Essa diferença se dá devido a diferentes metodologias. No estudo do IBGE (2016) que utilizou dados observados nas estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG) em Imbituba-SC, Macaé-RJ, Salvador-BA e Fortaleza-CE, observou-se uma variação do nível médio do mar entre 2,1mm/ano (Salvador e Fortaleza) a 6,6 mm/ano (Imbituba). Em ambos os estudos não foi considerada uma possível variação vertical do terreno e, no caso do estudo do IBGE, os períodos de observação de nível não são simultâneos. Desta maneira, quaisquer conclusões imediatas desses resultados devem ser feitas com precaução.

Diversas instituições privadas e universidades já desenvolveram vários modelos hidrodinâmicos costeiros para determinar a superfície do nível médio do mar, porém nenhum desses modelos abrange toda a costa brasileira, pois são regionais e visam à solução de um problema local.

## 5.2 Rede Maregráfica

No Brasil, há duas redes maregráficas consistentes que atendem aos requisitos necessários para o objetivo da integração dos *data* verticais. Em 1996, o IBGE estabeleceu a RMPG com o objetivo de determinar e monitorar a evolução do *datum* altimétrico do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) no tempo e no espaço. Atualmente, a RMPG possui 5 (cinco) estações maregráficas ao longo da costa brasileira (Figura 4) e está conectada ao RAAP. Outra rede maregráfica brasileira consistente é a rede nacional do GLOSS (*Global Sea Level Observing System*), um programa sob a égide da Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI), que visa ao estabelecimento de uma rede maregráfica global

e regional de alta qualidade para monitoramento do nível do mar por longo período. Atualmente, o GLOSS-Brasil possui 13 estações maregráficas (Figura 5) e, dessas, 4 (quatro) são comuns à rede RMPG.

No entanto, essa quantidade de estações maregráficas ainda é insuficiente para a definição do NMM ao longo da costa do Brasil. Há fatores locais, como a geografia do contorno do continente e a batimetria local, que influenciam fortemente na variação do nível do mar local e, sem uma observação da maré *in loco* por longo período, não é possível mensurá-lo. A observação contínua do nível do mar não é importante apenas na determinação da variação do nível médio. Se observada em portos e/ou hidrovias, auxilia na tomada de decisão portuária, pois fornece a altura do nível do mar observado em tempo real, indicando, assim, o melhor momento para a entrada e saída de navios.



Figura 4 – Rede Altimétrica de Alta Precisão e a Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG) do IBGE (Fonte: IBGE, 2018)



Figura 5 – Rede Maregráfica do GLOSS-BR. (Fonte: Programa GLOSS Brasil)

### 5.3 Geoide

Em 2015, foi disponibilizado pelo IBGE o novo mapa geoidal brasileiro (MAPGEO2015), calculado pela forma clássica de Stokes (Figura 6). Esse novo modelo possui um acréscimo de 18.485 pontos de levantamentos terrestre em relação ao

modelo anterior, o MAPGEO2010, com um total de 450.589 pontos de medição em todo o território nacional. No entanto, ainda existem regiões com grandes vazios de informações, principalmente na região norte do Brasil, por conta da dificuldade logística, da falta de pessoal e de material disponível para realizar as medições (Blitzkow *et al.*, 2016).

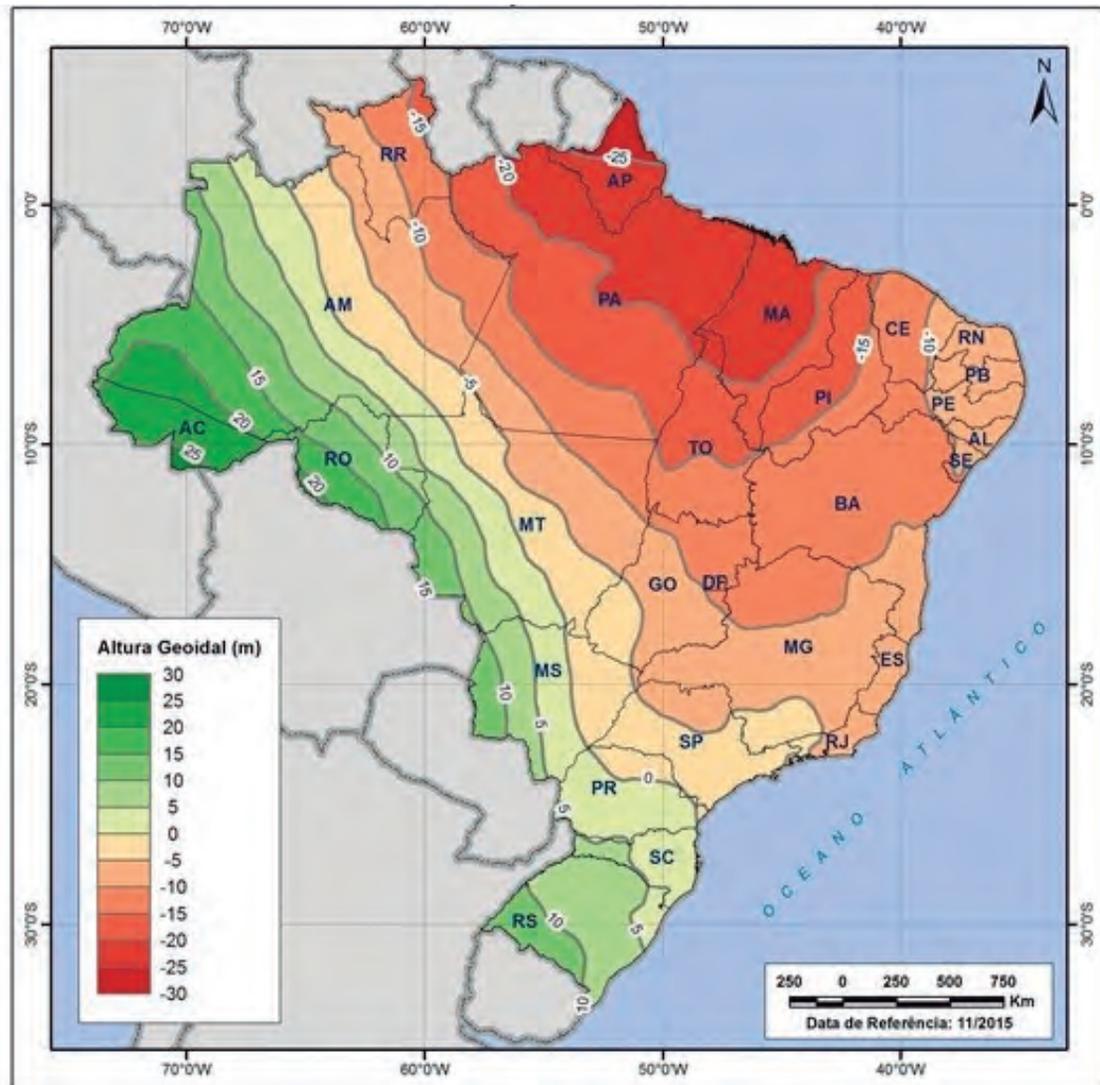


Figura 6 – MAPGEO 2015. (Fonte: Blitzkow et al., 2016)

Para a unificação das alturas em terra e no mar, a solução do geóide deve fornecer uma perfeita integração com a zona costeira. Deve-se ser avaliado se há uma transição contínua das alturas dos geóides da terra e do mar. Do contrário, devem ser feitas comissões para medição da altura geopotencial a bordo de navios ou aeronaves na zona costeira, conectando esses campos com o modelo geoidal terrestre brasileiro e os modelos globais.

Um modelo regional de campo gravitacional não só permitiria calcular as alturas geoidais, mas também os valores geopotenciais para qualquer estação GNSS, além de obter-se imediatamente as alturas físicas relativas a qualquer ponto de referência com valor  $W_0$  definido. Ferramentas de *software* podem ser fornecidas como complementos para sistemas operacionais públicos disponíveis.



#### 5.4 Batimetria e Altimetria

Segundo o Decreto-Lei No 243 de 28 de fevereiro de 1967, cabe à Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) o estabelecimento de normas para a produção das cartas náuticas. Por sua vez, a DHN, como membro da OHI, segue as recomendações daquele Órgão quanto à precisão dos levantamentos hidrográficos, definindo níveis mínimos de confiança nos dados, garantindo, assim, a segurança da navegação.

Esse mesmo decreto estabelece o IBGE como responsável pela produção cartográfica terrestre nas cartas de escala menores que 1:250.000 e a Diretoria do Serviço Geográfico, pela produção das cartas terrestres de escala maior que 1:250.000.

Analisando cada carta isoladamente, ambas atendem aos requisitos internacionais de precisão e abrangência. Espera-se que, na área de transição entre as cartas terrestres e náuticas, essa mesma acurácia seja observada. No caso do Brasil, essa condição não é satisfeita, haja vista a descontinuidade entre os *data* verticais e, também, pela inexistência de informações precisas de dados altimétricos/batimétricos na zona costeira, principalmente em profundidades menores que 10 metros.

#### 6. MÉTODOS DE INTEGRAÇÃO DAS REFERÊNCIAS VERTICAIS

A falta de compatibilização do *datum* vertical marítimo e terrestre não é um assunto recente e, muito menos, exclusivo do Brasil. Diversos países já identificaram esse problema e propuseram diferentes soluções. A seguir, serão apresentados alguns dos projetos que buscam encontrar soluções para alcançar a compatibilização e suas metodologias.

#### 6.1 BathyElli (*Bathymétrie et Ellipsoïde*)

BathyElli, abreviação da expressão “batimetria e elipsoide” em francês, foi um projeto conduzido pelo serviço hidrográfico francês (*Service Hydrographique et Océanographique de la Marine – SHOM*) no período de 2007 a 2010. Segundo Pineau-Guillou (2009), o objetivo do projeto foi oferecer uma superfície do nível médio do mar e datum náutico ao longo da costa francesa, com o apoio de um *software*.

No BathyElli, o NMM é resultado de imagens de satélite, com o refinamento de observações de nível por marégrafos e levantamentos cinemáticos de navios por GPS, para preencher as lacunas entre a altimetria satelital e as observações. O primeiro passo foi transformar a superfície do mar, obtida pela altimetria, em uma superfície média do mar hidrográfica.

Posteriormente, foram realizados levantamentos de GPS em cerca de 20 estações maregráficas, a fim de conectar o nível médio local com o elipsoide. Em seguida, um navio com receptor GPS coletou as alturas em relação ao elipsoide em uma faixa de até 24 Km da costa. As medidas do navio foram compensadas, retirando-se a movimentação do navio nas três dimensões (*pitch, roll e yaw*) e a altura da antena GPS acima da linha d’água. Finalmente, a correção de ondas e marés foi calculada e aplicada para relacionar a altura do GPS observada com o nível médio do mar. Esse projeto utilizou apenas o nível médio do mar e o elipsoide como referência, não sendo assim o modelo mais indicado.

#### 6.2 VORF (*Vertical Offshore Reference Frame*)

VORF é a sigla do nome do projeto em inglês *Vertical Offshore Reference Frame*, desenvolvido pelo serviço hidrográfico inglês



(UKHO) e pela *University College of London* (UCL), no período de 2005 a 2008.

O objetivo do VORF é descrever o LAT como uma superfície tendo como referência vertical o elipsoide. Nesse projeto, são criadas duas superfícies diferentes. Na primeira, para a área costeira, foi criada uma superfície do NMM, utilizando as observações das estações maregráficas referenciadas ao elipsoide. Para o oceano aberto, foi utilizado um modelo global de nível do mar dinamarquês (DNSC06). Utilizando a técnica remove-calcula-restaura (RCR), foi calculado o resíduo dessa superfície e referenciado ao geóide. Na segunda superfície, na região além dos 30 Km de distância da costa, a modelagem do LAT foi baseada no modelo global de marés oceânicas CSR 4.0 e, na área costeira, utilizou-se a previsão de maré para 19 anos, com base nas constantes harmônicas filtradas em cada estação maregráfica e o modelo de alta resolução de maré (NISE10) para calcular e interpolar o LAT.

Subtraindo-se as duas superfícies descritas, são obtidas as alturas do LAT em relação ao elipsoide. Para isso, foi desenvolvida uma técnica, na qual não se utiliza a menor distância entre dois pontos, mas sim, o caminho efetivo da distância pelo mar.

Nesse caso, como o LAT costeiro é resultado de uma previsão de maré baseada nas constantes harmônicas, se a amplitude de cada constante estiver incorreta, pode-se obter uma estimativa errada do LAT.

### **6.3 BLAST (*Bringing Land and Sea Together*)**

O BLAST (*Bringing Land and Sea Together*), descrito por Strykowski (2011), foi um projeto realizado entre 2009 a 2012 pelos países parceiros banhados pelo Mar do Norte (Noruega, Dinamarca, Suécia, Reino Unido, Bélgica, Holanda, Alemanha e França), cujo objetivo é a unificação do

datum marítimo na área do Mar do Norte e a conexão com os sistemas de altimetria terrestre.

A metodologia BLAST baseia-se no pressuposto geral de que o nível do mar dos modelos hidrodinâmicos refere-se, implicitamente, a uma superfície equipotencial do campo de gravidade da Terra. Esse quase-geóide é mais adequado como superfície de referência vertical do que o nível médio do mar, porque pode ser usado tanto na porção terrestre quanto marítima, podendo ser calculado em qualquer lugar.

O projeto iniciou-se com o geóide gravimétrico europeu já existente, o NLGEO2013, o qual foi refinado com o uso de altímetros por satélites, medições gravimétricas terrestres e gravimetrias aerotransportadas. O passo seguinte foi o uso do modelo topográfico da plataforma continental, para prever a altura instantânea do nível do mar em relação à uma superfície geopotencial e ao LAT.

Esse modelo topográfico é verticalmente referenciado, comparando-se a diferença entre a altura da superfície do mar em relação ao elipsoide medida pelo satélite, a altura do geóide em relação ao elipsoide (N) e a altura do nível do mar em relação a superfície equipotencial. Dessa comparação, identifica-se a diferença entre o geóide e a superfície equipotencial de referência.

Usando o conhecimento da topografia dinâmica do oceano, é possível realizar uma “referência vertical” das elevações hidrodinâmicas e identificar o deslocamento entre a superfície do geopotencial e o geóide, de modo que a saída do modelo possa ser relacionada ao geóide. A determinação de dois componentes é essencial para esse conceito – a modelagem hidrodinâmica e a computação geoidal – e ambas possuem seus desafios.

A modelagem hidrodinâmica deve incorporar a previsão das marés e seu



detalhamento deve ser o suficiente para fornecer uma previsão robusta de elevações de água perto da costa. O cálculo do geoide também é desafiador, não apenas porque todos os dados disponíveis devem ser incorporados, mas também para garantir uma transição contínua da superfície do geoide na costa, onde um forte gradiente do geoide é causado pela borda da plataforma continental e, possivelmente, dados inconsistentes de terra e mar devem ser combinados.

## 7. ANÁLISE DOS MÉTODOS

Há diferenças relevantes entre o método BathyElli e VORF em comparação com o BLAST. Os métodos francês e inglês assumem que a modelagem pura da maré fornece o nível médio do mar. Consequentemente, BathyElli e VORF focam, primeiramente, em estimar o modelo da superfície do mar em relação ao elipsoide e, posteriormente, utilizam esse modelo de maré para calcular o LAT e, assim, obter a sua cota em relação ao NMM.

A utilização do NMM como nível de referência em geral é uma decisão crítica. Como já foi mencionado o NMM não é estático, pois representa o período no qual foram coletados os dados. Computar o NMM para um determinado período implica que o LAT também será referenciado a essa época. Além disso, os modelos globais de NMM são baseados em altimetria por satélite, a qual perde a precisão ao aproximar-se da costa, que é justamente a área de maior interesse do estudo.

Por outro lado, o BLAST parte do pressuposto de que o nível da água obtida por um modelo hidrodinâmico deve se referenciar implicitamente a uma superfície equipotencial do campo de gravidade da Terra (Hughes e Bingham, 2008). Portanto, o BLAST se concentra na determinação de um geoide. O geoide pode não coincidir com a mesma superfície equipotencial do modelo hidrodinâmico, no entanto, essas duas superfícies

devem ser paralelas com um pequeno deslocamento. Consequentemente, uma etapa essencial da metodologia BLAST é a referência vertical do modelo hidrodinâmico.

O uso do geoide como *datum* tem a vantagem de poder aplicar-se a mesma superfície de referência para as alturas terrestres e marinhas, sem a necessidade de transportar o *datum* obtido pela observação da maré para dentro do continente, e este é um aspecto que o BathyElli e VORF não apresentam.

## 8. RECOMENDAÇÕES

Como visto, a compatibilização das referências verticais marinhas e terrestre depende de produtos iniciais os quais devem ser refinados e integrados. Seguindo a metodologia aplicada no Mar do Norte (BLAST), o refinamento desses produtos depende de ações prévias, as quais podem ser divididas em atividades de curto e de longo prazo. Para as atividades de curto prazo, deverá ser escolhida uma área de teste (área piloto) e, utilizando produtos já disponíveis, desenvolver atividades com os cálculos iniciais para a resolução do problema. Desta forma, será possível ter uma visão panorâmica do problema, porém com baixa acurácia, identificando-se os pontos e os campos mais críticos de falta de informação. Esses produtos servirão de base para as atividades de longo período, cujo objetivo será o desenvolvimento final dos produtos (modelos) a serem utilizados com a acurácia necessária para compatibilização das referências verticais. Esses modelos deverão abranger todo o território brasileiro (terrestre e marinho). A seguir, são elencadas as principais atividades de curto e longo prazo.

### 8.1 Atividades de curto prazo:

a) utilizar um modelo regional já existente de maré ao longo da costa, para



calcular o NMM e referenciá-lo ao elipsoide;

b) utilizar esse mesmo modelo de maré para calcular a superfície do LAT na costa brasileira e, posteriormente, subtrair essa superfície do NMM calculado no passo anterior;

c) referenciar as alturas terrestres das proximidades de uma estação maregráfica permanente com o NMM calculado pelas observações de maré local. Com isso, corrigir-se-ão possíveis distorções das alturas do sistema planimétrico, pois, quanto maior a distância do ponto em relação à origem de referência, maior poderá ser o erro da altura real em relação à altura transportada;

d) comparar o atual geóide do MAPGEO2015 com as alturas geoidais obtidas por satélites; e

e) referenciar as alturas terrestres às alturas geoidais do modelo mais adequado.

## 8.2 Atividades de longo prazo:

a) densificar a rede maregráfica existente, utilizando-se sensores digitais precisos, transmissão automática de dados e rigoroso controle geodésico;

b) interpolar todos os dados de gravimetria existentes medidos por gravímetros terrestres, aerotransportados ou a bordo de navios na zona costeira, realizando levantamentos gravimétricos por aeronaves nas áreas de pouca informação;

c) modernizar o modelo planimétrico brasileiro usando o geóide derivado do novo campo de gravidade regional, resultante do passo anterior;

d) produzir um modelo hidrodinâmico para toda a costa brasileira com uma resolução espacial detalhada o suficiente para fornecer uma previsão acurada das

elevações do nível do mar perto da costa. Esse modelo deve ser validado com medições de maré das estações maregráficas; e

e) posteriormente, esse modelo de maré costeiro deve ser integrado com um modelo de maré global.

## 9. CONCLUSÃO

A exemplo de outros países, a integração do *datum* vertical marítimo e terrestre é possível, porém não é uma solução de curto prazo. Por tratar-se de um assunto multidisciplinar, um grupo com representantes de diversos órgãos e instituições deve ser criado, o qual deverá ficar focado, exclusivamente, em desenvolver os produtos necessários e, posteriormente, integrá-los. No Brasil, já existem produtos, os quais podem ser utilizados para a compatibilização de forma inicial, porém, para resultados mais acurados, esses produtos devem ser refinados. O monitoramento das variações do nível do mar e a detecção de possíveis movimentos verticais da crosta são tarefas importantes, visando-se a uma futura integração das referências verticais. O refinamento do geóide, seja por intensificação de dados medidos *in loco* ou coletados por aeronaves e embarcações, também é crucial para aprimoramento dos resultados. Um modelo hidrodinâmico que forneça a variação da maré na área costeira com precisão é imprescindível para fornecer as alturas do nível do mar onde não se tem uma estação maregráfica instalada. A obtenção da batimetria na zona costeira até o limite da linha d'água com a acurácia necessária será um grande desafio para que a transição da topografia marinha para a topografia terrestre ocorra de forma suave e sem sobressaltos.



## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albarici, F. L.; Guimarães, G. N.; Trabanco, J. L. A. Análise relativa do Nível do Mar em Cananéia. *Revista Brasileira de Geomática*, v.6, Curitiba, 2018.

Alencar, José Clovis Mota. *Datum altimétrico brasileiro*. Caderno de Geociências No 5. Rio de Janeiro: IBGE, 1990.

Blitzkow, D.; Matos, A. C. O. C.; Machado, V. C.; Nunes, M. A.; Lengruber, N. V.; Xavier, E. M. L.; Fortes, L. P. S. MAPGEO2015: O Novo Modelo de Ondulação Geoidal do Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, v.68 n.19, 2016.

BRASIL. Decreto-Lei Complementar No 243 de 28 de fevereiro de 1967: Fixa as Diretrizes e Bases da Cartografia Brasileira e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 09 de março 1967. BRASIL.

\_\_\_\_\_. Marinha do Brasil. *Manual Básico do Fuzileiro Naval*. 1a ed. – CGCFN-1003. Comando Geral do Corpo dos Fuzileiros Navais, 12 de novembro de 2008.

CABRAL, A. P.; VIANNA, M. L. Extração da batimetria através de dados TM-Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba, BR. *Anais [...]* São José dos Campos: INPE, 1993. v. 4, p. 94-104.

COURTIER, A. *Marées*. Paris (France): Service Hydrographique de la Marine, 1938.

FRANCO, A. S.; ROCK, N. J. *The fast Fourier transform and its application to tidal oscillation*. São Paulo Universidade de São Paulo, 1971.

\_\_\_\_\_. *Marés: Fundamentos, Análise e Previsão*. 2a ed. Niterói: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 2000

HEISKANEN, W. A.; MORITZ, H. *Physical geodesy*. San Francisco: Freeman and Company, 1967.

Hughes, C. W.; Bingham, R. J. An Oceanographer's Guide to GOCE and the Geoid, *Ocean Science*, v 4, 2008.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceográficas do Brasil*. Rio de Janeiro, IBGE, 2011.

\_\_\_\_\_. *Análise do Nível Médio do Mar nas Estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia* - RMPG 2001/2015. Rio de Janeiro, IBGE, 2016.

\_\_\_\_\_. *Reajustamento da Rede Altimétrica com Números Geopotenciais*. Rio de Janeiro, IBGE, 2018.

Intergovernmental Oceanographic Commission. *Manual on Sea Level Measurement and*



*Interpretation. v 3 – Reappraisals and Recommendations as of the year 2000*, Manual and Guides No. 14, Paris, UNESCO, 2002.

International Hydrographic Organization. *Hydrographic Dictionary, Special Publication n. 32*. 5.ed. Principado de Monaco: International Hydrographic Bureau, 1994.

International Hydrographic Organization. *International Charts and Chart Specifications of the IHO*. 3a ed. Principado de Monaco: International Hydrographic Bureau, 2006.

International Hydrographic Organization. *IHO Standards for Hydrographic Surveys. Special Publication n. 44*. 5a ed. Principado de Monaco: International Hydrographic Bureau, 2008.

KRUG L.A.; NOERNBERG M.A. Extração de batimetria por sensoriamento remoto de áreas rasas dos sistemas estuarinos do Estado do Paraná - Brasil. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. *Anais [...]*. São José dos Campos: INPE, 2004. p 3077-3084.

LUZ, R. T.; BOSCH, W.; FREITAS, S. R. C. de; HECK, B. *Topografia do Nível Médio do Mar no Litoral Sul- Sudeste Brasileiro*. Recife: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2008.

NASCIMENTO, G. A. G. *Verificação da Aplicabilidade de Dados Obtidos por Sistema LASER Batimétrico aerotransportado à Cartografia Náutica*. 2019. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2019.

PINEAU-GUILLOU L. Projet BATHYELLI : Détermination du zéro hydrographique à partir de l'altimétrie spatiale et du GPS. *Revue Navigation*, v. 57, n°226, 2009.

PUGH, D. T. *Tides, surges and mean sea-level: a handbook for engineers and scientists*. New York (USA): Wiley & Sons, 1987. 742 p.

PUGH, D. T.; WOODWORTH, P. L. *Sea-level science: understanding tides, surges tsunamis and mean sea-level changes*. Cambridge University, 2014. 407p.

RAMOS, Alexandre Motta. *Aplicação, investigação e análise da metodologia de reduções batimétricas através do método GPS diferencial preciso*. 2007. Dissertação de Mestrado. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2007.

REIS, V.P.; BARBOSA, L.G.; PALEMIRO, A.S. Determinação da Topografia do Nível Médio do Mar com Altimetria por Satélites. *Revista Brasileira de Geomática*, v.6, Curitiba, 2018. p 77-98.

RIBEIRO, S. R. A.; CENTENO, A. S.; KRUEGER, C. P. Estimativa de profundidades a partir de levantamentos batimétricos e dados Ikonos II mediante redes neurais artificiais. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v.14. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2008.



RIBEIRO, L. C.; GUIMARÃES G. N. Interpolação de Dados Gravimétricos Visando a Obtenção de Altitudes com Significado Físicos. In: Simpósio Brasileiro de Geométrica, 4., 2017 Presidente Prudente, *Anais [...]*. São Paulo, 2017. p. 496 – 502.

ROSMAN, P.C.C. *SisBAHIA – Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental*. Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica. Rio de Janeiro: Universidade Federal de Rio de Janeiro (COPPE-PEnO/UFRJ), 2000.

SÁNCHEZ L. Strategy to Establish a Global Vertical Reference System. In: Drewes H. *Geodetic Reference Frames*. Berlin: International Association of Geodesy Symposia, vol 134, 2009 p.273-278.

SCHAEFFER, PHILIPPE *et al.* The CNES CLS11 *Global Mean Sea Surface Computed from 16 Years of Satellite Altimeter Data*. *Marine Geodesy* 35, 2012.

SLOBBE, D.C.; VERLAAN, M.; KLEES, R.; GERRITSEN, H. Astronomical Tide in the North Sea derived from a vertically referenced shallow water model, and an assessment of its suggested sense of safety. *Marine Geodesy*, v 36, 2013.

STEWART, R. H. *Introduction to Physical Oceanography*. Texas (USA): Texas A & M University, 2008.

STRYKOWSKI, G.; ANDERSEN, O.B.; EINARSSON, I.; FORSBERG, R.; DORST, L.L.; LIGTERINGEN, T. BLAST vertical: Overview, *conventions and recommendations*. BLAST (Bringing Land and Sea Together) Project, 2011.

TEDESCO, Andrea. *Estimativa de profundidades utilizando imagens de alta resolução apoiadas por dados de levantamento batimétrico*. 2003. Dissertação de Mestrado. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2003.





# ANÁLISE DO RISCO DE NAVEGAÇÃO AO LONGO DE UM CANAL DE ENTRADA A PARTIR DE SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS

*Autor: CC Marcos Antonio de Souza Silva<sup>1</sup>*

*Co-autores: Susana Beatriz Vinzon<sup>2</sup>*

*Jean David Job Emmanuel Marie Caprace<sup>3</sup>*

*Josefa Varela Guerra<sup>4</sup>*

## RESUMO

Simulador de navegação é um sistema que reproduz em terra, sob determinadas condições pré-definidas, as atividades executadas a bordo de um navio. Algumas teorias são descritas na literatura para aplicação de simuladores na avaliação da segurança em canais de navegação. Este trabalho teve como objetivo desenvolver um método probabilístico para análise de segurança da navegação ao longo de um canal, utilizando simulador no modo *fast-time*, combinando dados de vento e corrente. Ao todo, 399 simulações foram realizadas no Centro de

Análise de Sistemas Navais (CASNAV), utilizando o canal de acesso ao terminal da Ilha Guaíba, no Rio de Janeiro. Após análise, as seções 96, 101 e 128 do canal apresentaram riscos relevantes, sobretudo nas combinações de dados ambientais de categorias severa e moderada. A metodologia utilizada demonstrou ser eficiente na análise de segurança da navegação de canais de entrada em simuladores no modo *fast-time*.

## Palavras-chave:

Simulador de Navegação; Análise de Risco; Segurança da Navegação.

---

<sup>1</sup>Assessor Técnico para Assuntos de Auxílios à Navegação. Graduado em Ciências Navais pela Escola Naval. Aperfeiçoado no Curso de Hidrografia para Oficiais (CAHO). Mestre pelo Programa de Engenharia Naval e Oceânica (PENO) do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (PENO), UFRJ.

<sup>2</sup>Professora Titular do Laboratório de Dinâmica e Sedimentos Coesivos (LDSC) da UFRJ. Mestre e Doutora em Engenharia Oceânica pela UFRJ. Doutorado em *Coastal and Oceanographic Engineering* pela Universidade da Flórida (UF), Estados Unidos. Pós-Doutora pela *Technical University of Delft* (TUDELFT), Holanda.

<sup>3</sup>Coordenador do programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica (PenO). Especialista em Construção Naval pela Universidade de Liège (ULG) na Bélgica. Mestre em Engenharia Industrial pelo *Institut Supérieur Industriel de Bruxelles* (ISIB) na Bélgica. Doutor em Ciências Aplicadas Universidade de Liège (ULG) na Bélgica. Pós-Doutor pela Universidade de Liège (ULG), na Bélgica.

<sup>4</sup>Professora Adjunta da UERJ. Graduada em Oceanologia, FURG. Mestre em Geografia, UFRJ. Doutora em Oceanografia pela *University of Washington*, nos Estados Unidos. Pós-Doutora pela UFF.



## ABSTRACT

A navigation simulator is a system that reproduces on shore, under certain predefined conditions, the activities performed on board of a ship. Some theories are described in literature for application of simulators to assess safety in navigation channels. This work aims to develop a probabilistic method to analyze navigation safety along a channel, by using a simulator set at the *fast-time* mode, combining wind and current data. In total, 399 simulations were performed at the Brazilian Navy Systems Analysis Center (CASNAV), by using the access channel to the Guaíba Island Terminal in Rio de Janeiro. After the analysis, channel sections 96, 101 and 128 presented relevant risks, especially under the combination of environmental data of severe and moderate categories. The methodology used proved to be efficient in the safety analysis of navigation of entrance channels when using simulators in the *fast-time* mode.

## Keywords:

Navigation Simulator; Risk Analysis; Navigation Safety.

## 1. INTRODUÇÃO

A simulação é definida como o ato de imitar um procedimento real em menor tempo e com menor custo, permitindo um estudo detalhado de acontecimentos passados, presentes e futuros (Bragança, 2017). O simulador de navegação é um dispositivo, programa de computador ou sistema que efetua a simulação, capaz de reproduzir, em terra e em condições controladas, algumas das atividades executadas a bordo (Ferreira, 2017). Pode ser utilizado para treinamento de manobras e para análise da segurança de um canal de navegação, em que um número determinado de simulações é realizado

para diferentes condições meteorológicas (Gucma *et al.*, 2018).

Há dois tipos de modelos de simulação de manobras do navio: simulação em tempo real e simulação em tempo rápido (*fast-time*) (PIANC, 2014). Os simuladores em tempo real são definidos como aqueles em que os instrumentos de manobra do navio são comandados por seres humanos, com o evento simulado tendo a mesma duração no mundo real. Já os simuladores tipo *fast-time* utilizam modelos de controle automático do navio e são executados em escala acelerada (PIANC, 2014; Lataire *et al.*, 2018).

As simulações do tipo *fast-time* apresentam como vantagens a possibilidade de obtenção de resultados rápidos iniciais de viabilidade, estudo de múltiplos cenários, possibilidade de análise das distribuições do trajeto do navio em curto espaço de tempo, facilidade de implementação na alteração de cenários e boa relação custo-benefício (IALA, 2011).

Entre os estudos que abordam o uso de simuladores para a análise do risco de navegação em canais de entrada, destacam-se os realizados por Guçma (2000), Briggs *et al.* (2003), Quy *et al.* (2008), Gomes (2015), Guçma *et al.* (2018) e Xu *et al.* (2019).

O estudo de Guçma (2000) aplicou um método probabilístico de avaliação do risco de navegação para qualquer via navegável, utilizando uma função de distribuição de probabilidades do navio ultrapassar a margem de segurança do canal. Foi evidenciado que este método pode ser aplicado em situações práticas de engenharia, pois informa onde o nível de risco é excedido e que a probabilidade de exceder o risco admissível pode ser calculada a partir da distância do navio ao centro do canal de entrada, da frequência de ocorrência das condições ambientais nas simulações e do tráfego anual esperado para o navio.

Briggs *et al.* (2003) realizaram simulação em modelo de escala reduzida do canal de acesso ao Porto de Barbers Point,



no Havaí, Estados Unidos. Na simulação, foi considerada a combinação de dados ambientais de vento, onda e corrente. Esses dados foram classificados em categorias, as quais variavam de acordo com a intensidade. As probabilidades conjuntas dessas categorias foram calculadas e estimadas por meio de uma resolução de equação linear. As categorias ambientais foram combinadas entre si e aplicadas durante os testes de simulação. A análise de probabilidades foi realizada a partir da avaliação da trajetória do navio para cada uma das condições ambientais. A análise dos dados mostrou que a profundidade e a largura do canal, embora adequadas para o tráfego de navios naquele momento, comprometia a segurança para navios de maior porte, do tipo porta-contêiner C9.

Quy *et al.* (2008) analisaram os riscos de navegação ao longo do canal de entrada do porto de Cam Pha, no Vietnã, para o navio tipo *bulk carrier*. Para isso, utilizaram um modelo de simulação programado em Matlab, que calculava a cada trecho o movimento vertical do navio provocado pelas ondas e pelo *squat*. Com base no resultado das simulações, concluíram que a velocidade ideal do navio deveria ser de 7,5 nós com o canal configurado na profundidade de 12 m, considerando o tráfego anual de navios no porto maior que 10.

Gomes (2015) utilizou simulador de manobras no modo *fast-time* para comparar as atuações dos navegantes representados por tempos de retardos diferentes na ação de controle. Foram utilizadas duas embarcações do tipo porta-contêiner, sendo a embarcação “A” de 210,54 m de comprimento, 29,88 m de largura e capacidade máxima de 2.478 TEU; e a embarcação “B” de 228,08 m de comprimento, 37 m de largura e capacidade máxima de 3.800 TEU. A partir da combinação de valores de vento e corrente foram realizadas várias simulações.

Esse estudo concluiu que a probabilidade da embarcação “B” exceder o canal era maior do que a da embarcação “A”, e esta probabilidade aumentaria conforme era aumentado o tempo de retardo setado no controle de máquinas e leme do navio.

Gucma *et al.* (2018) realizaram uma nova simulação, dessa vez, para análise da segurança do canal de entrada ao porto de Ystad, visando acomodar navios de até 240 m de comprimento. As simulações das manobras do navio foram realizadas em tempo real, sob diferentes condições ambientais e por navegantes experientes. Os resultados mostraram que a largura do canal de entrada deveria aumentar para 150 m ao longo de 500 m antes da entrada do porto, e 130 m no restante do canal, a fim de permitir a navegação com segurança para navios de 230 m de comprimento.

Xu *et al.* (2019) avaliaram a segurança da navegação no porto de Macun, localizado na cidade de Haikou, China, usando um simulador. O navio utilizado durante as simulações foi um porta-contêiner de 50.000 DWT. Os dados ambientais considerados foram: os ventos típicos da região de direções NE, E, SE e W; forças Beaufort de 6, 7 e 8; e corrente em direções de E e W. Após análise dos resultados, verificaram que a navegação do navio nas simulações foi segura nas seguintes condições: limitação da velocidade em 10 nós; redução da velocidade para entre 3 e 5 nós nas seções M1 e M2 do canal; vento máximo de 7 de força Beaufort; proibição de navegação de outros navios simultaneamente no canal; e não restrição de navegação em condições de restrições de visibilidade ou à noite.

Embora esses estudos tenham fornecido dados relevantes sobre aspectos relacionados à segurança de navegação envolvendo os canais de entrada de portos, eles não consideraram em suas análises um estudo estatístico que combinasse dados ambientais de



vento e corrente, a utilização de simuladores do tipo *fast-time* (que podem reduzir o tempo de cálculo e simular vários cenários) e cálculo da probabilidade de risco por seções ao longo do canal. Este cálculo pode permitir a verificação dos trechos críticos em função dos dados ambientais, apontar possíveis restrições de manobra ou necessidades de modernização de trechos do canal.

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi desenvolver um método probabilístico para análise da segurança da navegação ao longo de um canal de entrada utilizando simulador no modo *fast-time*, combinando dados de vento e corrente.

## 2. MÉTODO

Para a construção do método probabilístico, envolvendo os riscos de navegação ao longo do canal de entrada de determinado porto, foram realizadas as seguintes etapas: combinação de referenciais teóricos de simulação de navegação em canais de entrada, escolha do cenário para as simulações, contato com o simulador e aprendizado sobre a linguagem de programação que este utiliza, seleção do navio a ser utilizado, análise e combinação dos dados ambientais para aplicação no simulador, realização das simulações e o processo de análise dos dados obtidos.

### 2.1 Referenciais Teóricos

Os referenciais teóricos aplicados no presente estudo foram os apresentados por Briggs *et al.* (2003), Gucma (2000) e Gucma *et al.* (2018). Para a análise dos dados ambientais e posterior construção da combinação dos cenários, foi utilizado o método desenvolvido por Briggs *et al.* (2003). Os estudos de Gucma (2000) e Gucma *et al.* (2018) foram empregados para a aplicação desses dados no simulador de navegação, visando obter a probabilidade de segurança ao longo das seções do canal de entrada.

### 2.2 Cenário

O cenário utilizado nas simulações foi o canal de entrada do Terminal da Ilha Guaíba (TIG), localizado a oeste da Baía de Sepetiba, no município de Mangaratiba (RJ). Inaugurado em 1973, o Terminal é composto por estrutura de concreto com 395 metros de comprimento e 21 metros de largura (Figura 1). É um Terminal de Uso Privado (TUP) administrado pela mineradora VALE, utilizado para a exportação de granéis sólidos (minério de ferro) explorados em Minas Gerais. O canal de acesso ao terminal situa-se nas proximidades de Ilha Grande, Ilha de Sepetiba e Ilha Guaíba. (Figura 2).





Figura 1 – Berços do Terminal da Ilha Guaíba. (Fonte: VALE, 2019)

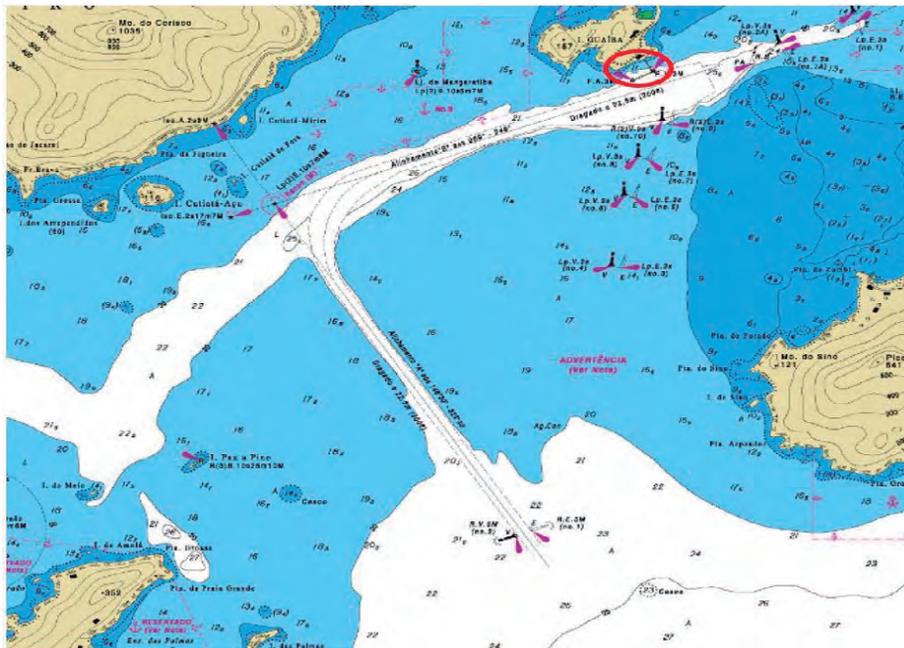


Figura 2 – Extrato da Carta Náutica 1607 demonstrando o canal de entrada ao Terminal de Uso Privado (TUP) da Ilha Guaíba, o qual é delimitado, na imagem, com um círculo na cor vermelha. (Fonte: Diretoria de Hidrografia e Navegação, 2019)



### 2.3 O Simulador

O Simulador utilizado neste estudo pertence ao Centro de Análise de Sistemas Navais (CASNAV) e foi desenvolvido para o treinamento dos futuros Oficiais da Marinha Mercante no Centro de Instrução Almirante Graça Aranha (CIAGA). Este simulador é do tipo *full mission* (Classe A), ou seja, ele é capaz de simular uma operação completa da situação operacional do passageiro para manobras avançadas em águas restritas.

na implementação, em *software*, de uma série de equações diferenciais que modelam a resposta hidrodinâmica do navio, interagindo com fatores ambientais, ordens de leme, propulsão e forças externas induzidas pela amarra, cabos de reboque e espias, por exemplo.

O sistema é composto por módulos que trocam informações entre si, intermediadas por um Servidor de Rede (*Network Server*), que integra as funcionalidades do Simulador. O modelo hidrodinâmico calcula as acelerações, velocidades e a posição do navio.



Figura 3 – Treinamento com alunos do CIAGA simulando a navegação no canal de entrada do Rio de Janeiro, utilizando o simulador desenvolvido pelo CASNAV. Fonte: CASNAV.

O Simulador passou por recentes modernizações, apresentando o movimento do navio em seis graus de liberdade, proporcionando maior confiabilidade nos resultados. Apresenta visão panorâmica externa, radar, ecobatímetro, anemômetro, carta náutica e GPS, além de comandos de propulsão e ângulo de leme, assim como seus indicadores (Figura 3). Tais características proporcionam uma experiência mais realista ao treinamento.

Em relação ao seu modelo matemático, ou modelo hidrodinâmico, este é baseado

Essas informações são repassadas aos instrumentos (leme, propulsão, piloto automático e alarmes), aos equipamentos de passageiro pela porta serial (GPS, AIS, ECDIS, GMDSS) e para visualização por peloros ou binóculos. O console do instrutor (módulo ICS) recebe e exibe os dados de navegação do navio na carta náutica, além de poder estabelecer as condições de ondas, vento e corrente. Os módulos que compõem esse sistema e o fluxo de informações são demonstrados na Figura 4.

As trocas de informações entre os módulos do Simulador ocorrem por meio de



protocolo de rede. A linguagem de programação utilizada é C, e o ambiente visual empregado é o Unit 3D.

O controle do navio no simulador é empregado por meio do leme e ordens de máquina de propulsão. Há um piloto automático, que mantém o navio em um rumo predeterminado, e é baseado no controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo). Este controlador é formado por uma equação com 3 componentes: um proporcional, um integral e um derivativo, que compõem um sistema de *loop* fechado. Este sistema

visa alterar o rumo atual do navio ( $\psi$ ) para o rumo demandado pelo navegante ( $\psi_d$ ). A partir da diferença entre esses rumos, o piloto automático calcula o ângulo de leme necessário para a manobra ( $\delta_c$ ), encaminhando um sinal para a máquina do leme, que então atua sobre o navio ( $\delta$ ) e o faz girar na direção do novo rumo desejado (alterando para um novo  $\psi$ ). Nesse processo, as ondas, os ventos e as correntes influenciam na manobra, e o sistema atua até que o navio alcance o rumo desejado conforme descrito na Figura 5 (Fossen *et al.*, 1994).

DIAGRAMA DE BLOCOS DO SIMPASS

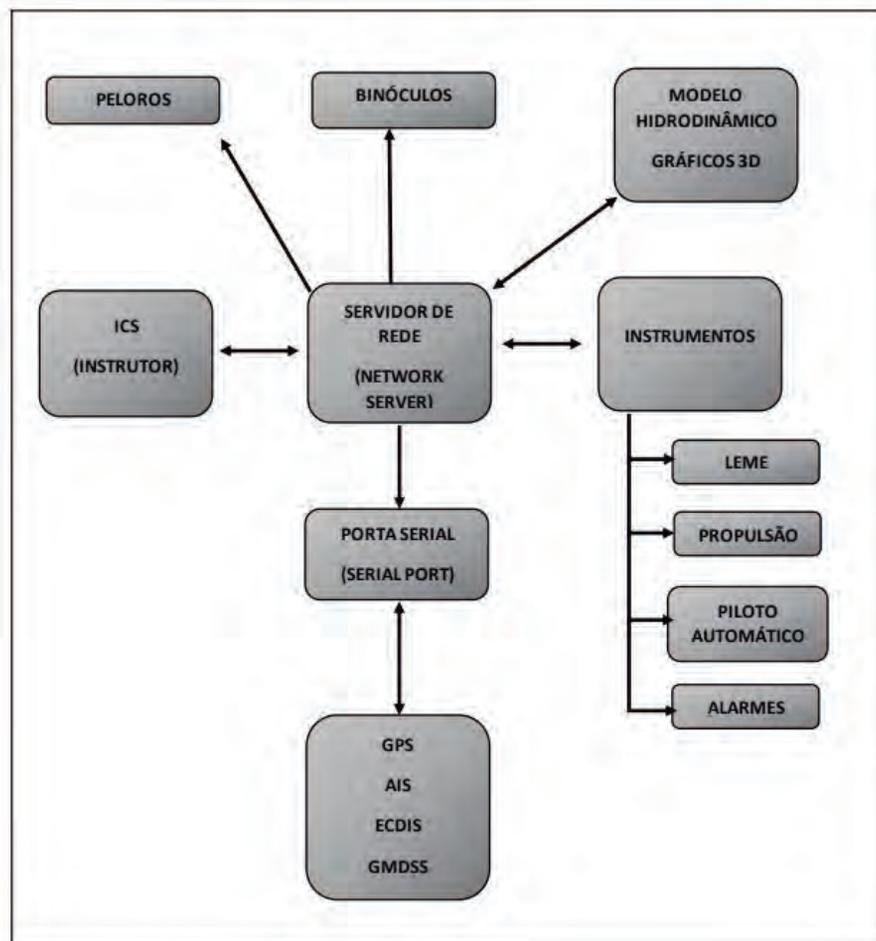


Figura 4 – Diagrama de blocos com os módulos do Simulador de Navegação e o fluxo de informações. (Fonte: CASNAV, 2019)

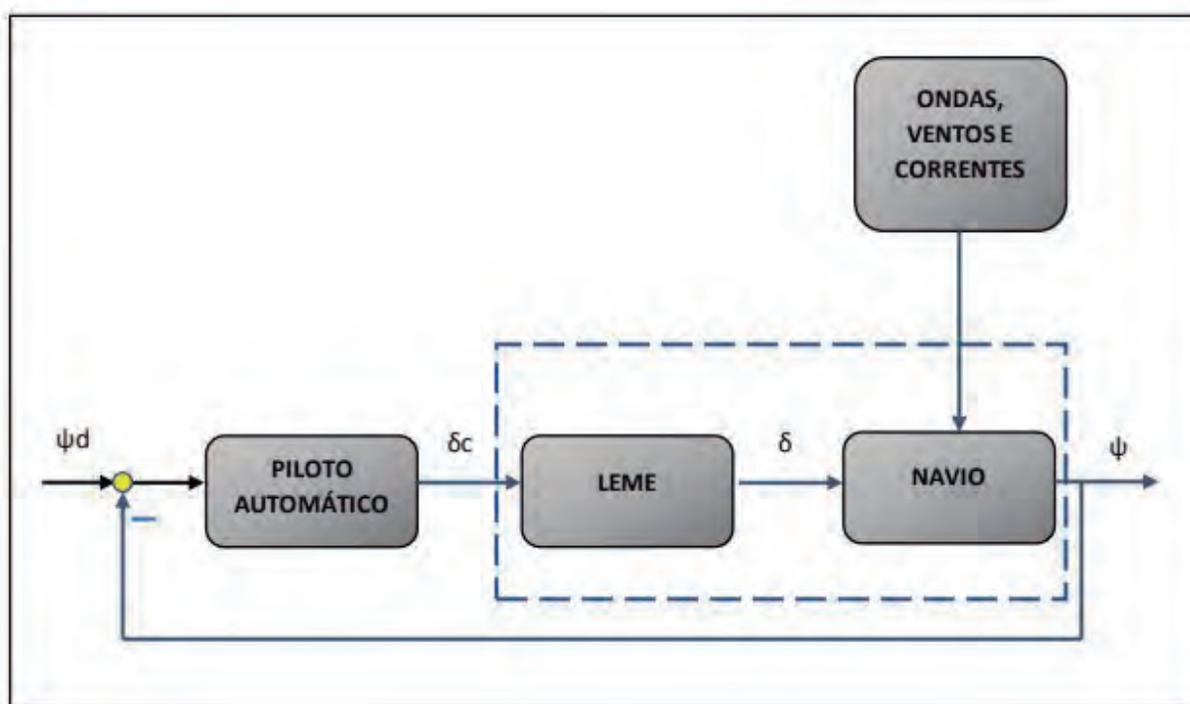


Figura 5 – Representação do sistema de loop fechado do simulador, composto por piloto automático, máquina do leme e navio. Note-se que há a influência de ondas, ventos e corrente no navio. Fonte: Fossen et al. (1994).

## 2.4 Dados Ambientais

Os dados ambientais utilizados para as simulações deste estudo foram os de correntes e ventos localizados em pontos próximos do canal de entrada da Baía de Sepetiba, correspondentes ao ano de 2009.

Os dados de intensidade e direção da corrente foram obtidos do modelo hidrodinâmico da Baía, utilizando o programa Delft3D. Esses dados referiam-se ao ponto intermediário do canal de entrada, na Latitude 23,0722° S e Longitude 44,0839° W.

Foram selecionados os dados de corrente obtidos em intervalos de 3 em 3 horas, nos horários de 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 e 21 horas de cada dia do referido ano (2009), que permitiram, então, o cálculo da distribuição da intensidade e direção da corrente,

utilizando o programa Matlab, conforme representado na Tabela 1.

As informações de vento foram obtidas no banco de dados da agência americana *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), em intervalos de 6 em 6 horas, considerando o ponto mais próximo da entrada do canal na Latitude 23,261° e Longitude 43,77° W.

Para que os registros de ventos fossem obtidos na frequência de 3 em 3 horas, de forma a coincidir com os dados de corrente, estes foram interpolados em intensidade e direção. A partir desses registros, foi realizado o cálculo da distribuição da intensidade e direção do vento, utilizando o programa Matlab, conforme consta na Tabela 2.

Os maiores valores de cada categoria de intensidade de corrente e vento foram



Tabela 1 – Distribuição da frequência conjunta (%) de intensidade (m/s) e direção média (graus) da corrente.

Distribuição de frequências das Intensidades e Direções de Corrente (%)								
Direção Média (graus)	Intensidades (m/s)							TOTAL (%)
	(0, 0,1)	[0,1, 0,2)	[0,2, 0,3)	[0,3, 0,4)	[0,4, 0,5)	[0,5, 0,6)	[0,6, Inf)	
0	6,19	8,93	5,81	0,98	0,06	0,00	0,00	21,97
45	3,79	1,75	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	5,63
90	3,67	2,19	0,70	0,27	0,18	0,01	0,00	7,03
135	6,67	8,33	3,03	0,71	0,31	0,08	0,00	19,14
180	7,70	9,35	0,68	0,01	0,00	0,00	0,00	17,74
225	4,91	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,11
270	4,29	1,40	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	5,76
315	5,59	7,26	3,12	0,61	0,05	0,00	0,00	16,62
TOTAL	42,82	40,40	13,51	2,59	0,60	0,09	0,00	100,00
CLASSIFICAÇÃO	FRACO	FRACO	MODERADO	MODERADO	SEVERO	SEVERO	SEVERO	

Tabela 2 – Distribuição da frequência conjunta (%) de intensidade (m/s) e direção média (graus) do vento.

Distribuição de frequências das Intensidades e Direções de Vento (%)									
Direção Média (graus)	Intensidades (m/s)								TOTAL (%)
	(0, 2)	[2, 4)	[4, 6)	[6, 8)	[8, 10)	[10,12)	[12, 14)	[14, Inf)	
0	0,22	2,68	4,69	3,74	0,54	0,01	0,00	0,00	11,88
45	0,71	3,95	4,67	1,27	0,01	0,01	0,00	0,00	10,62
90	0,81	4,96	5,30	1,19	0,02	0,00	0,00	0,00	12,28
135	0,99	4,84	4,73	0,99	0,07	0,01	0,00	0,00	11,64
180	0,86	5,53	5,44	1,83	0,19	0,06	0,01	0,00	13,91
225	0,75	5,60	6,10	3,11	1,29	0,24	0,00	0,00	17,09
270	0,78	4,45	3,70	1,11	0,07	0,00	0,00	0,00	10,11
315	0,57	4,84	5,38	1,59	0,09	0,00	0,00	0,00	12,47
TOTAL	5,69	36,86	40,01	14,81	2,28	0,33	0,01	0,00	100
CLASSIFICAÇÃO	FRACO	FRACO	FRACO	MODERADO	MODERADO	SEVERO	SEVERO	SEVERO	

selecionados para sua posterior aplicação no Simulador. Os seguintes valores (m/s) de corrente foram considerados para as respectivas categorias: categoria severa (0,6), moderada (0,4) e fraca (0,2), conforme pode

ser visto na Tabela 3. Em relação aos dados de vento, foram considerados os seguintes valores (m/s) para as respectivas categorias: categoria severa (14), moderada (10) e fraca (6), conforme consta na Tabela 4.



Tabela 3 – Distribuição de frequências das intensidades máximas consideradas de acordo com a categoria e por direções de corrente. A combinação de direção e intensidade das correntes descartadas encontra-se com valor nulo, destacado na cor vermelha.

Distribuição de frequências das Intensidades máximas por categoria e Direções de Corrente				
	Intensidades (m/s)			
Direção Média (graus)	0,2	0,4	0,6	TOTAL (%)
0	15,12	6,80	0,06	21,97
45	5,54	0,09	0,00	5,63
90	5,86	0,97	0,19	7,03
135	15,01	3,74	0,39	19,14
180	17,05	0,69	0,00	17,74
225	6,11	0,00	0,00	6,11
270	5,69	0,07	0,00	5,76
315	12,84	3,73	0,05	16,62
TOTAL	83,22	16,09	0,69	100,00
CLASSIFICAÇÃO	FRACO	MODERADO	SEVERO	

Tabela 4 – Distribuição de frequências das intensidades máximas consideradas de acordo com a categoria e por direções de vento. A combinação de direção e intensidade das correntes descartadas encontra-se com valor nulo, destacado na cor vermelha.

Distribuição de frequências das Intensidades máximas por categoria e Direções de Vento				
	Intensidades (m/s)			
Direção Média (graus)	6	10	14	TOTAL (%)
0	7,60	4,27	0,01	11,88
45	9,33	1,28	0,01	10,62
90	11,07	1,21	0,00	12,28
135	10,57	1,06	0,01	11,64
180	11,82	2,02	0,07	13,91
225	12,45	4,40	0,24	17,09
270	8,93	1,18	0,00	10,11
315	10,79	1,68	0,00	12,47
TOTAL	82,56	17,10	0,34	100,00
CLASSIFICAÇÃO	FRACO	MODERADO	SEVERO	



Após a obtenção dos cenários de corrente e vento isoladamente, de acordo com intensidade e direção, foi realizada a combinação das categorias desses dados ambientais.

Essa combinação foi determinada pelo sistema linear de equações proposto por Briggs *et al.* (2003), aplicado para os dados ambientais de corrente e vento (Equação 1).

O sistema de equações lineares está representado a seguir:

$$\begin{aligned} P_{AA} + P_{AB} + P_{AC} &= P_{c1} \\ P_{BA} + P_{BB} + P_{BC} &= P_{c2} \\ P_{CA} + P_{CB} + P_{CC} &= P_{c3} \\ P_{AA} + P_{BA} + P_{CA} &= P_{v1} \\ P_{AB} + P_{BB} + P_{CB} &= P_{v2} \\ P_{AC} + P_{BC} + P_{CC} &= P_{v3} \\ P_{AA} + P_{AB} + P_{AC} + P_{BA} + P_{BB} + P_{BC} + P_{CA} + P_{CB} + P_{CC} &= 1 \end{aligned} \quad \text{(Equação 1)}$$

As probabilidades das combinações são representadas da seguinte forma:

- $P_{AA}$  – Corrente Severa (A) com Vento Severo (A)
- $P_{AB}$  – Corrente Severa (A) com Vento Moderado (B)
- $P_{AC}$  – Corrente Severa (A) com Vento Fraco (C)
- $P_{BA}$  – Corrente Moderada (B) com Vento Severo (A)
- $P_{BB}$  – Corrente Moderada (B) com Vento Moderado (B)
- $P_{BC}$  – Corrente Moderada (B) com Vento Fraco (C)
- $P_{CA}$  – Corrente Fraca (C) com Vento Severo (A)
- $P_{CB}$  – Corrente Fraca (C) com Vento Moderado (B)
- $P_{CC}$  – Corrente Fraca (C) com Vento Fraco (C)



E as probabilidades obtidas pela análise dos dados ambientais são representados por:

$P_{C1}$  - Probabilidade de ocorrência de Corrente Severa (C1)

$P_{C2}$  - Probabilidade de ocorrência de Corrente Moderada (C2)

$P_{C3}$  - Probabilidade de ocorrência de Corrente Fraca (C3)

$P_{V1}$  - Probabilidade de ocorrência de Vento Severo (V1)

$P_{V2}$  - Probabilidade de ocorrência de Vento Moderado (V2)

$P_{V3}$  - Probabilidade de ocorrência de Vento Fraco (V3)

A partir dos dados das probabilidades conjuntas das categorias de corrente e vento obtidas com a metodologia utilizada por Briggs *et al.* (2003), foram determinadas 399 combinações de cenários (19 cenários de vento X 21 cenários de corrente), os quais foram utilizados nas simulações, como pode ser evidenciado na Tabela 5. Nessa tabela, os dados foram agrupados com base nas combinações das categorias. Assim, a

partir da quantidade de cenários estabelecidos para cada categoria de corrente e vento, e da respectiva probabilidade conjunta, foi calculada a probabilidade de o navio sair dos limites do canal de entrada em questão no estudo utilizando o Simulador. Essa probabilidade foi calculada considerando a teoria de *Bernoulli-Poisson*, conforme descrito no estudo de Guçma (2000) e Guçma *et al.* (2018).

Tabela 5 – Total de cenários obtidos a partir da combinação das categorias de corrente e vento, que compõem a amostra a ser aplicada nas simulações.

Categoria	Corrente		Vento		Quant. Combinações	Probabilidade
	Categoria	Quant. Cenários	Categoria	Quant. Cenários		
Severa	Severa	4	Severo	5	20	0,0013
	Severa	4	Moderado	8	32	0,0025
	Severa	4	Fraco	8	32	0,0032
Moderada	Moderada	7	Severo	5	35	0,0004
	Moderada	7	Moderado	8	56	0,1595
	Moderada	7	Fraco	8	56	0
Fraca	Fraca	8	Severo	5	40	0,0023
	Fraca	8	Moderado	8	64	0,0079
	Fraca	8	Fraco	8	64	0,8227
TOTAL: 399						

O fluxo realizado para a análise dos dados de vento e corrente deste estudo foi resumido, sendo representado no fluxograma abaixo (Figura 6).



Figura 6 – Fluxograma indicando as etapas realizadas para obtenção da combinação de cenários de corrente e vento, e as respectivas probabilidades a serem utilizadas no simulador.

A partir dos resultados obtidos por meio das análises dos dados ambientais com a obtenção dos diferentes cenários, foram iniciadas as simulações.

## 2.5 As Simulações

Para as simulações, foi utilizado o método empregado por Gucma (2000) e Gucma *et al.* (2018). No entanto, o simulador necessitou ser adaptado para realizar simulações no modo *fast-time*.

As simulações foram realizadas no período de janeiro a abril de 2018, com apoio do pessoal técnico do CASNAV. Os módulos necessários para a realização das simulações foram instalados em um *notebook* com os arquivos das combinações ambientais pronto para carregamento durante os testes. Para facilitar o registro da posição do navio

nas simulações, o canal de entrada para o Terminal da Ilha Guaíba foi dividido em 185 seções com uma distância de 100 metros entre si (seção 0 à 184).

O controle do navio foi implementado utilizando o piloto automático do Simulador, do tipo controlador PID. Neste tipo de controle, o rumo do navio é ordenado a reduzir a distância em relação ao centro do canal, com correções proporcionais ao afastamento do navio. Assim, conforme ocorre a redução dessa distância, o rumo determinado tende a se igualar ao rumo base do canal. As variações de rumo foram limitadas a 10° em relação ao rumo base.

O Navio utilizado foi o de carga geral, com calado de 5,04 m, comprimento de 150,42 m, boca de 26 m e com deslocamento de 14.359,28 toneladas (em lastro). O navio iniciava a navegação a uma distância de aproximadamente 1.000 metros do canal, nas



proximidades do ponto de espera do prático, e acelerava até atingir e manter 8 nós de velocidade. A distância perpendicular ao centro do canal era registrada durante a navegação conforme o navio passava pelas seções. Quando o navio chegava ao final da trajetória, ele retornava à posição inicial e uma nova simulação era iniciada com outra combinação de dados ambientais de vento e corrente.

As combinações de vento e corrente foram carregadas no módulo ICS (módulo do instrutor) por meio de um arquivo de dados com posição de carregamento (latitude e longitude), direção e velocidade em nós. Ao iniciar a simulação, um desses arquivos era inserido na plataforma do ICS e, então, os dados de corrente e vento eram carregados ao longo do canal e o navio iniciava a navegação. Ao final da simulação, os registros da distância do navio ao centro do canal eram salvos por seção, e uma nova simulação era iniciada com o próximo arquivo de dados ambientais de corrente e vento.

A partir desses registros, foi estimada a função de distribuição normal de probabilidade da posição do navio (Equação 2) para cada combinação de condição ambiental.

A análise probabilística da segurança foi realizada utilizando a Equação 3 (Teoria de *Bernoulli-Poisson*) para calcular a probabilidade de ocorrência de um ou mais acidentes ao longo da vida útil do canal (Equação 4). Essa equação considera o número de passagens do navio em determinada condição ambiental (multiplicação do número de passagens total pela probabilidade conjunta da condição ambiental) e a probabilidade de exceder os limites do canal, ao navegar em determinada condição ambiental. A probabilidade de o navio exceder esses limites foi representada pela área em amarelo sob a distribuição normal da posição do navio conforme a Figura 7.

A Figura 8 representa, em forma de diagrama de blocos, parte das etapas realizadas no estudo para que as simulações

fornecessem os dados necessários para a análise probabilística da segurança da navegação no canal

$$X : N(m, \sigma) \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

- $X$  – Variável aleatória da distância do navio ao centro do canal em determinada seção.
- $m$  – Média das distâncias do navio ao centro do canal em determinada seção.
- $\sigma$  – Desvio-padrão das distâncias do navio ao centro do canal em determinada seção.

$$P_n = \frac{(NP)^n e^{-NP}}{n!} \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo:

- $P_n$  – Probabilidade de  $n$  acidentes ocorrerem em  $N$  passagens.
- $P$  – Nível de risco em uma travessia individual.
- $N$  – Número de passagens por ano.

$$R = 1 - e^{-NP} \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

- $R$  – Probabilidade de ocorrência de 1 ou mais acidentes ao longo da vida útil do canal.
- $N$  – Número de passagens por ano.
- $P$  – Nível de risco em uma travessia individual.

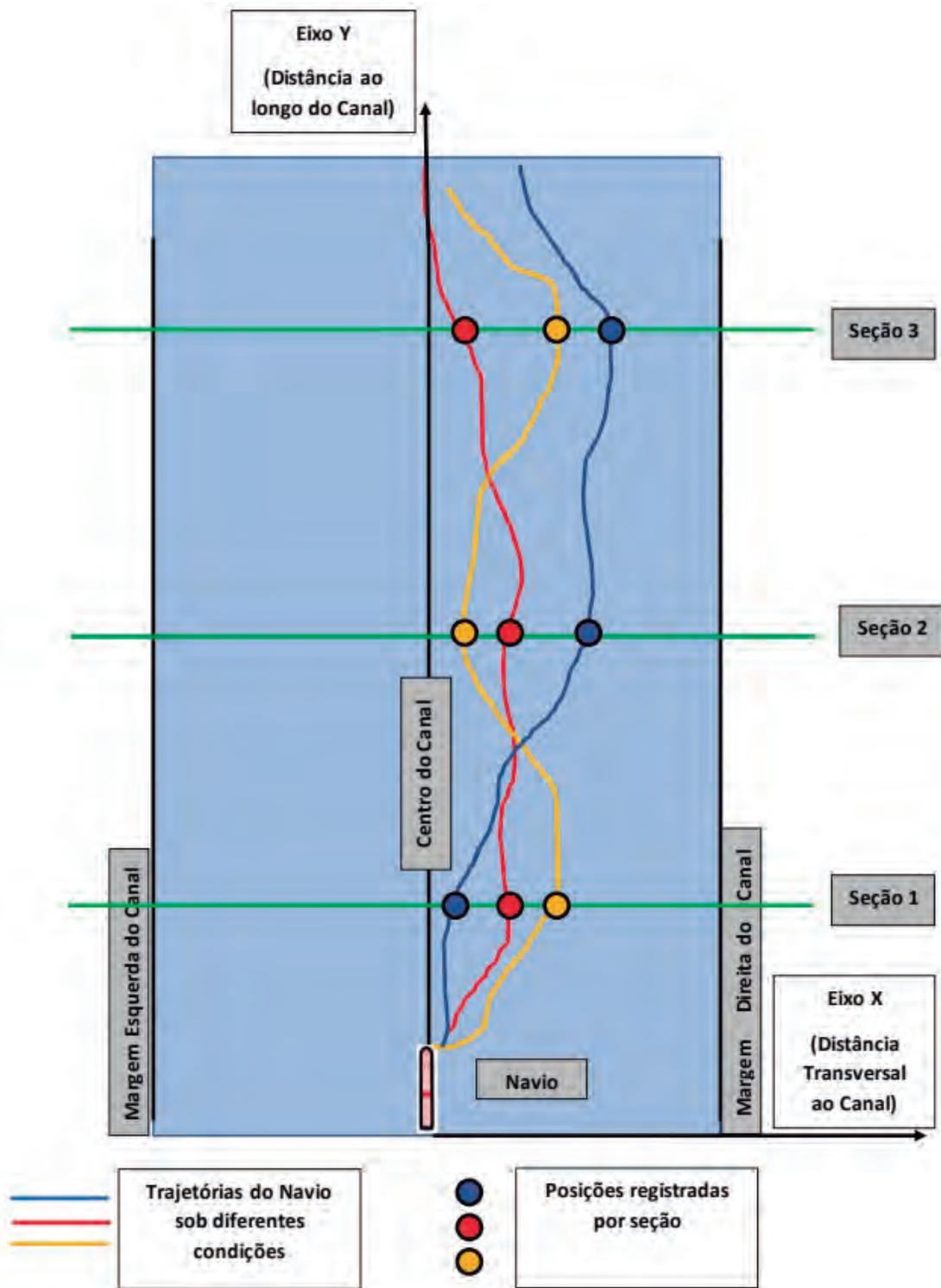


Figura 7 – Distribuição de Probabilidade da posição do navio ao longo das seções representada pela curva em vermelho. Os círculos nas cores azul, vermelho e laranja representam as posições do navio ao passar pelas seções. A área amarela abaixo da curva e fora dos limites do canal representa a probabilidade de o navio exceder o respectivo limite na seção. Fonte: Adaptado de Guçma (2000) e Guçma et al. (2018).



Figura 8 – Fluxograma indicando as etapas realizadas para obtenção da combinação de cenários de corrente e vento e as respectivas probabilidades a serem utilizadas no simulador.

Todas as etapas metodológicas percorridas durante a realização deste estudo estão esquematizadas na Figura 9, a seguir.



Figura 9 – Fluxograma contendo todas as etapas metodológicas percorridas no estudo visando à realização da análise probabilística da segurança da navegação.

### 3. RESULTADOS

As simulações geraram dados de deslocamento do navio ao longo do canal de entrada ao Terminal da Ilha Guaíba. Para a análise de cada cenário, foram gerados 3 gráficos no Programa Matlab: um representando a média do deslocamento horizontal do navio em relação ao centro do canal, que será referido como deslocamento do navio; um de desvio-padrão do deslocamento do navio; e um representando o risco de o navio ultrapassar os limites do canal. Nos gráficos referentes ao deslocamento do navio, foram incluídas as marcações do centro e dos limites laterais do canal, sendo que os valores negativos simbolizaram a margem lateral esquerda, e os positivos, a margem lateral direita do respectivo canal. Os valores

de desvio-padrão foram elaborados para a visualização da dispersão dos dados em cada parte do canal representada. As margens do canal não foram representadas no gráfico do desvio-padrão, pois sua inclusão prejudicaria a visualização da imagem. Em todos os gráficos, foram representadas as partes do canal conforme a Figura 10 (primeira parte reta, segunda parte curva e terceira parte reta), divididas por linhas verticais. Os gráficos descritos podem ser vistos para o cenário de combinação de Corrente severa com Vento severo nas Figuras 11, 12 e 13. Ao final, foi realizada comparação dos riscos, considerando como critério, para cada tipo de cenário, a condição de que a probabilidade de ocorrência de um acidente grave ao longo da vida útil do canal de entrada deve ser menor que 10% (Savenije,1996).

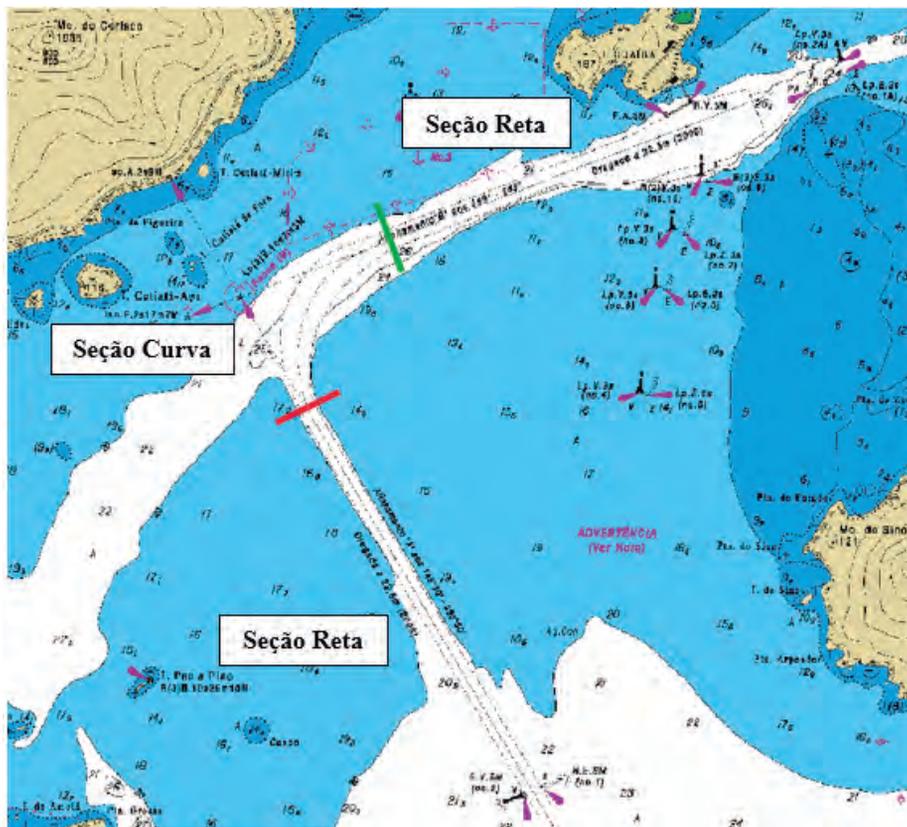


Figura 10 – Canal de entrada ao Terminal da Ilha Guaíba separado em três partes, compreendidas pela primeira parte reta da entrada até o início da curva no traço vermelho, pela segunda parte curva, compreendida entre o traço vermelho e verde, e a terceira parte reta do traço verde até o fim do canal.

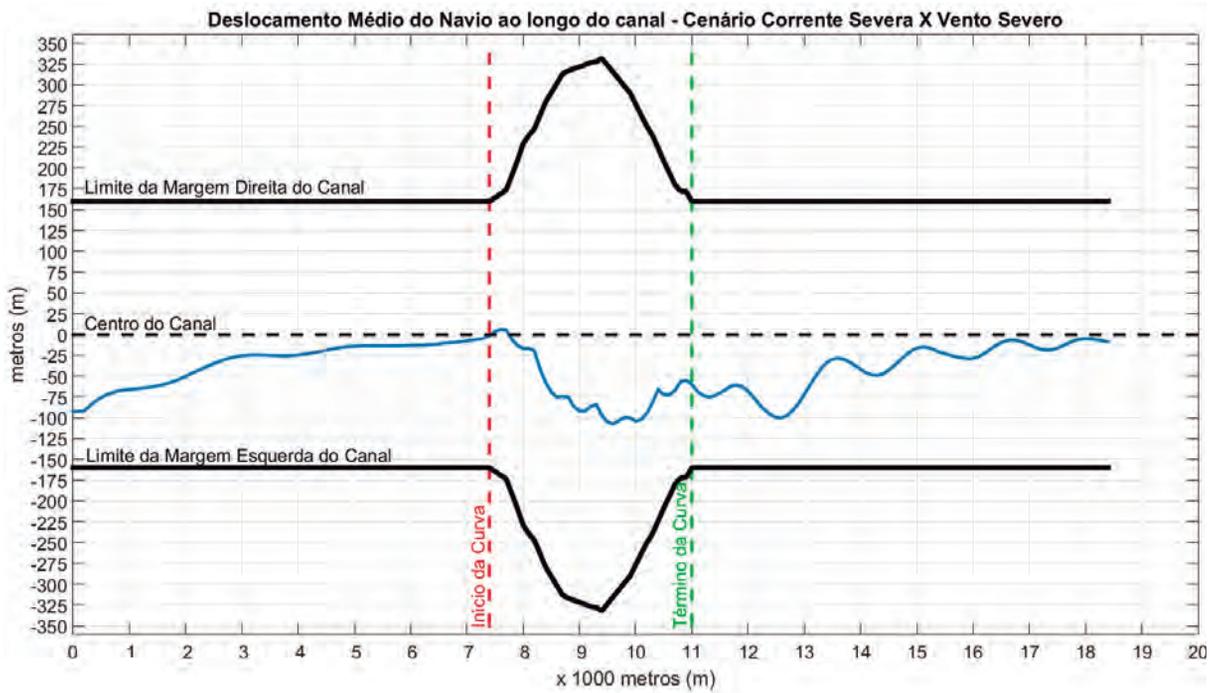


Figura 11 – Média do Deslocamento Horizontal do Navio ao longo do canal no cenário Corrente Severa X Vento Severo.

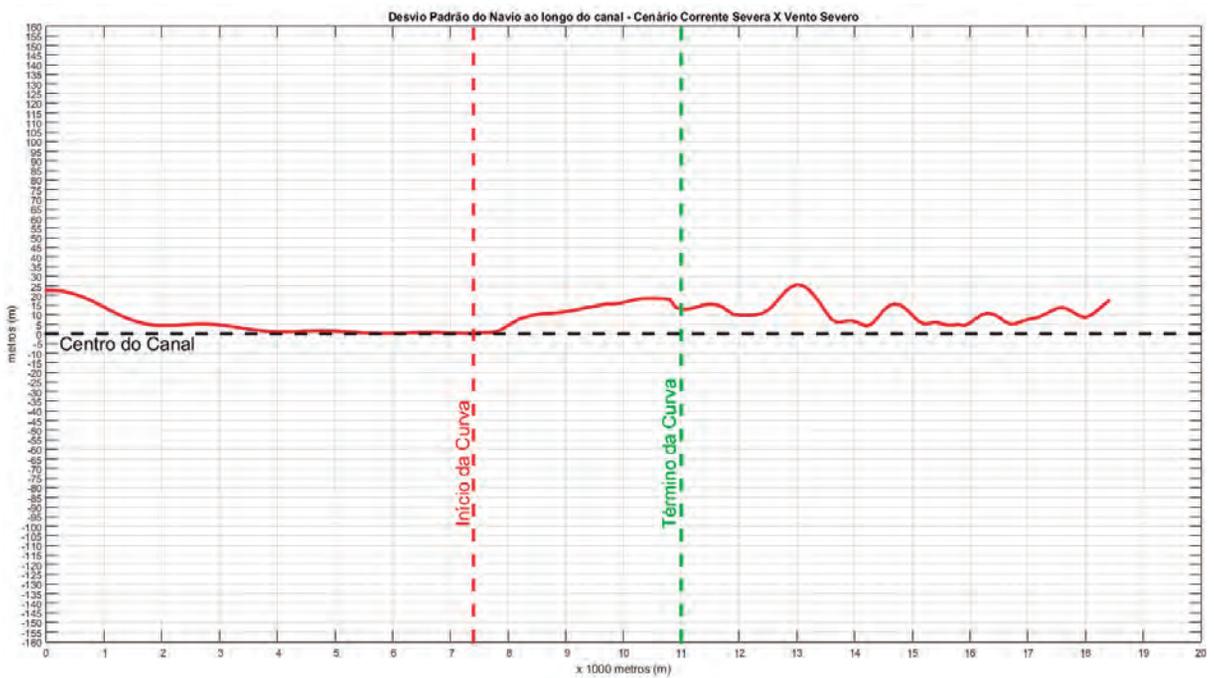


Figura 12 – Desvio-Padrão do Deslocamento Horizontal do Navio ao longo do canal no cenário Corrente Severa X Vento Severo.

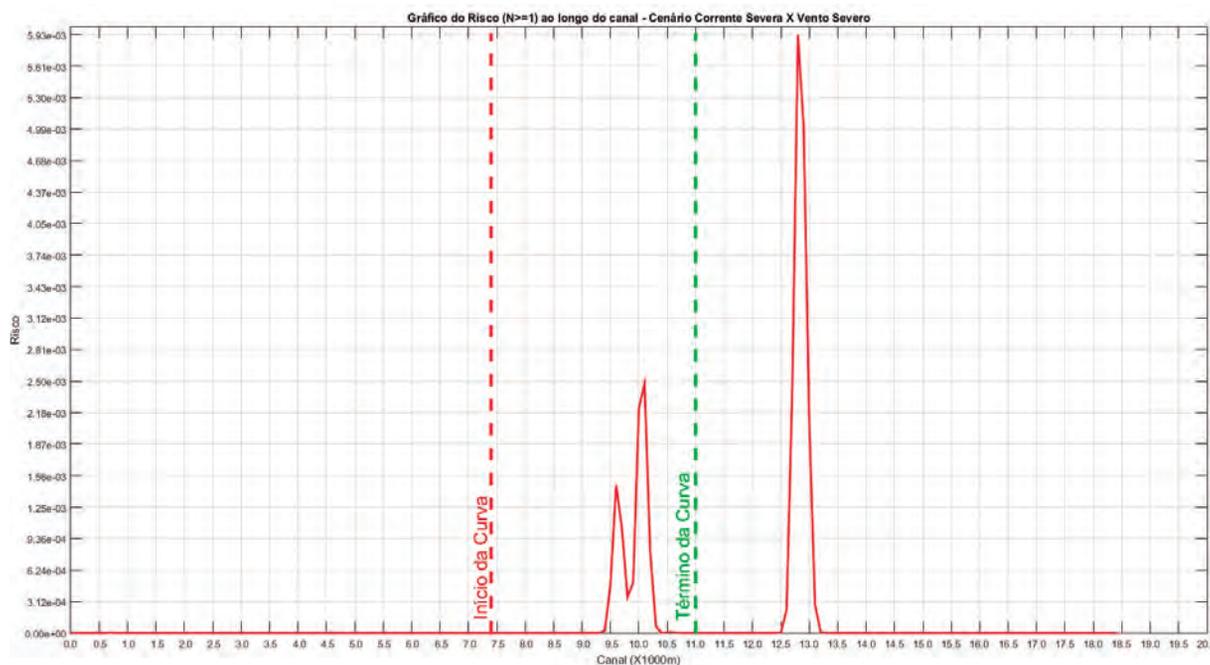


Figura 13 – Gráfico do Risco ao longo do canal no cenário Corrente Severa X Vento Severo.

Em termos comparativos, as curvas das médias e dos desvios-padrões dos deslocamentos resultantes da simulação do navio estão muito próximas entre os diferentes tipos de cenários. Isto se deve à pequena diferença entre os valores de corrente (valores de 0,6; 0,4 e 0,2 nós) e vento (valores de 6; 10 e 14 nós), em que sua pequena variabilidade impacta em menor proporção do desvio do deslocamento do navio. O maior impacto foi observado nas curvas de risco em que as frequências de cada condição ambiental representadas são incluídas. A análise de risco aplicada ao método destaca-se por combinar o deslocamento horizontal do navio, obtido do resultado da simulação com a frequência da condição ambiental na área do canal de entrada.

Foi observado na seção 0 (entrada do canal) que todas as corridas com o navio no simulador mostraram um impacto significativo com um desvio para a direita do canal. Isto se deveu a uma tendência do navio para a direita em sua corrida inicial de aceleração da inércia até atingir a velocidade definida de 8 nós. Navios possuem diversos tipos de tendência em ocasiões específicas de manobra. Esta tendência específica foi observada e a referida seção foi descartada da análise, a fim de demonstrar o risco ao longo do canal sem esta interferência.

A partir dos resultados, foi possível verificar que os trechos mais críticos identificados foram os relativos às seções 96, 101 e 128, constantes da Figura 14 (representando as distâncias de 9.600, 10.100 e 12.800 metros, respectivamente).

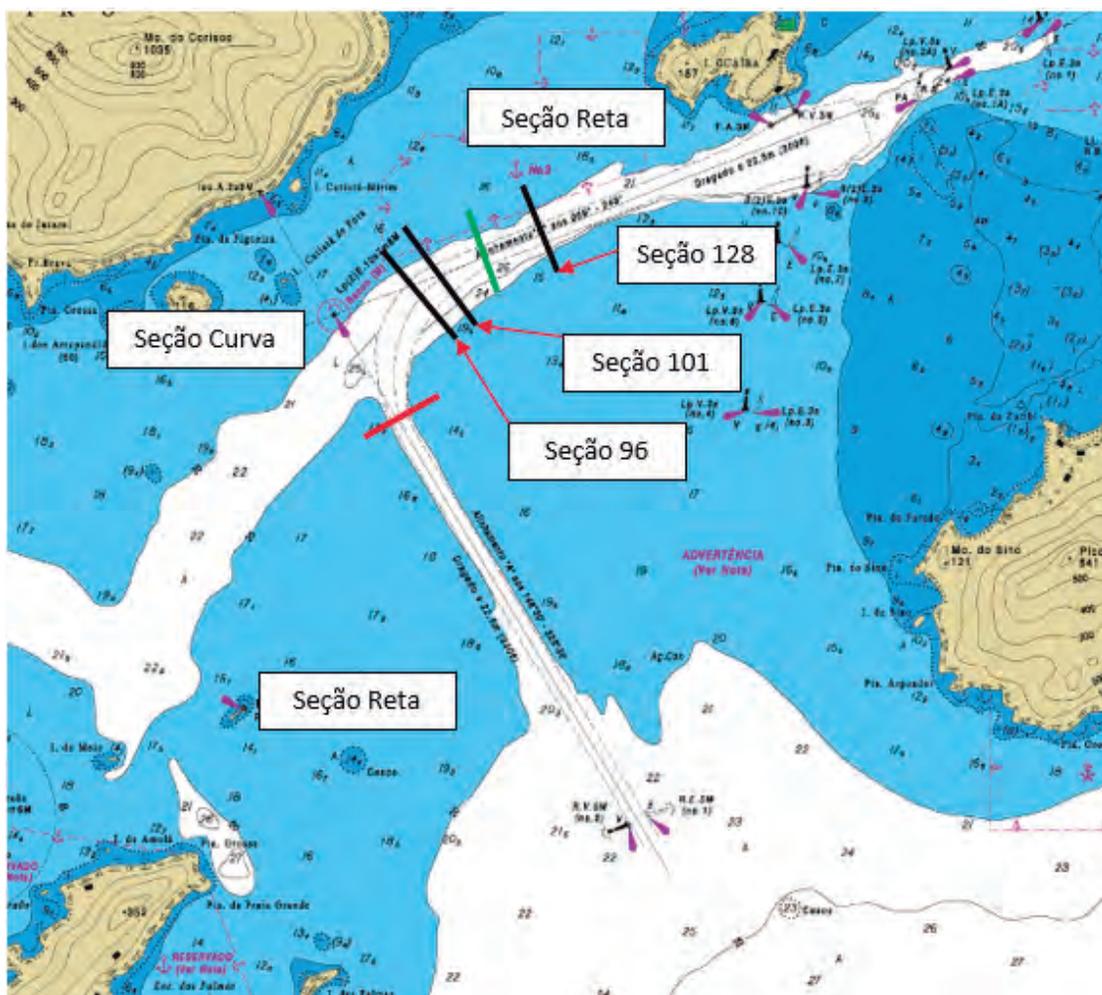


Figura 14 – Canal de entrada ao Terminal da Ilha Guaíba com as seções críticas 96, 101 e 128 e suas posições identificadas. As seções em vermelho e preto compreendem a seção curva do canal.

Para estas seções, são exibidos os resultados dos riscos calculados de ocorrência de um ou mais acidentes no canal de entrada para o tempo considerado de 25 anos para cada combinação de condição ambiental na Tabela 6, e os riscos de maior relevância, organizados em ordem na Tabela 7.

Tabela 6 – Riscos associados às Seções Críticas ao longo do canal, excluindo-se a Seção.

Seção (X 100 m)	AA	AB	AC	BA	BB	BC	CA	CB	CC
96	$1,47 \times 10^{-03}$	$2,97 \times 10^{-05}$	$2,47 \times 10^{-10}$	$6,91 \times 10^{-05}$	$4,62 \times 10^{-05}$	0	$3,41 \times 10^{-05}$	$2,24 \times 10^{-06}$	$2,30 \times 10^{-09}$
101	$2,47 \times 10^{-03}$	$3,68 \times 10^{-06}$	$1,40 \times 10^{-14}$	$8,13 \times 10^{-05}$	$5,82 \times 10^{-06}$	0	$6,38 \times 10^{-04}$	$1,20 \times 10^{-06}$	$2,73 \times 10^{-11}$
128	$5,93 \times 10^{-03}$	$5,57 \times 10^{-04}$	$2,94 \times 10^{-05}$	$1,17 \times 10^{-03}$	$1,16 \times 10^{-02}$	0	$5,12 \times 10^{-04}$	$2,81 \times 10^{-03}$	$1,98 \times 10^{-03}$



Tabela 7 – Classificação em função do risco obtido nas Seções 96, 101 e 128.

Classificação	Grau de Risco	Seção	Categoria Ambiental
1	$1,16 \times 10^{-02}$	128	BB
2	$5,93 \times 10^{-03}$	128	AA
3	$2,81 \times 10^{-03}$	128	CB
4	$2,47 \times 10^{-03}$	101	AA
5	$1,98 \times 10^{-03}$	128	CC
6	$1,47 \times 10^{-03}$	96	AA
7	$6,38 \times 10^{-04}$	101	CA
8	$5,57 \times 10^{-04}$	128	AB
9	$5,12 \times 10^{-04}$	128	CA
10	$8,13 \times 10^{-05}$	101	BA

#### 4. CONCLUSÃO

Através da metodologia aplicada, foi possível verificar, por trecho do canal, o impacto das condições ambientais e a segurança da navegação ao longo de um período estimado de duração do projeto. Desta forma, ela apresentou uma sequência de informações a serem obtidas e procedimentos considerados na elaboração de testes de segurança de navegação

utilizando simuladores, a fim de possibilitar uma análise mais abrangente, proporcionando economia de recursos, tempo e a possibilidade de avaliação a cada trecho do canal de navegação.

A metodologia, desta forma, contribuiu para a segurança marítima dos canais de navegação ao permitir uma análise probabilística a partir da combinação dos fatores ambientais empregando simuladores no modo *fast-time*.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAGANÇA, G. D. L. *Desenvolvimento de simuladores nacionais de navegação marítima: uma questão de autonomia tecnológica e de Defesa Nacional*. Rio de Janeiro: EGN, 2017.
- BRIGGS, M. J.; BORGMAN, L. E.; BRATTELAND, E. *Probability assessment for deep-draft navigation channel design*. *Coastal engineering*, v. 48, n. 1, pp. 29-50, 2003.
- FERREIRA, A. P. P. L. *Utilização do Simulador de Navegação na formação acadêmica e profissional*. Rio de Janeiro: Escola Naval, 2017.
- FOSSEN, T. I *et al*. *Guidance and control of ocean vehicles*, v. 199. New York (USA): Wiley, 1994.
- GOMES, A. P. S. S. *Um procedimento para avaliação da viabilidade técnica quanto à navegação em canais de acesso aos portos brasileiros*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2015.



GUCMA, L. *The method of average navigation risk assessment with consideration of inequality of ship's accident probability along the waterway. WIT Transactions on Ecology and the Environment*, v. 45, 2000.

GUCMA, L.; GRALAK, R.; ARTYSZUK, J. *et al. Applying simulation studies to define further development of the approach channel to Ystad. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie*, 2018.

IALA. *Guideline 1058 - The use of simulation as a tool for waterway design and Aton planning*. 2011. Disponível em: <<https://www.iala-aism.org/>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2018.

LATAIRE, E.; VANTORRE, M.; CANDRIES, M. *et al. Systematic techniques for fairway evaluation based on ship maneuvering simulations. InC World Congress*, pp. 1-13, 2018.: 34th PIAN

PIANC Report No. 121 – 2014. *Harbour Approach Channels - Design Guidelines*. ISBN: 978-2-87223-210-9.

QUY, N.; VRIJLING, J.; VAN GELDER, P. Risk- and Simulation-Based Optimization of Channel Depths: Entrance Channel of Cam Pha Coal Port. *Simulation*, v. 84, n. 1, pp. 41-55, 2008.

SAVENIJE, R. Probabilistic admittance policy deep draught vessels. *Permanent International Association of Navigation Congresses Bulletin*, pp. 25-38, Brussels (Belgium), 1996.

THE UNITED STATES OF AMERICA. *National Centers for Environmental Prediction (NCEP)*. Disponível em: <<https://www.weather.gov/ncep/>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2018.

XU, J.; ZHAO, J.; ZHANG, L. *et al. Safety Assessment of Navigation Based on Ship Handling Simulator. In: 2019. 5th International Conference on Transportation Information and Safety (ICTIS)*, pp. 92-98. IEEE, 2019.





# CARACTERIZAÇÃO DOS EVENTOS DE RESSURGÊNCIA EM CABO FRIO POR MEIO DOS DADOS DE UMA BOIA METEOCEANOGRÁFICA DO PROGRAMA NACIONAL DE BOIAS (PNBOIA): MARÇO DE 2012 A FEVEREIRO DE 2013

*Autores: Alexandre Luiz Coelho<sup>1</sup>  
Thaise Sena Oliveira<sup>2</sup>  
Juliana Marques Coelho Borba<sup>3</sup>  
Thalita Mirian Santos Furtado<sup>4</sup>  
Eduardo José Araújo Correia Lima<sup>5</sup>  
Hélio Jorge da Paixão Marques<sup>6</sup>*

## RESUMO

Por meio da análise temporal dos dados de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) obtidos pela boia "Cabo Frio" do PNBOIA, localizada em frente a Arraial do Cabo, a 3 km da costa, dos dados de ventos do modelo ERA5 (reanálise) e da identificação de períodos em que a TSM esteve igual ou inferior a 18°C, foi possível caracterizar 16 eventos de ressurgência costeira. A maioria destes eventos ocorreu na primavera (5)

e no verão (6). As direções dos ventos que induziram estes eventos foram predominantemente de nordeste (35° - 65°), com uma frequência de 43%. Sob a influência destes ventos de nordeste, o maior tempo decorrido para que a TSM resfriasse até 18°C foi de 87 h, no inverno, provavelmente porque quando o vento entrou no primeiro quadrante a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) estava mais distante da costa e em regiões mais profundas. Na primavera e no verão, por outro lado, estes tempos

<sup>1</sup> Professor Titular do CIAARA. Oceanógrafo pela UERJ. Mestre e Doutor em Oceanografia Física pelo Instituto Oceanográfico da USP (IOUSP).

<sup>2</sup> Oceanógrafa pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Mestre em Oceanografia Geológica pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

<sup>3</sup> Oceanógrafa pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Mestre em Oceanografia Física pela UFMA.

<sup>4</sup> Oceanógrafa pela UFMA. Pós-graduanda em Meteorologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

<sup>5</sup> Diretor de Projetos de Mar Aberto da Empresa Junior de Oceanografia da UFPE. Graduando em Oceanografia pela UFPE (9° período).

<sup>6</sup> Estagiário do Laboratório de Oceanografia Física da UERJ. Graduando em Oceanografia pela UERJ (6° período).



de resposta foram menores. A média sazonal da TSM variou inversamente com a frequência, a duração e intensidade térmica dos eventos, sendo mínima na primavera, quando ocorreram os eventos mais longos e frios. O transporte de Ekman foi para sudeste, sendo as componentes meridionais (*offshore*) maiores do que as componentes zonais. Durante os eventos de ressurgência, com a intensificação do vento, houve uma consequente intensificação do transporte de Ekman e da camada de Ekman, com resfriamento da TSM. Durante dez eventos de ressurgência, a camada de Ekman ocupou toda a coluna d'água, indicando o preenchimento desta pela ACAS. A partir desta análise, é possível observar que a intensidade térmica dos eventos de ressurgência depende da duração do vento, da posição em que a ACAS se encontra na plataforma continental quando o vento entra no primeiro quadrante e do percentual de massa que a ACAS apresenta nesta posição.

#### Palavras-chave:

TSM; Ressurgência costeira; ACAS, Transporte de Ekman; Camada de Ekman, Percentual de massa d'água.

#### ABSTRACT

By the analysis of Sea Surface Temperature (SST) obtained from the "Cabo Frio" buoy of PNBOIA, located in front of Arraial do Cabo, 3 km *offshore*; of winds' data from the model ERA5 (reanalysis); and of the identification of periods in which the SST had been equal or below 18°C, it was possible to characterize 16 coastal upwelling events. most of these events had occurred spring (5) and in the summer (6). The directions of the winds which induced these events were predominantly Northeast (35° to 65°), with a 43% frequency. Under

the influence of these NE winds, the longest period of time for the SST to cool down to 18°C was 87h, in winter, probably because when the wind reached in the first quadrant the South Atlantic Central Water (SACW) was distant from the coast and in deep waters. In spring and summer, on the other hand, the response times were shorter. The seasonal average of SST varied inversely with the frequency, the duration and the thermal intensity of the events, as minimal in spring, when the longest and coldest winds occurred. The Ekman Transport went southeast, being the meridional components (*offshore*) were bigger than the zonal components. During the upwelling events, as the winds intensified, a consequent intensification of the Ekman Transport and of the Ekman layer had occurred, with the SST cooling down. During 10 upwelling events, the Ekman layer occupied the entire water column, indicating to the filling of this one by the SACW. From this analysis, it is possible to observe that the thermal intensity of the upwelling events depends on the wind's duration, on the position in what SACW is in the continental shelf when the wind reaches in the first quadrant and on the mass percentage presented by the SACW in this position.

#### Keywords:

Sea Surface Temperature; Coastal upwelling; SACW; Ekman transport; Ekman layer; Water mass percentage.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 A Região de Estudo

A região de Arraial do Cabo (Figura 1) está localizada (23° 00'S e 42° 00'W) na costa leste do estado do Rio de Janeiro, sendo

parte da Plataforma Continental Sudeste (PCSE) que se estende desde Cabo Frio (23°S) até o Cabo de Santa Marta (28° 40' S), em Santa Catarina.

O alinhamento geral da costa brasileira do Rio Grande do Sul até Pernambuco ocorre no sentido Nordeste-Sudoeste, enquanto o litoral entre a cidade do Rio de Janeiro e Arraial do Cabo tem alinhamento Leste-Oeste (Muehe, 1979). É, também, o único trecho de costa com escala de comprimento da ordem de dezenas de quilômetros, voltada para o Sul (Torres Jr., 1995). A plataforma continental de Cabo Frio tem largura de 80 km, com intenso gradiente batimétrico próximo à costa, onde as isóbatas de 50 m e 100 m localizam-se a 5 km e 7-20 km da costa, respectivamente (Valentin & Kempf, 1977; Valentin *et al.*, 1987). Esse estreitamento da plataforma, a disposição da linha de costa, o gradiente abrupto de profundidade e o padrão de ventos NE/E de alta frequência e intensidade

são fatores essenciais que possibilitam a presença do fenômeno de ressurgência costeira, caracterizado pelo afloramento da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) próximo à costa (Rodrigues e Lorenzetti, 2001).

## 1.2 Estudos Anteriores

A “ressurgência” é um termo utilizado para designar o movimento ascendente de águas frias e ricas em nutrientes, oriundas de camadas inferiores do oceano, que fertilizam a zona eufótica e, assim, estimulam a produtividade primária (Torres Jr, 1995; Souza, 2006).

Devido à produtividade biológica elevada, as áreas de ressurgência costeira têm sido muito estudadas, principalmente, pela associação com estoques de peixes economicamente importantes (Souza, 2006). Nas margens lestes dos oceanos estão localizadas as principais áreas de ressurgência costeira, associadas às correntes

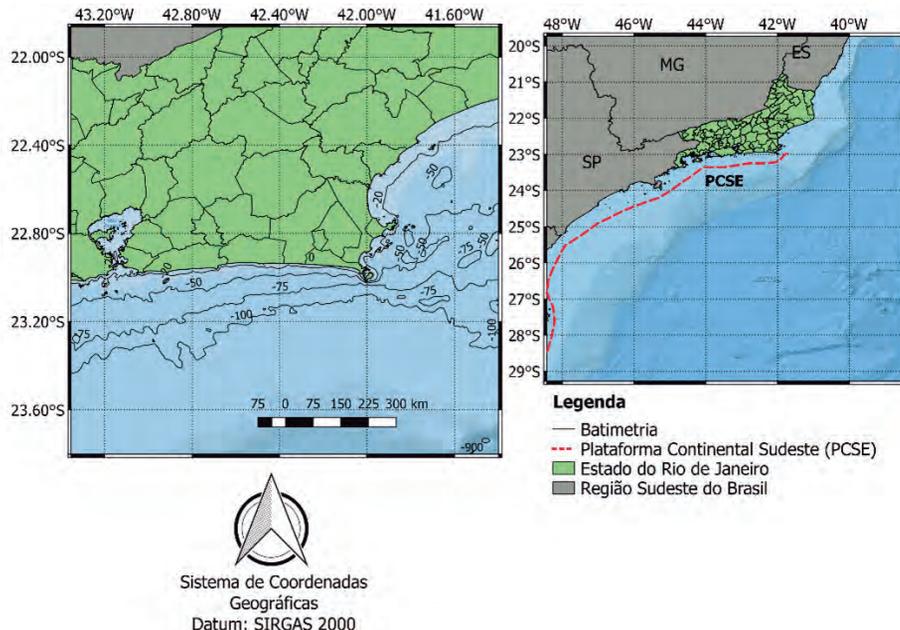


Figura 1 – Plataforma continental de Cabo Frio e sua localização na Plataforma Continental Sudeste (PCSE).



da Califórnia, do Peru e de Benguela (Mann e Lazier, 1991). Além disso, a alteração da temperatura superficial da água pode provocar uma mudança no clima local, influenciando em processos atmosféricos como a brisa marítima (Gilliam *et al.*, 2004). Embora a ocorrência desse fenômeno se dê principalmente nas bordas leste dos oceanos, ele é registrado em alguns pontos da costa brasileira, sendo mais notável na região de Cabo Frio, localizada no Estado do Rio de Janeiro.

O estudo pioneiro sobre a ressurgência em Cabo Frio foi o de Allard (1955), que observou a forte correlação entre o vento e a temperatura superficial da água do mar, verificando uma diminuição da temperatura associada ao vento de Nordeste e uma elevação com o vento de Sudoeste.

Tanaka (1986) verificou que existe uma forte correlação entre a TSM, a direção do vento e sazonalidade da ressurgência. O autor, também, concluiu que a ressurgência ocorre com mais frequência na primavera e no verão. Posteriormente, outros trabalhos também identificaram esta maior frequência (Torres Jr, 1995; Ribeiro, 2010; Bertoldi, 2019).

É consenso entre diversos autores (Emilson, 1961; Ikeda *et al.*, 1974; Ikeda, 1976; Rodrigues, 1977; Gama de Almeida & Tanaka, 1981; Valentin *et al.*, 1987; Torres Jr, 1995; Castro, 1996; Castro & Miranda, 1998; Rezende, 2003; Elias, 2009; Passos, 2015; Castro *et al.*, 2015; Medeiros, 2020) que não há ressurgência costeira em Cabo Frio se não houver ventos de nordeste-leste forçando a circulação de plataforma.

De acordo com as teorias clássicas de ressurgência (Ekman, 1905; Defant, 1961) o afloramento de águas subsuperficiais se deve à divergência do transporte de Ekman perpendicular à costa associada com a componente paralela à costa do vento. Portanto,

a ressurgência costeira é induzida pelo vento, tendo o seu processo físico duas componentes: as divergências costeiras do transporte de Ekman impostas pela presença da costa e pelo rotacional da tensão de cisalhamento do vento. (Pond & Pickard, 1983). O transporte de Ekman é o volume de água que se desloca perpendicularmente ao vento devido à ação da força de Coriolis sobre a circulação gerada pela tensão de cisalhamento do vento. A divergência positiva do transporte de Ekman implica, por continuidade, na ascensão de águas frias oriundas das camadas de fundo (Ekman, 1905). Usualmente, faz-se a avaliação da divergência imposta pela costa calculando-se o transporte de Ekman diretamente a partir da tensão de cisalhamento do vento, enquanto a avaliação da influência do rotacional do vento é obtida pelo cálculo do bombeamento de Ekman (Pond & Pickard, 1983; Castelão & Barth, 2006). Estes últimos autores avaliaram os efeitos do transporte de Ekman e do bombeamento de Ekman na ressurgência em Cabo Frio e concluiu que, durante o verão, seus valores são altos e têm magnitudes similares.

A estrutura termohalina da plataforma continental de Cabo Frio, da mesma forma que em toda a PCSE, é definida pela mistura de três massas de água: a Água Costeira (AC), caracterizada pelas baixas salinidades ( $S < 35$ ); a ACAS com temperaturas inferiores a  $18^{\circ}\text{C}$  e salinidades menores que 36; e a Água Tropical (AT), caracterizada pelas altas salinidades superiores a 36 (Castro *et al.*, 2015).

A AT e a ACAS são transportadas pela Corrente do Brasil (CB) e situam-se quase permanentemente na parte mais externa da plataforma continental em continuidade à estrutura existente no talude continental (Emilson, 1961; Miranda, 1982). A AT ocupa a camada superficial (0-150 m) e a ACAS situa-se na termoclina permanente entre 150



e 600 m (Silveira *et al.*, 2015). O grau de intrusão em direção à costa destas duas massas de água, juntamente com a extensão e características físicas da AC, determina o volume de cada uma destas massas de água na plataforma continental, definindo o formato das isopicnais (Castro *et al.*, 2015).

Na PCSE, durante os eventos de ressurgência, o transporte de Ekman afasta a Água Costeira (AC) em direção ao largo, implicando intrusão da ACAS pela camada de fundo com seu consequente afloramento (Castro *et al.*, 2015).

A ressurgência costeira em Cabo Frio é um processo que não depende somente do vento com direções de Nordeste a Leste, mas também da disponibilidade e intensidade da ACAS na plataforma continental (Torres Jr, 1995; Coelho, 1997; Coelho, 2010; Castro *et al.*, 2015; Passos, 2015; Medeiros, 2019). Esta disponibilidade da ACAS refere-se à posição em que esta massa de água se encontra na plataforma continental, variando em escala sazonal e sinótica (Coelho, 2010; Castro *et al.*, 2015). Quanto mais próxima da costa e mais rasa a ACAS estiver, mais rapidamente o seu afloramento ocorrerá (Torres Jr, 1995). Já a intensidade da ACAS, decorrente, principalmente, de quão fria a água está, pode ser avaliada pelo cálculo do percentual que esta massa de água possui em relação ao seu índice termohalino, que é um par (S,T) representando suas características termohalinas na borda da PCSE e determinado a partir do triângulo de mistura (Castro *et al.*, 2015).

Amor (2004) concluiu que a intrusão da ACAS na plataforma continental em escala sazonal, está associada a oscilações sobre o oceano, na mesma escala, da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Intrusões e afastamentos da ACAS também ocorrem em escala subinercial ou sinótica, de 2 a 20 dias (Coelho, 1997; Coelho, 2010; Castro *et al.*, 2015), associadas,

respectivamente, à duração do vento NE/E, favorável a ressurgência, e às passagens de frentes frias, que implicam ventos do terceiro quadrante geográfico. Portanto, dois sistemas meteorológicos influenciam o regime de ventos em Cabo Frio: o ASAS e os sistemas meteorológicos frontais.

O Anticiclone Semipermanente do Atlântico Sul (ASAS) é um sistema de alta pressão semipermanente produzido pela subsidência do ar quente e úmido equatorial que migra para os polos e está centrado próximo à latitude de 30° S. O ASAS é o principal responsável por gerar um vento dominante no quadrante NE em Cabo Frio, que está relacionado à migração deste sistema. O seu deslocamento longitudinal varia sazonalmente, estando mais a Leste nos meses de outubro e abril, e entre janeiro e março posicionando-se mais a oeste em julho e agosto (Machel *et al.*, 1998). A migração latitudinal varia conforme a posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que pressiona o anticiclone para uma posição mais ao sul durante o verão (dezembro, janeiro e fevereiro), sendo estes os meses em que há uma potencialização dos ventos NE. Por outro lado, durante o outono e o inverno o ASAS se localiza mais ao norte, as frentes frias são mais intensas e, conseqüentemente, os ventos dominantes de NE-E enfraquecem (Castro, 1996).

Durante a passagem de uma frente fria, os ventos de SW invertem a dinâmica de Ekman, com o transporte na camada de Ekman superficial ocorrendo em direção à costa, havendo o afastamento da ACAS pelo fundo (Candella, 1999; Amor, 2004; Coelho, 2008; Castro *et al.*, 2015; Bertoldi, 2019). No inverno, as frentes frias são mais intensas e o ASAS tende a estar mais ao norte, o que diminui a frequência de eventos de ressurgência. (Tanaka, 1986, Silva *et al.*, 2006; Ribeiro, 2010; Bertoldi, 2019)



Silva *et al.* (2006), analisando 11 anos de dados, denominaram o período em que a TSM fica igual ou inferior a 18°C como Tempo de Permanência da Ressurgência. Ao intervalo de tempo entre o instante no qual o vento entra no primeiro quadrante e o instante em que a TSM atinge 18°C, nomeou Tempo de Resposta. O período entre o instante em que o vento deixa o quadrante NE e o instante em que a TSM fica superior a 18°C foi denominado de Tempo de Volta. Com isto, o autor estabeleceu valores climatológicos para esses tempos, concluindo que, no verão os tempos de resposta são mínimos e os eventos de ressurgência são mais duradouros por causa dos ventos NE mais frequentes proporcionados pela posição mais ao sul do ASAS. Concluiu, também, que, no inverno, o fim da ressurgência ocorre mais rapidamente por causa da maior intensidade das frentes frias.

Ribeiro (2010) observou que os eventos de ressurgência são mais frequentes no verão e na primavera, variando inversamente com a média da TSM. Concluiu que esta frequência se deve à maior disponibilidade da ACAS nestas estações.

Em estudo recente, Bertoldi (2019), a partir dos dados de uma boia meteorológica, identificou 21 eventos de ressurgência no biênio julho/2013 – julho/2015, concluindo principalmente que: i) os eventos foram mais frequentes na primavera e verão devido ao posicionamento mais ao sul da ASAS; ii) a direção média do transporte de Ekman foi Sudeste (SE), em resposta ao efeito de Ekman associado aos ventos mais frequentes e intensos de Leste e Nordeste; iii) a componente meridional do transporte de Ekman foi mais intensa do que a componente zonal; iv) as variações das espessuras da camada de Ekman responderam às variações da intensidade do vento, sendo maiores quando os ventos eram mais intensos; e v) a TSM mínima foi 13,3°C em novembro de 2014.

## 2. OBJETIVOS DO TRABALHO

1. Identificar os eventos de ressurgência costeira que ocorreram em Cabo Frio entre março de 2012 e fevereiro de 2013, a partir da série temporal de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), de uma boia meteorológica do PNBOIA/CHM e das séries temporais de intensidade e direção do vento, obtidas com o modelo ERA5;

2. Calcular os tempos de resposta e de permanência para cada evento de ressurgência costeira identificado, bem como o intervalo de tempo entre o instante em que o vento deixa o quadrante NE e o instante em que a TSM fica maior que 18°C, caracterizando o fim do evento de ressurgência;

3. Relacionar os eventos de ressurgência costeira com a disponibilidade da ACAS na plataforma continental e com a duração dos ventos de Nordeste a Leste (NE/E); e

4. Determinar a série temporal do transporte de Ekman e da espessura da camada de Ekman, caracterizando suas variações durante o processo de ressurgência.

## 3. DADOS E MÉTODOS

### 3.1 Dados de Temperatura Superficial do Mar (TSM)

Os dados de Temperatura Superficial do Mar (TSM) para o período de março de 2012 a fevereiro de 2013 foram oriundos da boia meteorológica *Watchkeeper*. A boia *Watchkeeper* (Cabo Frio, antiga) foi implantada e operada pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), sendo uma atividade integrante do Programa Nacional de Boias (PNBOIA). Esteve fundeada a uma profundidade de 45 m, na coordenada (42° 06,00' W; 22° 58,80' S), a uma distância de 3 km da costa (Figura 2). Essa boia foi configurada para realização de um ciclo a cada hora,

iniciando na hora cheia. As variáveis ambientais (ondas, vento, correntes, temperatura do ar, temperatura da superfície do mar,

etc.) foram coletadas durante os primeiros 20 minutos, seguindo a configuração apresentada na Tabela 1.

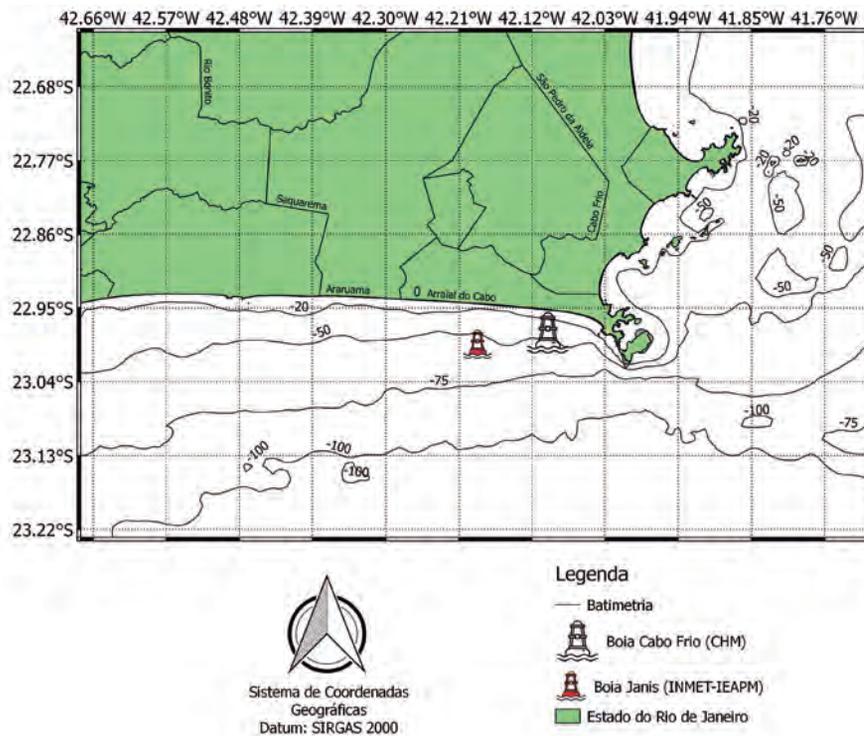


Figura 2 – Localização da boia Cabo Frio do CHM/PNBOIA e da boia Janis do IEAPM/INMET.

Tabela 1 – Configuração de coleta dos dados ambientais da boia *Watchkeeper* (Cabo Frio)

Configurações de coleta da Boia Cabo Frio antiga	
0 min	Verificação da posição pelo GPS
0 min a 5 min	Coleta de dados com o ADCP
0 min a 10 min	Coleta de dados meteorológicos, oceanográficos e de status da boia
0 min a 20 min	Coleta de dados de onda

### 3.2 Produto das Componentes Zonal e Meridional do Vento da Reanálise ERA5

Os produtos horários das componentes zonal e meridional do vento a 10 m para o ponto de fundeio da boia (Figura 1), no

período entre março de 2012 e fevereiro de 2013, foram oriundos da reanálise oceânica ERA5, com resolução horizontal de 0,25° em longitude, 0,25° latitude e 137 níveis verticais em coordenadas sigma (HERBACH, *et al.*, 2018). A reanálise ERA5 é um produto



implementado pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), que é desenvolvido pelo *Copernicus Climate Change Service* e produzido com assimilação de dados em quatro dimensões da atmosfera e superfície, por meio do Sistema de Previsão integrada do ECMWF. Esses produtos podem ser acessados no sítio de internet do ECMWF (2021).

A reanálise combina dados de modelo com dados observacionais de todo o mundo em um conjunto completo e consistente de dados globais. Este princípio, chamado assimilação de dados, baseia-se no método utilizado pelos centros numéricos de previsão do tempo, no qual a cada determinado período de tempo (12 horas no ECMWF), uma previsão anterior é combinada com observações recém-disponíveis de uma maneira otimizada para produzir uma nova e melhor estimativa do estado da atmosfera, a partir do qual uma previsão atualizada e melhorada é emitida (herbach *et al.*, 2018).

### 3.3 Cálculo das Direções do Vento

As direções dos ventos foram calculadas a partir das componentes zonais e meridionais do ERA5, do seguinte modo (Bluestein,1992):

$$DIR = \text{arcotangente} \left( \frac{U}{V} \right) \text{ Eq. 1}$$

Sendo:

DIR: direção do vento;  
U: componente zonal do vento a 10 m; e  
V: componente meridional do vento a 10 m.

Foram considerados os sinais de U e V na redução dos ângulos calculados aos quadrantes geográficos: 1º quadrante (NE): U e V negativos; 2º quadrante (SE): U < 0 e V > 0; 3º quadrante (SW): U e V positivos; e 4º quadrante (NW): U > 0 e V < 0.

### 3.4 Cálculo da Tensão de Cisalhamento do Vento

A tensão de cisalhamento do vento  $\tau$  é a força friccional resultante do vento atuando sobre a superfície do mar e pode ser expressa pelas seguintes equações (Kutsuwada, 1998):

$$\tau_x = \rho_{ar} \times C_D |W| \times U \text{ (componente zonal) Eq.2}$$

$$\tau_y = \rho_{ar} \times C_D |W| \times V \text{ (componente meridional) Eq.3}$$

Onde:

$\rho_{ar}$ : representa a densidade do ar (1,22 kg/m<sup>3</sup>);  
U e V representam as componentes zonal e meridional do vento a 10 m, respectivamente;  
W é a velocidade do vento em m.s<sup>-1</sup>; e

$C_D$  o coeficiente de arrasto, obtido pela equação descrita em Large e Yeager (2004):

$$C_D = 10^{-3} \left( \frac{2,7}{W} + 0,142 + \frac{W}{13,09} \right) \text{ Eq.4}$$

### 3.5 Cálculo da Espessura da Camada de Ekman

A espessura da Camada de Ekman foi calculada de acordo com Pond e Pickard (1983):

$$D_e = \frac{4,3 |W|}{\sqrt{\sin |\theta|}} \text{ Eq. 5}$$

Onde:

|W| : Intensidade ou módulo do vento; e  
 $\theta$  : latitude

### 3.6 Cálculo do Transporte de Ekman

O transporte de volume na camada de Ekman, perpendicular à tensão do vento aplicada à camada superficial da água, varia diretamente com essa tensão e inversamente com

o parâmetro de Coriolis e com a densidade da água do mar. É expresso em volume ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ) por unidade de distância (largura ou comprimento), tendo, portanto, unidades de  $m^2 \cdot s^{-1}$ .

O transporte zonal é calculado em função da componente meridional do vento, e o transporte meridional é função da componente zonal do vento, sendo calculados conforme Pond e Pickard (1983):

$$M_x = \frac{\tau_y}{\rho f} (\text{transporte de volume zonal}) \text{ Eq. 6}$$

$$M_y = \frac{-\tau_x}{\rho f} (\text{transporte de volume meridional}) \text{ Eq. 7}$$

Onde:

M: representa o transporte de Ekman;

$\chi$ : direção Leste-Oeste (componente zonal);

$\gamma$ : direção Norte-Sul (componente meridional);

$\rho$ : é a densidade da água do mar. Foi utilizado o valor de  $1.025 \text{ kg m}^{-3}$ , representando um valor médio para águas costeiras;

$F$ : é o parâmetro de Coriolis definido como  $f_0 = 2\Omega \sin(\theta_0)$ , considerando o plano  $f$ , isto é, que as distâncias meridionais na plataforma continental de Cabo Frio são pequenas o suficiente para considerar  $f$  constante;

$\Omega$ : (velocidade angular da Terra) =  $7,29 \times 10^{-5} s^{-1}$ ; e

$\theta_0$  é a latitude.

### 3.7 Cálculo dos Tempos de Resposta, de Permanência e de Término da Ressurgência.

Na Figura 3, estão apresentados os instantes considerados para a determinação dos Tempos de Permanência, de Resposta e de Término da Ressurgência costeira (SILVA *et al.*, 2006). O Tempo de Resposta inicia-se no instante em que o vento adquire uma postura permanente no 1º Quadrante, ou seja, no Quadrante de Nordeste (QNE), indicado no gráfico por  $V_i$ . O vento atua regularmente sobre a superfície do mar, fazendo com que a água superficial se desloque em direção ao largo, dando espaço para que a água de fundo, mais fria, chegue à superfície. O instante  $T_i$  é o instante em que a TSM atinge  $18^\circ C$ . Assim, o tempo de resposta ( $t_r$ ) da ressurgência é calculado como a diferença entre o instante em que o vento inicia a permanência no Quadrante Nordeste e o instante em que a temperatura da superfície do mar atinge  $18^\circ C$ , conforme Silva *et al* (2006):

$$t_r = (T_i - V_i) \text{ Eq.8}$$

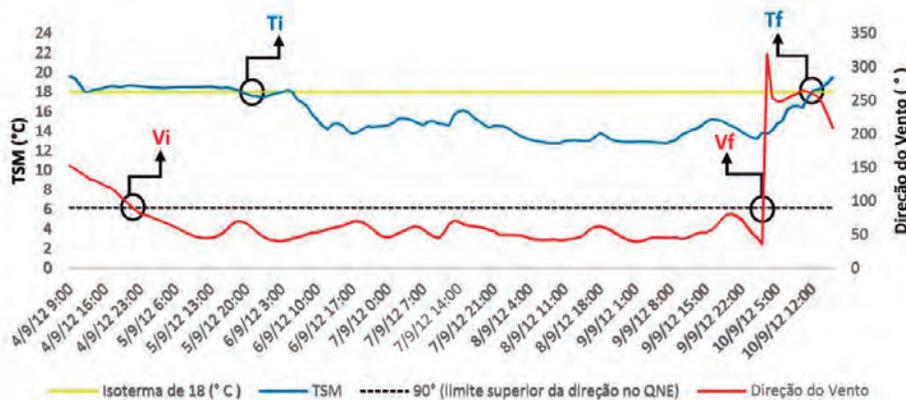


Figura 3 – Séries temporais de direção do vento e TSM e com os instantes utilizados para o cálculo dos tempos de resposta, de permanência de volta da ressurgência costeira.  $V_i$  é o instante em que o vento adquire uma direção permanente no primeiro quadrante (QNE);  $T_i$  é o instante em que a TSM atinge  $18^\circ C$ ;  $V_f$  é o instante em que o vento deixa o primeiro quadrante; e  $T_f$  é o instante em que a TSM fica maior que  $18^\circ C$ .



De acordo com Silva *et al.*, 2006, para que o evento seja considerado ressurgência, a temperatura superficial da água deve permanecer com 18 °C ou inferior por, pelo menos, dois dias no verão e na primavera. Caso seja inverno, a temperatura deve se manter abaixo dos 18 °C por, pelo menos, quatro dias.

O Tempo de Permanência ( $t_p$ ) da ressurgência é o intervalo de tempo entre os instantes  $T_i$  e  $T_f$ , de acordo com Silva *et al.* (2006).

$$t_p = T_f - T_i \text{ Eq.9}$$

O Tempo de Volta ( $t_v$ ) é definido pela diferença entre o instante em que o vento sai do quadrante NE ( $V_f$ ) e o instante em

que a temperatura atinge valor superior à 18°C, conforme Silva *et al.* (2006):

$$t_v = (T_f - V_f) \text{ Eq.10}$$

Neste trabalho, o termo Tempo de Volta é designado por Tempo de Fim da Ressurgência ( $t_f$ ).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observa-se na Figura 4 que os eventos de ressurgência, isto é, os períodos em que a TSM ficou igual ou abaixo de 18 °C, ocorreram com maior frequência entre setembro e fevereiro, portanto, durante a primavera e o verão.

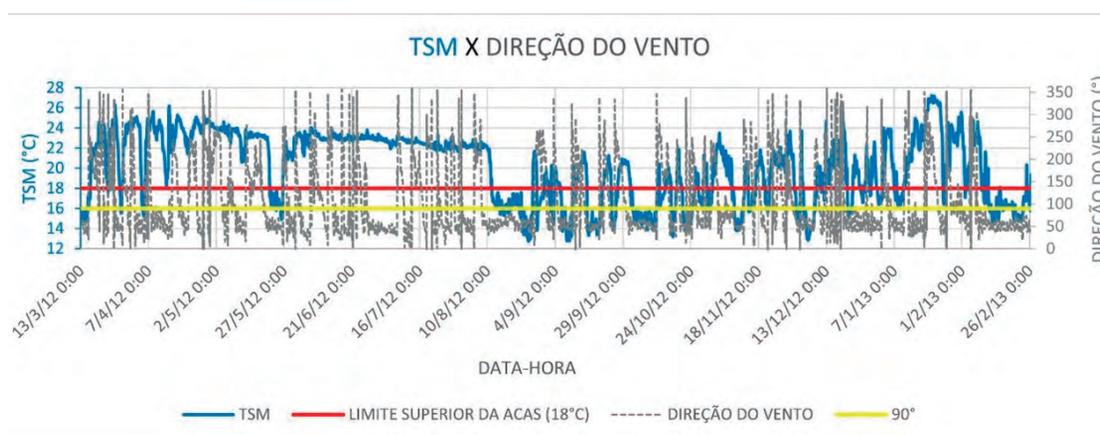


Figura 4 – TSM e direção do vento entre março de 2012 e fevereiro de 2013. A linha azul representa a TSM; a linha tracejada, a direção do vento; a linha vermelha o limite térmico superior da ACAS de 18°C; e a linha amarela, indica o limite superior da direção no primeiro quadrante geográfico (90°).

Entretanto, também houve a ocorrência de ressurgência tanto no outono quanto no inverno.

Na Figura 5, estão apresentados dois histogramas direcionais do vento (rosas do vento) para todo o período analisado. Na Figura 5a, ressalta-se a ocorrência de 59% das direções dos ventos entre 30° e 90°, enquanto na Figura 5b vê-se que 43% das direções encontram-se centrados entre 40° e 60°. A classe onde as direções são mais frequentes

está centrada em 40° com 17% de frequência, a segunda classe mais frequente está centrada em 50° (15%) e a terceira em 60° (11%). Assim, pode-se afirmar que os ventos entre 35° e 65° são os mais frequentes, implicando transportes de Ekman entre 125° e 155°, no quadrante sudeste e centrados em 140°. Tais ocorrências mostram que o vento NE/E (45°- 90°) foi o mais frequente no período estudado, justificando a frequência da

ressurgência costeira. A direção média anual obtida através do arco tangente da razão entre as médias anuais das componentes zonais (-3,18) e meridionais (-1,69) do vento

foi 62°. Esta direção ocorre na terceira classe mais frequente, estando, portanto, a média próxima da moda.

Na Tabela 2, estão apresentadas

### HISTOGRAMA DIRECIONAL DOS VENTOS MARÇO/2012 A FEVEREIRO/2013

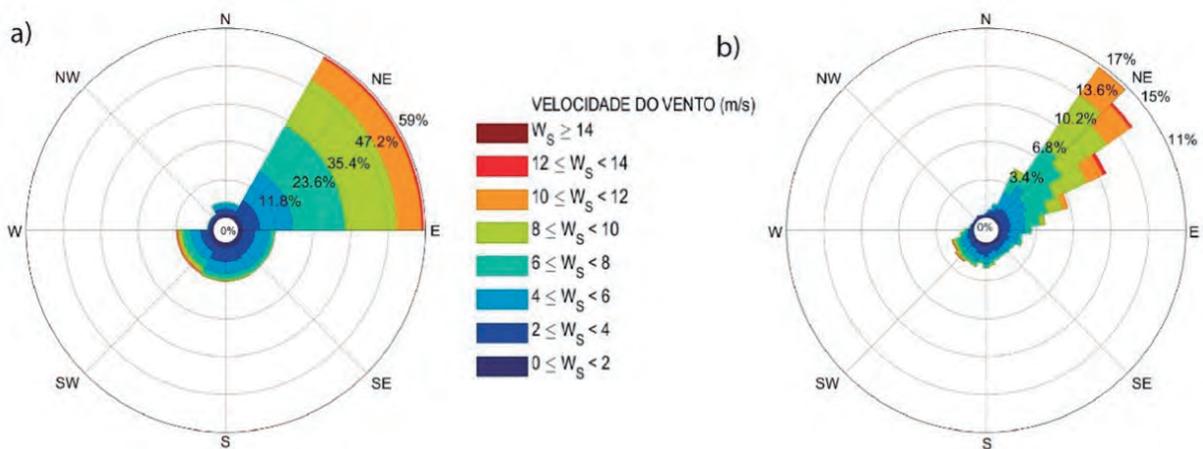


Figura 5 – Histograma direcional dos ventos para o período entre março/2012 e fevereiro/2013. a) 6 classes de largura 60° [330° – 30°; 30°-90°; 90°-150°; 150°-210°; 210°-270°; 270°-330°]; b) 36 classes de largura 10°, sendo as três maiores frequências: 17% (35°-45°); 15% (45°-55°) e 11% (55°-65°).

estatísticas da TSM deste trabalho (Boia Cabo Frio) e comparadas às de Bertoldi (2019), obtidas com os dados da boia "Janis", do INMET (Figura 2). As diferenças de quase 1°C entre as temperaturas superficiais médias (0,87°C) e entre os valores máximos (2,69°C) podem estar associadas aos períodos diferentes das séries (1 e 2 anos). O fato da boia do CHM ter sido posicionada em uma região mais rasa pode explicar a diferença entre os valores mínimos (0,57 °C). Pode-se observar na Figura 6, que é uma seção transversal em frente ao Cabo Frio, obtida por Rezende (2003) durante um processo de ressurgência costeira, que em locais mais próximos da costa, a TSM

está mais fria devido à ascensão da termoclina. Portanto, à medida que a ressurgência se intensifica, a TSM pode ficar mais fria em locais mais rasos próximos da costa, com as isotermas de menores valores interceptando a superfície em locais com profundidades menores. Assim, a diferença de 15 m entre as profundidades das boias é significativa para os eventos de ressurgência, uma vez que a água que se encontra em subsuperfície na região mais profunda pode estar em superfície na região mais rasa. Castro *et al.* (2015), analisando seções transversais em Cabo Frio, também observaram as mínimas de temperaturas superficiais na região mais costeira.

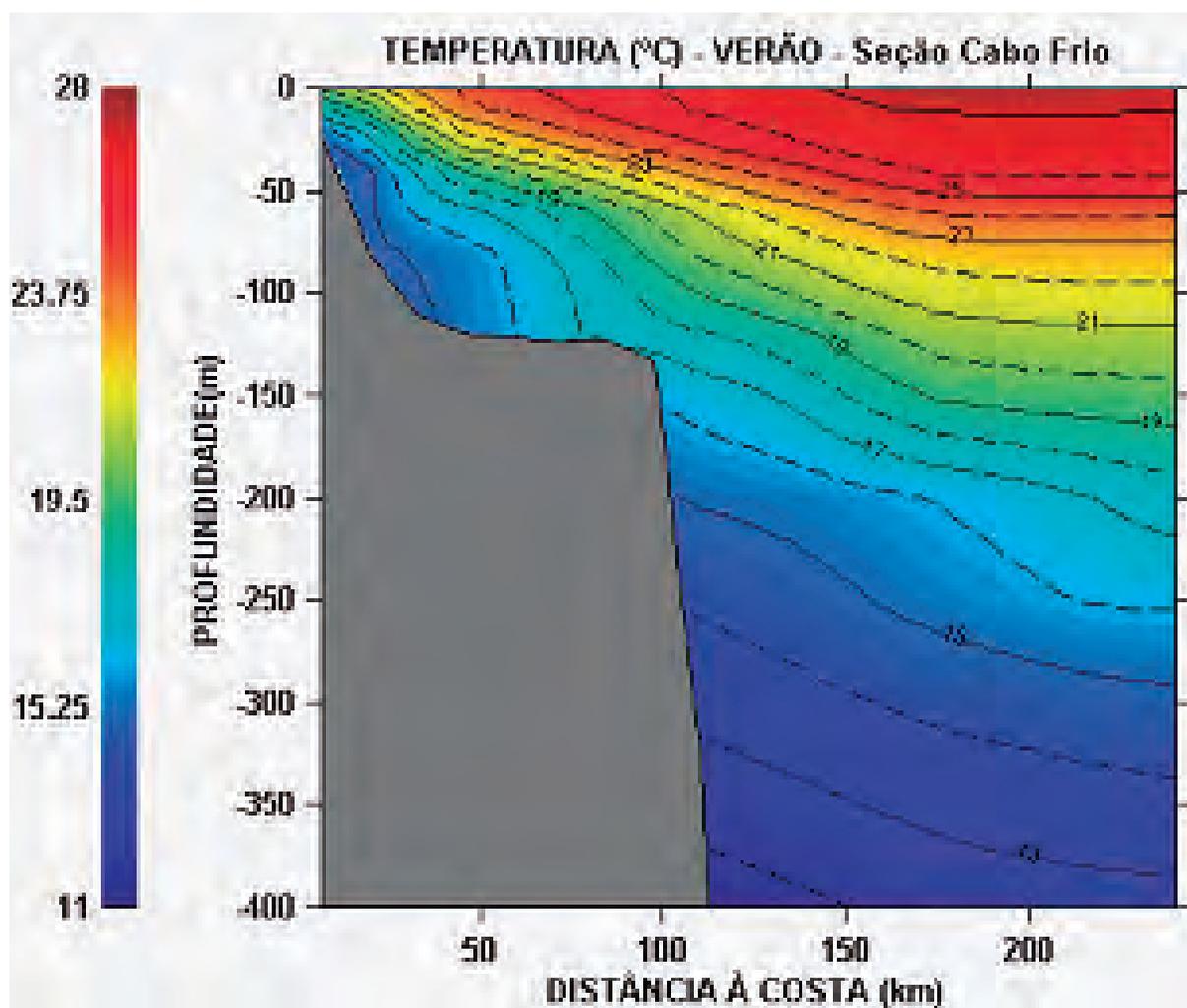


Figura 6 – Seção transversal de temperatura em frente ao Cabo Frio (Fonte: Rezende, 2003)

Tabela 2 – Máximos, mínimos e médias da TSM: Boia "Cabo Frio a" (presente trabalho - de março de 2012 a fevereiro de 2013); – Boia "Janis" ( Bertoldi (2019) - de julho de 2013e a julho de 2015).

BOIA	PROF. LOCAL (m)	TSM MÍNIMA (°C)	TSM MÁXIMA (°C)	MÉDIA	DESVIO-PADRÃO
Boia Cabo Frio antiga	45	12,74	27,22	20,16	3,36
Boia Janis	60	13,31	29,91	21,03	2,77



#### 4.1 Tempos de resposta, de permanência e de fim da ressurgência

São apresentados na Tabela 3 os tempos de permanência, de resposta e de término da ressurgência costeira. O tempo de resposta é o tempo decorrido para que a temperatura superficial atinja 18°C, após o vento ter entrado no primeiro quadrante; o tempo de permanência refere-se ao período em que a TSM ficou igual ou inferior a 18°C; e o tempo de término é o tempo necessário para que a temperatura fique superior a 18°C após o vento ter saído do primeiro quadrante. Onde lê-se "ND", significa que a resposta da água à mudança da direção do vento não pode ser determinada conforme o método de Silva *et al.* (2006). Diferentemente deste autor, optou-se por não utilizar o tempo médio, por haver poucas amostras ou apenas uma amostra em cada mês.

Observa-se que os maiores tempos de resposta ocorreram tanto no verão (83 h e 92 h) quanto no inverno, em agosto de

2012 (87 h), enquanto os menores valores ocorreram na primavera. Com exceção desses dois tempos do verão, os resultados são semelhantes aos de Silva *et al.* (2006). Estes autores, entretanto, obtiveram uma média para a primavera (~ 44 h) que é cerca de o dobro dos valores do presente trabalho. Tal diferença pode ser porque o valor de Silva *et al.* (2006) é uma média e, assim, pode haver um evento em que a ACAS esteja mais próxima da costa e em níveis mais rasos e demande menos tempo para alcançar a superfície. Na PCSE, este modo de posicionamento da ACAS já foi evidenciado por diversos autores durante o verão e a primavera (Castro *et al.*, 1996; Coelho, 1997; Castro & Miranda, 1998; Rezende, 2003; Castro *et al.*, 2015; Medeiros, 2020), e até no inverno (Medeiros, 2020). Por outro lado, os tempos de resposta são maiores no inverno pelo fato da ACAS usualmente estar mais afastada da costa e mais profunda (Coelho, 2007), demandando, desse modo, mais tempo para ressurgir em superfície.

Tabela 3 – Identificação de cada evento de ressurgência conforme a estação, mês, data, hora, tempo de resposta ( $t_r$ ), tempos de permanência ( $t_p$ ) e tempos de fim da ressurgência ( $t_f$ ). "ND" significa que os tempos não puderam ser determinados conforme o método de Silva *et al.* (2006).

EVENTOS DE RESSURGÊNCIA EM CABO FRIO-RJ									
ESTAÇÃO	Nº DE EVENTOS	MÊS	DATA - HORA				HORAS		
							$t_r$	$t_p$	$t_f$
VERÃO	6	MARÇO	13/03/2012	15:00:00	16/03/2021	15:00:00	ND	72	15
		DEZEMBRO	20/12/2012	18:00:00	22/12/2012	16:00:00	22	49	ND
		DEZEMBRO	25/12/2012	08:00:00	27/12/2012	05:00:00	26	45	ND
		DEZEMBRO	31/12/2012	14:00:00	02/01/2013	13:00:00	83	47	4
		JANEIRO	08/01/2013	01:00:00	10/01/2013	14:00:00	72	62	4
		FEVEREIRO	10/02/2013	19:00:00	26/02/2013	12:00:00	92	393	ND
OUTONO	2	ABRIL	04/04/2012	12:00:00	06/04/2012	00:00:00	63	37	9
		MAIO	21/05/2012	18:00:00	26/05/2012	14:00:00	39	117	ND
INVERNO	3	AGOSTO	11/08/2012	08:00:00	26/08/2012	17:00:00	87	369	23
		SETEMBRO	06/09/2012	06:00:00	10/09/2012	11:00:00	32	102	9
		SETEMBRO	15/09/2012	18:00:00	21/09/2012	06:00:00	22	133	15
PRIMAVERA	5	SETEMBRO	24/09/2012	17:00:00	27/09/2012	01:00:00	15	57	26
		OUTUBRO	01/10/2012	21:00:00	11/10/2012	14:00:00	21	233	6
		OUTUBRO	20/10/2012	18:00:00	25/10/2012	11:00:00	19	113	26
		NOVEMBRO	08/11/2012	05:00:00	12/11/2012	20:00:00	30	111	7
		DEZEMBRO	01/12/2012	05:00:00	09/12/2012	10:00:00	7	197	21



O tempo de permanência máximo (393 h), cerca de 16 dias, ocorreu no verão, em fevereiro de 2013, havendo um pico secundário de 233 h em outubro, na primavera. O tempo mínimo de permanência (37 h) ocorreu em abril. Esses resultados concordam qualitativamente com Silva *et al.* (2006), sendo as diferenças quantitativas devidas ao fato dos tempos do presente trabalho não serem médias. Silva *et al.* (2006) obtiveram tempos de permanência médios entre 90 h e 200 h, exceto em abril, maio e junho (60 h). Com os dados da boia do CHM, além de observar-se o mínimo em abril, não se registraram eventos de ressurgência em junho. Entretanto, em maio ocorreu um evento cuja duração foi praticamente o dobro (117 h) do valor climatológico de Silva *et al.* (2006). Dos dezesseis eventos registrados no presente trabalho, cinco apresentaram duração inferior a 60 h, porém foram eventos relativamente curtos de final de primavera e verão. Nos demais eventos, os tempos de permanência estiveram entre 60 e 400 horas.

Destaca-se o fato de a ressurgência ter durado 362 horas (~15 d) no inverno, em agosto. Silva *et al.* (2006) também registraram a ocorrência de ressurgência em agosto, porém com um tempo médio inferior ao deste trabalho (~100 h). Tanto esse valor quanto o máximo do verão estão associados com a prevalência dos ventos de nordeste. A análise comparativa da TSM com a direção do vento (Figura 4), bem como a análise das rosas de vento (Figura 5), indicam a ocorrência das temperaturas iguais ou inferiores a 18°C concomitantemente com o vento no primeiro quadrante, principalmente entre 40° e 60°, o que justifica o fenômeno da ressurgência costeira. Também pode ser afirmado que quanto maior for a duração destes ventos do primeiro quadrante, maior será o tempo de permanência.

Os maiores tempos climatológicos de permanência são encontrados no verão

e na primavera, estando associados a uma influência mais intensa do ASAS nesses períodos, quando se encontra mais ao sul e proporcionando os ventos NE (SILVA *et al.*, 2006). Entretanto, no presente trabalho foram encontrados tempos de permanência relativamente altos também no outono (maio/2012) e no inverno. O evento duradouro de agosto/2012, observado entre 11/08 e 26/08, está associado a um período em que não houve passagem de sistemas frontais pela região, conforme observado nas cartas sinóticas do CHM, de modo que também prevaleceu o vento NE. A região de Cabo Frio está localizada na área *Charlie* (C) da carta sinótica. Nesse mês, foi verificada a passagem de frentes frias por essa região nos dias 01, 05 e 06. Após esse período, os sistemas frontais que se formaram não atingiram a área C, mas deslocavam-se antes para oeste. desse modo, somente nos dias 26 e 27 houve a passagem de uma frente fria deslocando-se de SW para NE, até a metade dessa área, em frente a Santos, de onde se deslocou posteriormente para leste em direção ao largo (Figuras 7a e 7b). Essa aproximação da frente pode ter inibido o processo de ressurgência costeira.

O evento de verão com a duração máxima de 393 horas, entre 10/02/2013 e 26/02/2013, foi semelhante ao de inverno, sendo inibido pela frente fria que passou por toda área C entre 26/02 e 27/02 (Figura 7c e 7d).

A análise das cartas sinóticas de todo o período deste trabalho revela a influência do ASAS durante os períodos de ventos NE/E, com as passagens das frentes frias usualmente interrompendo estes ventos sobre a plataforma continental e fazendo o vento rondar anticiclonicamente para SW, o que inverte a dinâmica de Ekman e inibe o processo de ressurgência costeira. O fato de as frentes frias serem mais frequentes no inverno justifica a baixa frequência de eventos de ressurgência

nessa estação. Isto faz com que a ACAS esteja mais afastada da costa no inverno. Houve também alguns episódios em que o vento entrou no primeiro quadrante e a TSM iniciou uma queda, mas não tingiu os valores iguais ou inferiores a 18°C, como, por exemplo, em abril de 2012.

Os tempos de fim da ressurgência foram inferiores a 28 horas. De acordo com Silva

*et al.* (2010), os menores valores devem ser encontrados no inverno devido às frentes frias serem mais intensas e ao ASAS estar posicionado mais ao norte. Os resultados presentes não foram mínimos no inverno, mas, sim, em dois eventos de verão (4 h) e um de primavera (7 h). Entretanto, os valores de inverno (9 - 23 h) estiveram nas médias entre junho e agosto (10 - 30 h), segundo Silva *et al.* (2006)

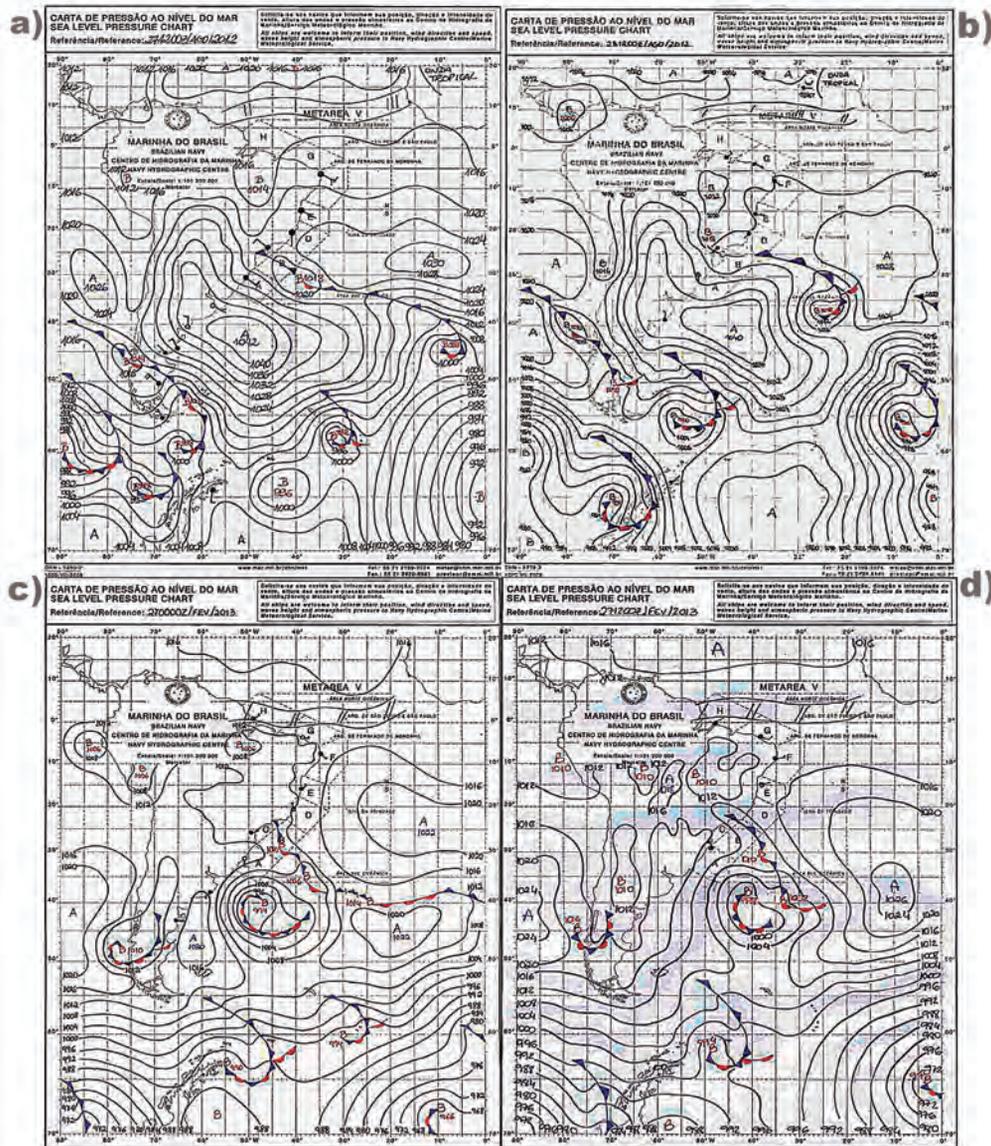


Figura 7 – Cartas sinóticas com posicionamentos das frentes frias que ocorreram em agosto de 2012 e fevereiro de 2013. a) 27/08/12 as 12:00 HMG (Hora Média de Greenwich); b) 28/08/2012 as 00:00 HMG; c) 27/02/2013 as 00:00 HMG; e d) 27/02/2013 as 12:00 HMG.



#### 4.2 Caracterização dos eventos de ressurgência costeira

Estão apresentados na Tabela 4 a média, o desvio-padrão e o valor mínimo da TSM, bem como as médias das componentes zonal e meridional do transporte de Ekman e da camada de Ekman para cada um dos eventos de ressurgência identificados.

Os eventos mais frios ocorreram em setembro (final de inverno e início de primavera), com TSM média de 14,15°C a 14,62°C e valores mínimos abaixo de 13°C. As componentes zonais e longitudinais do transporte de Ekman, com exceção de um único evento em setembro, são, respectivamente, positivas (em direção ao largo) e negativas (em direção ao sul). Isto significa

Tabela 4 – Médias, Desvios Padrões (DP) e mínimos (MIN) da TSM (°C) e Média das componentes zonal e meridional do Transporte de Ekman e da camada de Ekman durante cada um dos eventos de ressurgência entre março de 2012 a fevereiro de 2013 na região de Cabo Frio-RJ.

EVENTOS DE RESSURGÊNCIA		TSM			TRANSPORTE DE EKMAN		CAMADA DE EKMAN
		(°C)			$(m^2 \cdot s^{-1})$		(m)
MÊS	DURAÇÃO (h)	MÉDIA	DP	MÍN	MÉDIA $M_x$	MÉDIA $M_y$	MÉDIA
Mar/12	72	15,79	0,91	14,74	0,835	-0,795	48
Abr/12	37	16,77	0,84	15,53	0,634	-0,734	42
Mai/12	120	16,47	0,68	14,90	0,701	-0,796	47
Ago/12	362	15,87	1,18	12,74	0,903	-1,332	57
Set/12	102	14,15	1,14	12,77	0,181	-0,192	24
Set/12	133	14,22	0,55	13,31	0,279	-0,257	28
Set/12	57	14,62	0,93	13,82	-0,088	0,148	34
Out/12	233	15,17	0,70	13,84	0,430	-0,511	37
Out/12	113	14,95	0,88	13,78	0,076	-0,126	23
Nov/12	111	15,30	1,35	13,80	1,488	-1,740	65
Dez/12	179	15,79	2,32	12,85	1,060	-1,163	55
Dez/12	49	16,05	0,67	15,22	0,922	-1,274	56
Dez/12	45	17,65	0,52	16,59	1,362	-1,355	62
Dez/12	47	16,98	0,52	16,40	1,492	-1,739	64
Jan/13	62	16,86	0,45	16,27	1,854	-2,000	68
Fev/13	393	15,89	0,78	14,63	0,803	-1,329	58

que o transporte zonal é para leste e o meridional é para sul, resultando em um vetor transporte de Ekman no terceiro quadrante geográfico (SE). Além disso, estas componentes têm módulos cujos valores implicam em ângulos próximos de 135°,

portanto, com direção sudeste. Também observa-se que os transportes meridionais são mais intensos do que os zonais, estando associados ao fato de as tensões de cisalhamento dos ventos zonais serem maiores que as meridionais. A boia se

encontra em uma posição na qual a direção zonal é praticamente paralela à costa, de modo que o transporte meridional é o transporte *offshore*. Por exemplo, para o terceiro evento de setembro (início da primavera) as intensidades médias do transporte zonal (0,331) e meridional (-0,271), implicam um vetor cuja direção é  $129^\circ$  (sudeste). Como os ventos nordestes têm direção  $45^\circ$ , os transportes de Ekman associados têm direção  $135^\circ$ , sendo esta uma característica típica dos eventos de ressurgência em Cabo Frio (Figura 8).

As maiores camadas de Ekman estão associadas aos transportes de Ekman mais intensos, realçando a dependência que

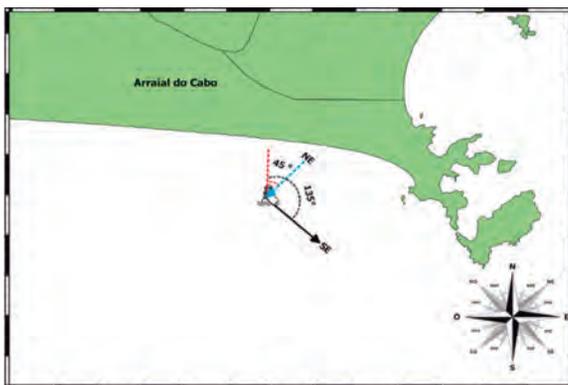


Figura 8 – O vento nordeste ( $45^\circ$ ), que foi o mais frequente, com o transporte de Ekman associado ( $135^\circ$ ).

ambas têm do vento. Pode-se ver na Tabela 4 que somente em cinco dos dezesseis eventos a camada de Ekman não excedeu o valor da profundidade local (45 m), onde a boia estava fundeada. Tais valores excessivos expressam o potencial do vento em levantar uma camada de Ekman dessa magnitude, além de significar que a ACAS está presente em toda a coluna d'água, fundindo, assim, as camadas de Ekman de superfície e de fundo. Este preenchimento total pode ocorrer

quando a termoclina alcança a superfície e torna-se uma frente térmica superficial, ocorrendo, então, águas mais frias em direção à costa, o que é típico da plataforma média, segundo Castro (1996).

Os eventos mais frios (menor média e/ou menor mínimo) foram relativamente mais duradouros, com períodos entre 100 e 400 horas (4 a 16 dias). A exceção foi o terceiro evento de setembro com cerca de 57 horas ( $\sim 2,4$  dias). Este grau térmico da ressurgência pode ser intensificado à medida que porções mais frias da ACAS, com percentuais de ocorrência maiores, adentram a plataforma continental. É o que ocorre quando uma água de  $12,74^\circ\text{C}$  alcança a superfície, já que seu valor está próximo da temperatura do índice termohalino da ACAS proposto neste trabalho, que é  $12^\circ\text{C}$ , tendo, assim, quase 100% da água presente na borda da plataforma. Sugere-se, portanto, que as porções mais frias demandam mais tempo para alcançar a superfície.

Exceções podem ocorrer na primavera e no verão porque um evento de ressurgência ocorre logo após outro, sendo o caso supracitado de 57 horas, que iniciou em 24/09 com três dias de diferença para o fim do evento anterior. Nestes cenários, a ACAS fica mais próxima da costa e com uma memória do evento anterior, de modo que este novo evento tem menor tempo de resposta, 15 h conforme a Tabela 3, com águas de temperatura mínima ( $13,82^\circ\text{C}$ ) na superfície. Observe que foi  $13,32^\circ\text{C}$  no evento anterior.

#### 4.3 Variações sazonais da ressurgência costeira

A maioria dos eventos de ressurgência ocorreram na primavera e no verão (Tabela 3), o que já é esperado pelo fato de a ACAS em média estar mais rasa e mais próxima da costa, conforme já discutido. Ocorreram dezesseis eventos de ressurgência entre março



de 2012 e fevereiro de 2013, sendo seis no verão, cinco na primavera, dois no outono e três no inverno.

As médias e desvios-padrão da TSM, do vento, dos transportes de Ekman zonal e meridional e da espessura da camada de Ekman estão apresentadas na Tabela 5. A média da TSM foi mínima na primavera (18,15°C), refletindo os cinco eventos de ressurgência que ocorreram, bem como os eventos mais frios e de maior tempo de permanência deste período. As médias do verão (19,92°C) e do inverno (19,83°C) foram semelhantes, refletindo a diminuição da irradiação solar e os três eventos relativamente mais frios que ocorreram na estação fria. Por outro lado, na estação quente, apesar do aumento da irradiação solar, a maior ocorrência de eventos (6) de ressurgência implicou uma média da TSM praticamente igual à do

inverno. A média do outono (22,65°C) reflete uma diminuição da irradiação do verão para o outono, bem como a frequência mínima de eventos. Assim, a variação sazonal da TSM, com diminuição do verão para o inverno, é intensamente modificada pela frequência dos eventos de ressurgência, principalmente na primavera e no verão. Portanto, há uma relação inversa entre a média da TSM e a frequência da ressurgência, o que também foi observado por Ribeiro (2010). A frequência de eventos no verão (6) foi maior do que na primavera (5), tendo estas duas estações uma duração total dos eventos praticamente iguais, 593 h e 598 h respectivamente. Entretanto, os eventos de primavera foram mais frios. Assim, conclui-se que a média sazonal da TSM varia inversamente também com a duração e a intensidade do evento (o quão fria a água esteve).

Tabela 5 – Médias para cada estação do ano, da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), das componentes zonal ( $U$ ) e meridional ( $V$ ) do vento e direção média obtida com essas componentes, das componentes zonal ( $M_x$ ) e meridional ( $M_y$ ) do transporte de Ekman com as respectivas direções e espessuras da camada de Ekman ( $D_E$ ).

Estações Do Ano	TSM (°C)	$U$ ( $m \cdot s^{-1}$ )	$V$ ( $m \cdot s^{-1}$ )	DIR. MÉDIA (°)	$M_x$ ( $m^2 \cdot s^{-1}$ )	$M_y$ ( $m^2 \cdot s^{-1}$ )	DIR. MÉDIA (°)	$D_E$ (m)
<b>Verão</b>	19,92	-4,3	-2,72	57,7	0,584	-0,818	145	45
<b>Outono</b>	22,65	-2,13	-0,77	70,1	0,133	-0,293	157	34
<b>Inverno</b>	19,83	-3,23	-2,21	57,6	0,472	-0,626	143	46
<b>Primavera</b>	18,15	-3,45	-1,37	68	0,395	-0,724	156	44

A média de verão assemelha-se ao valor climatológico de Rezende (2003), obtida com 14 anos de dados de CTD e garrafas, para a PCSE (Figura 9), onde podem ser observadas temperaturas inferiores a 20°C próximas da costa, na região de Cabo Frio. Esta média já indica a influência dos processos de

ressurgência costeira na TSM, já que seções verticais de temperatura indicam a isoterma de 20°C com configuração ascendente e alcançando a superfície na plataforma continental, com a ACAS contribuindo percentualmente para a água superficial (Castro, 1996; Coelho, 1997; Rezende, 2003; Medeiros, 2020).

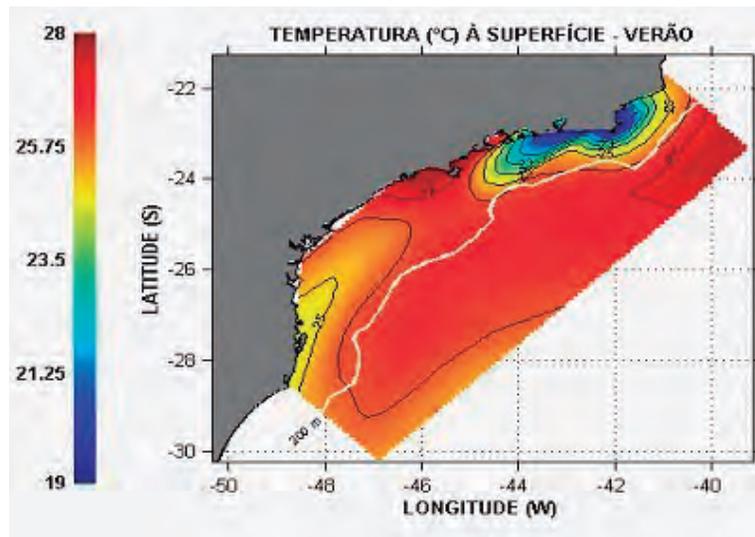


Figura 9 – Climatologia de verão da TSM na PCSE, obtida com 14 anos de dados de CTD e de Garrafas oceanográficas. Fonte: Rezende (2003).

Os valores médios das componentes do transporte de Ekman foram maiores no verão, seguidos dos valores da primavera, indicando também, a maior frequência dos eventos de ressurgência nestas estações. A média das componentes meridionais, que ocorrem em direção ao largo no local de estudo, foram sempre maiores que as zonais, indicando a influência da componente do vento paralela à costa. O módulo do transporte de Ekman no verão ( $1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ) é semelhante aos valores climatológicos obtidos com dados de Scaterômetro na região de Cabo Frio por Castelão e Barth (2006).

#### 4.4 Relação entre as séries temporais do vento, da TSM, do Transporte de Ekman e da Camada de Ekman durante os eventos de ressurgência

Os ventos do primeiro quadrante (NE) implicam transportes de Ekman cujas componentes zonais (Leste-Oeste) e meridionais (Norte-Sul) são, respectivamente, positivas (para Leste) e negativas (para Sul). Vê-se que essas componentes apresentaram estes sinais durante os eventos de ressurgência (Figura 10).

Durante os eventos de ressurgência, à medida que o vento fica mais intenso, há uma intensificação do transporte de Ekman (a componente zonal fica mais positiva, e a meridional, mais negativa) e da camada de Ekman, com a água ficando mais fria. Esses resultados indicam a dependência que o fenômeno da ressurgência em relação à intensidade do vento. Cabe ressaltar que as expressões analíticas utilizadas nos cálculos do transporte de Ekman e da espessura da camada de Ekman dependem diretamente da velocidade do vento para uma determinada latitude. As Figuras 10 e 11 ilustram este processo para o evento mais frio, que ocorreu entre 6 e 10 de setembro de 2012. Os transportes de Ekman meridionais (que dependem do vento zonal) foram, em geral, maiores do que os zonais (que dependem do vento meridional), conforme concluído, também, através das médias obtidas na Tabela 5. Isso está associado ao fato de ocorrerem ventos mais frequentes entre  $45^\circ$  e  $65^\circ$ , cujas componentes zonais são maiores que as meridionais, implicando maior transporte de volume no sentido 'offshore'.



A espessura da camada de Ekman foi menor tanto no início quanto no final do evento de ressurgência, atingindo 40 metros quando a velocidade do vento manteve-se em valores altos e a TSM estabilizou-se em 13°C.

Destaca-se, também, na Figura 10a permanência da temperatura inferior a 15°C por cerca de 3 dias, valor este que é considerado estratégico para as operações do SAR, já que o tempo de sobrevivência nestas águas é curto (Junger, 2009).

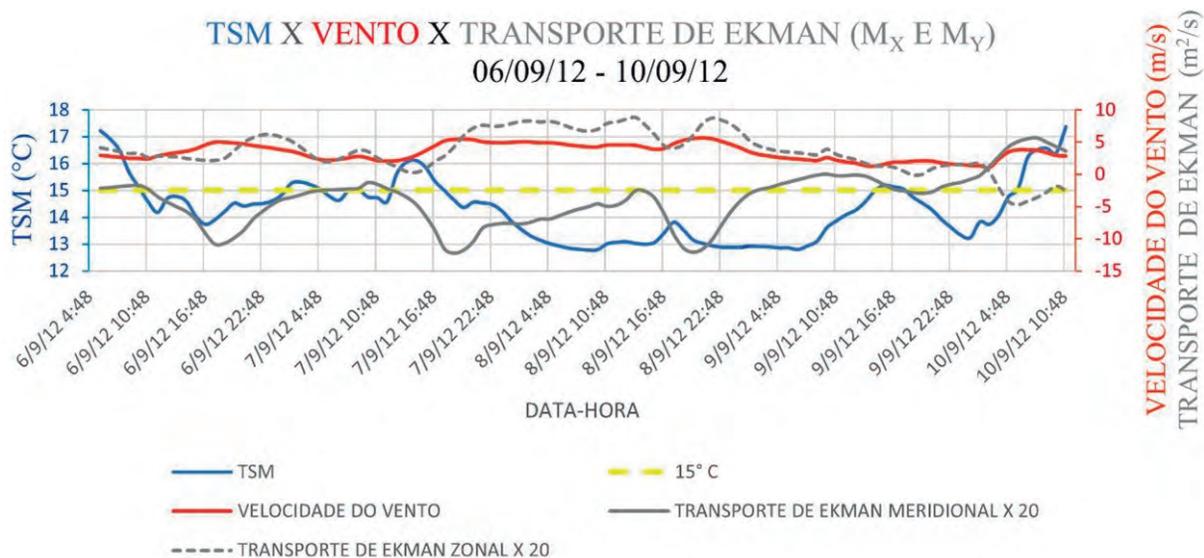


Figura 10 – Série temporal da TSM, da velocidade do vento e das componentes zonal ( $M_x$ ) e meridional ( $M_y$ ) do transporte de Ekman, para o evento que ocorreu no final do inverno (de 06/09 a 10/09). O transporte de Ekman por unidade de distância está multiplicado por 20, a fim de ser realçado junto com a velocidade do vento.

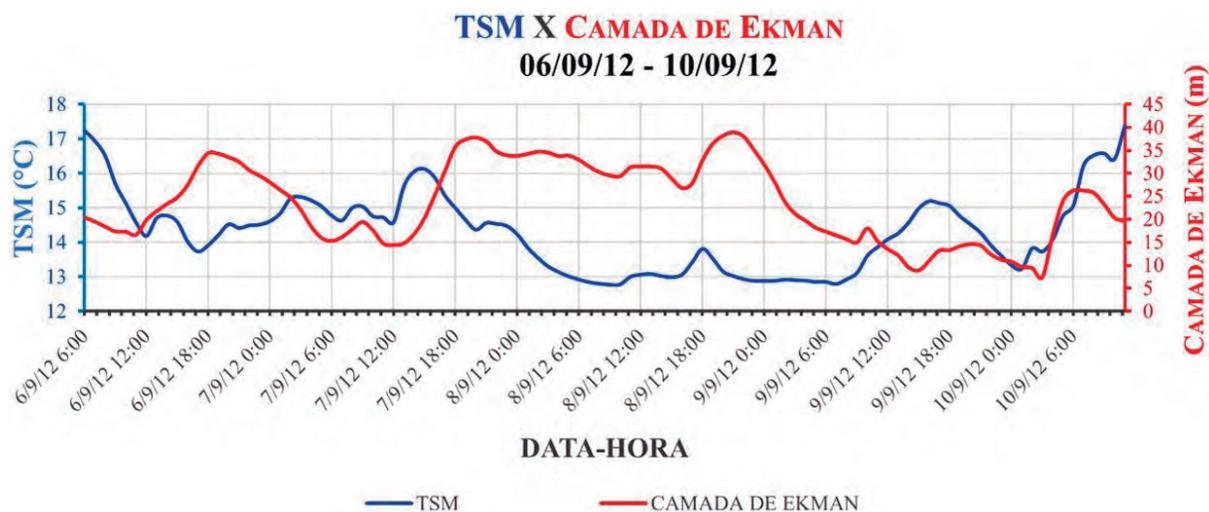


Figura 11 – Série temporal da TSM e da camada de Ekman, para o evento que ocorreu no final do inverno (de 06/09 a 10/09).

Na Figura 11 pode-se observar que às menores temperaturas estiveram associadas as maiores espessuras das camadas de Ekman e, conseqüentemente, aos ventos mais intensos. Isso ocorre porque o cálculo da camada de Ekman dependeu somente do vento na latitude da boia.

Na Figura 12, estão apresentadas as curvas da TSM e da camada de Ekman para o segundo maior tempo de permanência (~15 d), que ocorreu em agosto de 2012.

Neste evento, vê-se que a espessura da camada de Ekman excedeu a profundidade local (45 m) em praticamente todo o período, evidenciando os ventos relativamente mais intensos em relação ao evento de setembro (Figura 10). Isto mostra o potencial do vento em levantar uma camada de Ekman maior que a profundidade local e que pode ter havido uma fusão das camadas de Ekman de superfície e de fundo, estando toda a coluna d'água preenchida pela ACAS.

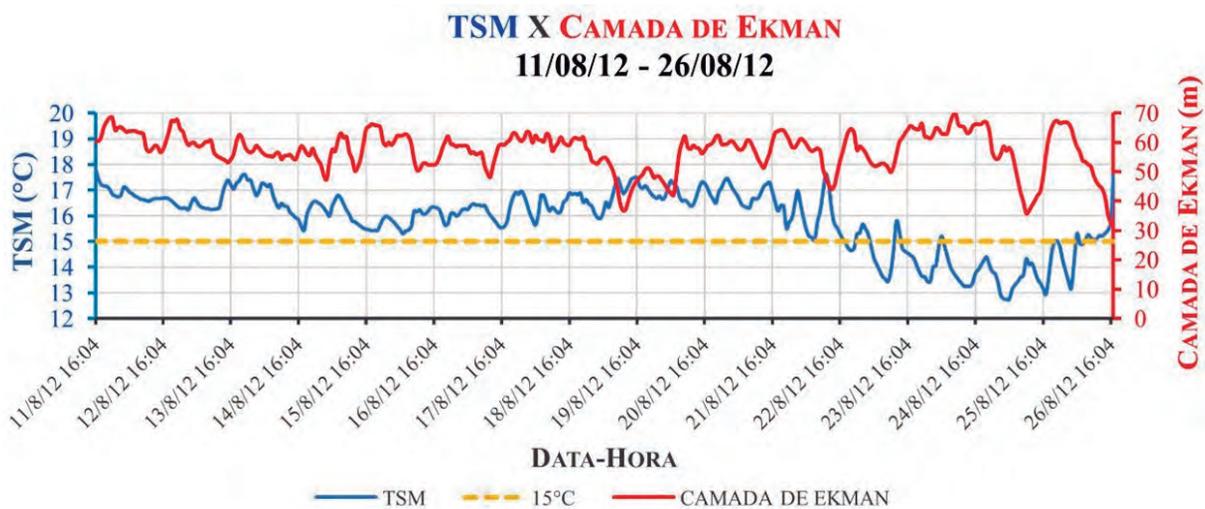


Figura 12 – Série temporal da TSM e da espessura da camada de Ekman durante o evento de ressurgência que ocorreu entre 11/08/2012 e 27/08/2012. A linha amarela pontilhada indica a temperatura de 15°C.

Uma pergunta que se levanta é: por que o evento que ocorreu de 06/09/12 a 10/09/12 teve um tempo de permanência menor que o de 11/08/12 a 27/08/12, mas, por outro lado, apresentou TSM mais fria em todo o período e com um mínimo praticamente igual (~12,8 °C) ao evento de longa duração? Em agosto, apesar de um vento mais intenso, demorou cerca de 12 dias para que a TSM resfriasse até 15 °C, permanecendo, depois, abaixo deste valor durante 4 dias. Já no evento de início de setembro, a temperatura esteve abaixo de 15 °C em

praticamente todo o período de quase 5 dias. Este evento mais frio não está associado somente à posição em que a ACAS se encontra quando o vento entra no primeiro quadrante, mas também ao percentual de ACAS que se encontra nesta posição, a partir de onde se inicia um processo de ressurgência, com o transporte de Ekman afastando a água costeira em direção ao largo e a ACAS se aproximando da costa pelo fundo, para posteriormente ressurgir devido à divergência costeira. Depreende-se, que no evento de agosto, a ACAS estava mais distante e,



assim, demandou mais tempo não só para a TSM resfriar até 18°C, definindo o tempo de resposta longo (87 h), mas também para que a porção com temperaturas entre 15°C e o valor mínimo 12,8°C (de maior percentual relativo ao índice termohalino) alcançasse a posição da boia. Já na primavera, este período foi menor pelo fato de a ACAS já estar mais próxima da costa e com percentuais de ocorrência maiores.

O evento de fevereiro de 2013 (Figura 13), apesar de ter tido o maior tempo de permanência da ressurgência (~16 d), praticamente não apresentou temperaturas inferiores a 15°C. A curva da camada de Ekman deste evento foi semelhante às do início de setembro (Figura

10), refletindo a similaridade dos ventos. Por qual motivo, então, os eventos de agosto de 2012 e o de fevereiro, apesar de seus tempos de permanência serem praticamente iguais, não tiveram a mesma intensidade térmica? A resposta encontra-se nos processos físicos que controlam a quantidade de ACAS que se encontra na plataforma. Além do processo de ressurgência costeira em escala sazonal e sinótica, a ACAS também pode ser injetada na quebra da plataforma continental pelos meandramentos ciclônicos da Corrente do Brasil (Campos *et al.*, 2000), podendo as temperaturas inferiores a 14-15°C estarem associadas a esta combinação de processos (Carvalho, 2019; Medeiros, 2020).

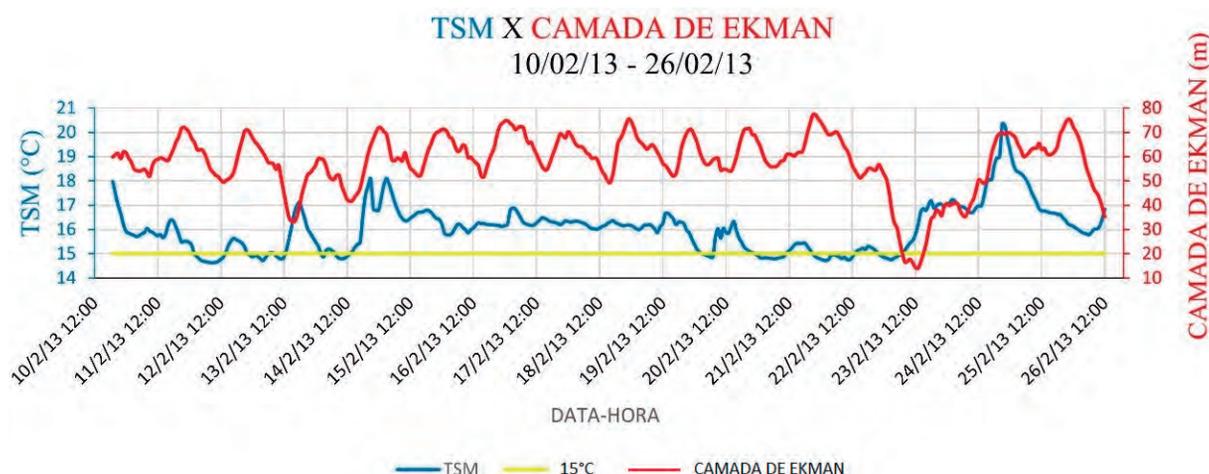


Figura 13 - Série temporal da TSM e da espessura da camada de Ekman durante o evento de ressurgência que ocorreu entre 10/02/2013 e 26/02/2013. A linha amarela pontilhada indica a temperatura de 15°C.

## 5. CONCLUSÕES

- O Tempo de Permanência da ressurgência costeira deve-se à duração dos ventos NE/E (35° - 90°), com as frentes frias frequentemente interrompendo os eventos de ressurgência;
- Os ventos mais frequentes estiveram distribuídos em três classes modais: 17%, de

35° a 45°; 15%, de 45° a 55°; e 11%, de 55° a 65°. A direção média obtida com as componentes do vento foi 62°, estando dentro desta última classe modal;

- Por ser um valor próximo da moda, então, indica também um dos ventos típicos que propiciaram a ressurgência;
- Os maiores Tempos de Resposta, isto é, os tempos decorridos para que a TSM



resfrie até 18°C, desde a entrada do vento no primeiro quadrante, estão associados a uma posição da ACAS mais afastada da costa e em regiões mais profundas. Esses tempos ocorrem mais frequentemente no inverno, como aconteceu no evento de agosto de 2012 (87 h);

- Nos eventos de ressurgência, as componentes zonais e meridionais do transporte de Ekman tiveram sinais positivos (para leste) e negativos (para sul), respectivamente, implicando transporte de Ekman para Sudoeste. As componentes meridionais (*offshore* no local da boia) foram maiores do que as zonais, isto porque as componentes zonais do vento foram iguais ou maiores do que as meridionais, devido aos ventos mais frequentes com direções de 45° a 65°;

- A camada de Ekman, em dez dos dezesseis eventos, excedeu o valor da profundidade local (45 m), indicando o potencial do vento em levantar camadas de Ekman de tais magnitudes, além de, provavelmente,

indicar o preenchimento de toda a coluna d'água pela ACAS;

- A variação sazonal da TSM, com aumento do inverno para o verão, é modificada pela frequência, duração e intensidade térmica dos eventos de ressurgência, principalmente na primavera e no verão. A média sazonal variou inversamente com estes fatores, sendo mínima na primavera e máxima no outono.

- A TSM média de verão (19,92°C) assemelha-se ao valor climatológico de Rezende (2003) obtido para a região de Cabo Frio;

- Durante os eventos de ressurgência, à medida que o vento fica mais intenso, há uma intensificação do transporte de Ekman (a componente zonal fica mais positiva e a meridional mais negativa) e da camada de Ekman, com a água ficando mais fria; e

- A intensidade do evento de ressurgência não depende somente da duração e da posição da ACAS quando o vento entra no primeiro quadrante, mas também do percentual de ACAS que se encontra disponível na plataforma continental.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLARD, P. Anomalies dans les temperatures de l'eau de mer observées au Cabo Frio au Brésil. *Bull. Inf. Com. cent. Océanogr. Étude Côtes*, 7(2), p. 58-63, 1955.

AMOR, C.C. *Intrusões da Água Central do Atlântico Sul sobre a plataforma continental situada entre a Ilha de São Sebastião (SP) e o Cabo de São Tomé (RJ)*. 2004. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

BERTOLDI, N. I. *Variabilidade da Temperatura da Superfície do Mar na região do Cabo Frio - RJ Utilizando dados in situ*. Monografia (Graduação em Oceanografia Bacharelado), Universidade do Paraná, Pontal do Paraná. 2019.

BLUESTEIN, H.B. 1992. *Synoptic – Dynamic Meteorology in Midlatitudes*. Vol 1. Oxford University Press.

CAMPOS, E.J.D.; VELHOTE, D.; SILVEIRA, I.C.A. Shelf break upwelling driven by Brazil Current cyclonic meanders. *Geophys. Res. Lett.*, vol 27, n. 6, p. 751-754, 2000.



CANDELLA, R. N. Correlação temperatura X salinidade e variação sazonal da Água Central do Atlântico Sul no quadrado de Marsden 376. *Pesquisa Naval*. Rio de Janeiro, 1999. v. 12., p. 35-39.

CARVALHO, R. A. DE. *Intrusão da Água Tropical na Plataforma Continental entre Paranaguá (PR) e Santos (SP)*. Trabalho de conclusão de curso de aperfeiçoamento em hidrografia para oficiais. Diretoria de Hidrografia e Navegação. 2019.

CASTELÃO, R.M; BARTH, J.A. Upwelling around Cabo Frio, Brazil: The importance of wind stress curl. *Geophys. Res. Lett.*, 33 (L03602), doi:10.1029/2005GL025182, 2006.

CASTRO, B. M. *Correntes e massas de água da Plataforma Continental Norte de São Paulo*. 1996. Tese de Livre-Docência, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CASTRO, B. M.; MIRANDA, L. B. *Physical oceanography of the western atlantic continental shelf located between 4°N and 34°S*. *The Sea*. Oxford (UK): John Wiley & Sons, 1998. v. 11, n. 1, p. 209-251 .

CASTRO, B.M.; PEREIRA, A. F.; CAROLI, A.; FOLONI NETO, H.; PASCHOAL, G. C. A.; SILVEIRA, I. C. A.; AMOR, C. C. *Correntes e Massas de Água na Plataforma Continental*. In: Falcão, A.P.C.; Curbelo-Fernandez, M.P. (Org.). *Série Habitats*. 1ed. Rio de Janeiro: Elsevier, v. 2, p. 189-252, 2015.

COELHO, A. L. *Massas de água e circulação no canal de São Sebastião (SP)*. Dissertação de mestrado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 1997.

COELHO, A. L. *Resposta da Plataforma Continental Sudeste a ventos sazonais e sinóticos de verão: estudos numéricos*. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. 2007.

COELHO, A. L. *Intrusão da ACAS na região costeira adjacente a Baía de Sepetiba*. *Diretoria de Hidrografia e Navegação*. Anais hidrográficos – DH3 – LXVII, 109 – 116, 2010.

DEFANT, A. 1961. *Physical Oceanography*. New York: MacMillan V. 1.

ECMWF. ERA5. Disponível em: < <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5> >. Acesso em 22 de março de 2021.

EKMANN, V.W. 1955. On the influence of the Earth's rotation on ocean-currents. *Arkiv för Matematik Astronomi och Fysik*. 2(11): 1-53.

ELIAS, L.M.C. *Variabilidade Interanual da Ressurgência em Cabo Frio – RJ*. Dissertação de mestrado, UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Oceânica, 2009.

EMÍLSON, I., 1961: "The Shelf and Coastal Waters Off Southern Brazil". *Bolm Inst. Oceanogr.*, XI(2), 101-112.



GAMMA DE ALMEIDA, E; TANAKA K., 1981: “Acompanhamento de Fenômenos Oceanográficos da Costa Sul do Brasil por Sensoriamento Remoto à Distância Orbital”. Publicação do Instituto de Pesquisas Espaciais, 1975-RPE/280, 34 pp.

GILLIAM, R. C., RAMAN, S.; NIYOGI, D. D. S. Observational and numerical study on the influence of large-scale flow directions and coastline shape on sea-breeze evolution. *Boundary. Layer Meteorology.*, 2004. v. 111, p. 275-300.

HERSBACH, H., BELL, B., BERRISFORD, P., BIAVATI, G., HORÁNYI, A., MUÑOZ SABATER, J., NICOLAS, J., PEUBEY, C., RADU, R., ROZUM, I., SCHEPERS, D., SIMMONS, A., SOCI, C., DEE, D., THÉPAUT, J.-N. (2018): ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present. *Copernicus Climate Change Service (C3S)*. Climate Data Store (CDS).

IKEDA, Y., L. B. DE MIRANDA & N. J. ROCK, 1974: “Observations on Stages of Upwelling in the Region of Cabo Frio (Brazil) as Conducted by Continuous Surface Temperature and Salinity Measurements”. *Bolm Inst. Oceanogr.*, 23, 33-46.

IKEDA, Y., 1976: “Variações em Escala Média da Temperatura e da Salinidade do Mar na Região Entre a Baía de Guanabara e Cabo Frio (17/08 a 26/08/1971)”. Dissertação de mestrado publicada no Bolm do Inst. Oceanogr., 25, 221-280.

JUNGER, S. M. Tempo Estimado de Sobrevivência no Mar e Planejamento de Missões SAR. *Revista Passadiço*, ed. 29, 2009.

KUTSUWADA, K., 1998. Impact of wind/wind-stress field in the North Pacific constructed by ADEOS/NSCAT data. *Int. J. Oceanography*, 54 443-456.

LARGE, W. G., S. G. YEAGER, 2004. Diurnal to decadal global forcing for ocean and sea ice models: The data sets and climatologies. *NCAR Technical Report*, TN-460+STR, 105pp.

MACHEL, H., A. KAPALA e H. FLOHN. Behaviour of the Centres of Action above the Atlantic since 1881. Part I: *Characteristics of seasonal and interannual variability*. *Int. J. Climatology*, 18, 1-22, 1998.

MANN, K.H.; LAZIER, J.R.N. *Dynamics of marine ecosystems: Biological – Physical Interactions in the Oceans*. Blackwell Scientific Publications, 1991. 466 p.

MEDEIROS, L.R.P. *Massas de Água entre Ubatuba (SP) e Baía de Guanabara (RJ): variações sinóticas, sazonais e de mesoescala*. Trabalho de conclusão de curso de aperfeiçoamento em hidrografia para oficiais. Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino (CIAARA). p. 87, 2020.

MUEHE, D. Sedimentology of a high energy coastal environment between Rio de Janeiro e Cabo Frio, Brasil. *Anual. Acad. Bras. Ciênc.*, 51(3): p. 473-481, 1979.



PASSOS E. N. *Variação sazonal da Água Central do Atlântico Sul na Plataforma Continental Sudeste Brasileira ao largo do Estado do Rio de Janeiro*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2015.

POND. S. AND PICKARD. G. L. 1983 *Introductory dynamical Oceanography*. Second edition. (New York: Pergamon Press).

REZENDE, J. H. M. *Intrusões da Água Central do Atlântico Sul na plataforma continental sudeste durante o verão*. Tese de doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo. 2003.

RIBEIRO, F.N.D. *Padrões das circulações atmosférica e oceânica na região de ressurgência de Cabo Frio*. Tese de doutorado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. 2010.

RODRIGUES, R. F., 1977: *Evolução da Massa D'água Durante a Ressurgência em Cabo Frio*. Publicação do Inst. de Pesq. da Marinha, 115, 31 pp.

RODRIGUES, R. R.; LORENZZETTI, J. A. A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the Southeast Brazilian coastal upwelling. *Continental Shelf Res.*, v. 21, p. 371-394, 2001.

RODRIGUES, R.R, LORENZZETTI, J.A. A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the Southeastern Brazilian coastal upwelling. *Cont. Shelf. Res.* 21, p. 371-394, 2001.

SILVA, G. L.; DOURADO, M. S.; CANDELLA, R. N. Estudo Preliminar da Climatologia da Ressurgência na Região de Cabo Frio. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. *Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006*.

SILVA, M.P., 1995. *Caracterização Físico-Química das Massas de Água da Bacia de Santos durante o Projeto COROAS. Verão e Inverno de 1993*. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 135 p.

SILVEIRA, I.C.A; NETO, H.F.; COSTA, T.P; SCHMIDT, A.C.K; PEREIRA, A.F; CASTRO, B.M; SOUTELINO, R.F; MATHESON, G.S.G. *Caracterização da Oceanografia Física do Talude Continental e Região oceânica da Bacia de Campos*. In: Falcão, A.P.C.; Curbelo-Fernandez, M.P. (Org.). Série Habitats. 1ed. Rio de Janeiro: Elsevier, v. 1, p. 135-189, 2015.

SOUZA, A.T.M. *Resposta do Fitoplâncton a um evento de Ressurgência em uma Estação Fixa, na Plataforma Interna de Cabo Frio-RJ*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Santa Cruz, Bahia, Ba, 2006.

TANAKA, K. *Análise de série temporal de 10 Anos: ressurgência em Cabo Frio*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE-3812 RPE/502, 1986.



TORRES JÚNIOR, A. R. *Resposta da ressurgência costeira de Cabo Frio a forçantes locais*, 1995 XIX 143 p. 29.7 cm (COPPE/UFRJ, M. Sc., Engenharia Oceânica, 1995) Tese (Mestrado) - Universidade Federal Do Rio de Janeiro, COPPE.

VALENTIN, J. L.; ANDRÉ, D. L.; JACOB, S. A.; Hydrobiology in the Cabo Frio (Brazil) upwelling: two dimensional structure and variability during a wind cycle. *Continent. Shelf Res.* v. 7, p. 77-88, 1987.

VALENTIN, J. L.; KEMPF, M. Some characteristics of the Cabo Frio upwelling. *Coast. Upwelling Ecosyst. Analysis Newsl.*, v. 6, p. 18-19, 1977.





# ANÁLISE PRELIMINAR DA ENERGIA DOS SEICHES NO LAGO TITICACA UTILIZANDO UM MODELO NUMÉRICO 2DH E EQUAÇÕES ANALÍTICAS

*Autores: Gregório Luiz Galvão Teixeira<sup>1</sup>; e  
Mario Rocha Junior<sup>2</sup>*

## RESUMO

Seiches são oscilações naturais presentes em ambientes confinados, e semiconfinados causadas principalmente por gradiente de pressão no nível do mar forçado pelo vento e se propagam como ondas estacionárias. Ainda que os Seiches tendam a degenerar-se em função do tempo, efeitos hidrodinâmicos são significativos durante o período de atuação dessas ondas no ambiente. Embora existam diversos trabalhos na literatura, alguns ambientes são ainda pouco estudados, como o Lago Titicaca, situado na porção central da Bolívia. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi conduzir uma análise prévia dos modos de oscilação do Lago Titicaca, através do uso de modelagem hidrodinâmica e a equação empírica de Merian e análise do espectro de ondaletas para observar o comportamento dos principais períodos do lago. Período mais energético em torno de 2 e 4,87 horas para as principais áreas do lago, fato que está coerente com estudos anteriores.

## Palavras-chave:

Seiches; Empilhamento de água pelo vento; Períodos próprios; SisBaHiA; Transformada de ondaletas.

## ABSTRACT

Seiches are natural oscillations present in confined and semi-confined environments caused mainly by a pressure gradient at sea level forced by the wind and propagate as standing waves. Even though the Seiches tend to degenerate as a function of time, hydrodynamic effects are configured during the period of activity of these waves in the environment. Although there are several works in the literature, some environments are still poorly studied, such as Lake Titicaca, located in the central portion of Bolivia. Therefore, the objective of this work was to conduct a previous analysis of the oscillation modes of Lake Titicaca using hydrodynamic modeling

<sup>1</sup> Oceanógrafo físico. Mestre em Engenharia Ambiental pela UFES. Doutorando em Engenharia Oceânica pela COPPE/UFRJ. Professor de Oceanografia, Marés e Geologia e Geofísica do CIAARA.

<sup>2</sup> Físico Teórico. Mestre em Física com ênfase em Cosmologia e Gravitação pela UFES.



and an empirical Merian equation and analysis of the wavelet spectrum to observe the behavior of the main periods of the lake. The most energetic period around 2 e 4.87 hours was found to both main areas of lake, which is consistent with previous studies.

**Keywords:**

Seiches; Wind set-up; Eigen periods; SisBaHiA; Wavelet analysis.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 O Fenômeno dos Seiches

O fenômeno dos Seiches é caracterizado por uma oscilação livre, na qual ocorre em locais confinados ou semifechados. Estas oscilações comportam-se como ondas estacionárias e o gradiente de pressão causado pelo empilhamento devido ao vento é uma das principais causas (Rabinovich, 2008). A palavra Seiches vem do latim "Siccus", que significa seco ou exposto, por exporem as margens em ambientes fechados, como Lagos, com períodos que variam de minutos a algumas horas (Wilson, 1972).

Os primeiros estudos deste fenômeno estão vinculados ao Major Whiting, em 1831, que observou na Região dos Grandes Lagos que a variação do vento e da pressão atmosférica eram responsáveis pela geração dos Seiches. Anos depois, Forel (1895) foi quem explorou cientificamente a essência natural e a origem desse fenômeno, gerando interesse em muitos cientistas ao redor do mundo.

De maneira geral os períodos próprios dos Seiches são determináveis pela geometria e profundidade ao longo da bacia ou lago, sendo que as oscilações de menor frequência são denominadas "modo fundamental" (Mei, 1992).

Uma contribuição muito importante no estudo dos Seiches foi realizada por Merian (1828), que propõe uma equação

para o cálculo do período fundamental de oscilações livres em um ambiente confinado regular, dependendo apenas do comprimento do eixo principal do ambiente confinado e da celeridade média da onda longa. O modo fundamental para uma bacia regular seria estabelecido para uma onda cujo comprimento é o dobro do comprimento do eixo principal da bacia.

Wilson (1972) através de estudos e práticas sobre a aplicabilidade da equação de Merian, ressaltou que se o lago ou bacia não possui as características de ser longo e estreito, seu uso unidimensional não é apropriado.

Em uma ótica focada na propagação da onda livre, Sorensen (1993) a fim de analisar a variação de energia dos Seiches, descreve que após o nível ser perturbado de seu equilíbrio, as forças de atrito promovem o decaimento exponencial da amplitude até retornar ao nível de repouso.

Embora os Seiches tendam a degenerar-se em função do tempo, efeitos hidrodinâmicos podem ser significativos durante o período de atuação dessas ondas, principalmente em ambientes dotados de restrições, como o Lago Titicaca, localizado na Bolívia. Embora existam diversos trabalhos na literatura internacional abordando a geração e propagação destas ondas, em locais como o próprio Lago Titicaca, ainda são escassos trabalhos que analisem esse fenômeno. Dessa maneira, são importante os estudos que resultem em conhecimentos dos principais modos de oscilações naturais de corpos d'água fechado, bem como a hidrodinâmica produzida por estas ondas.

### 1.2 O vento como forçante do empilhamento de água em lagos

A transferência da quantidade de movimento do vento para a superfície da água depende de uma série de variáveis e, segundo Vickers & Mahrt (1997), pode ser estimada através da tensão de um vento



medido à 10 metros de altura pelo produto da densidade do ar, coeficiente de arrasto e o módulo do vento. Segundo Smith (1988), o cálculo do coeficiente de arrasto é uma tarefa difícil e é função da velocidade e da tensão do vento na superfície da água.

No caso de um lago, o transporte de massa devido ao vento será equilibrado com as forças do gradiente de nível do lago devido à retirada de água a barlavento e empilhamento a sotavento, como representado na Figura 1. O nível da água oscila em torno do centro de gravidade (Bezuyen *et al.*, 2012).

O empilhamento pelo vento é calculado pelo produto do gradiente de nível do mar pela metade do comprimento da pista.

Anteriormente, para estudos da hidrodinâmica causada pelo vento, modelos analíticos baseados em fórmulas matemáticas eram usados. Esses cálculos limitavam sua aplicabilidade a casos práticos e, além disso, os resultados apresentavam desvios significativos. Com o avanço de modelos numéricos, atualmente é possível prever efeitos como o empilhamento do nível do mar devido ao vento de maneira mais realista. Um exemplo de modelo capaz

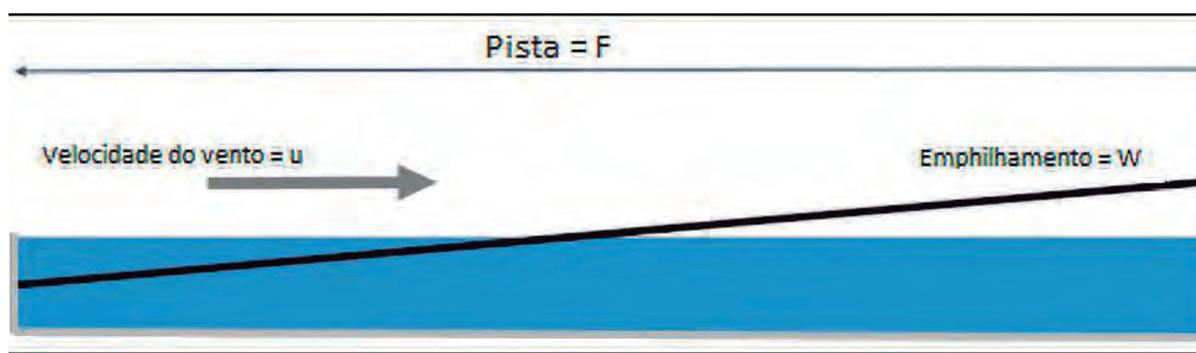


Figura 1 – Esquema para a representação do empilhamento pelo vento (*wind set-up*) em um lago, com o rebaixamento do nível a barlavento e a sobrelevação a sotavento. Adaptado de Van Risum (2015).

de representar tal processo através dos métodos de diferenças finitas é o Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental (SisBaHiA<sup>®</sup>) desenvolvido na Universidade Federal do Rio de Janeiro (Rosman, 2019). Seiches já foram estudados na Baía de Cascais, em Portugal, através de dados observacionais e modelagem numérica, permitindo uma representação mais realista em relação às equações convencionais, além de permitir a discussão sobre as condições de ressonância (Bras, 2016).

### 1.3 Área de Estudo: Lago Titicaca

O Lago Titicaca ocupa a parte norte do planalto, bacia intramontana dos Andes centrais da Bolívia, Peru e Argentina. Com 8.562 km<sup>2</sup>, o Lago Titicaca é considerado o lago navegável mais alto do mundo (3809 metros acima do nível do mar), também o maior lago da América do Sul (Claude e André, 1991).

O lago é composto por três regiões principais: o Lago Maior com uma área de

6450 km<sup>2</sup> e uma profundidade máxima de 285 m, o Lago Menor localizado no setor sudeste tem uma área de 2012 km<sup>2</sup> e uma profundidade máxima de 40 m e um setor de grande importância turística, recreativa e logística de navios, que é o Estreito de Tiquina, cujo comprimento é em torno de 880 m e a profundidade também da ordem de 40 m.

2012). Além disso, a região mais à oeste do lago, a região de Puno, vem sofrendo com a destruição da linha de costa, causada pelas ondas geradas pelos ventos, como por exemplo no dia 25 de julho de 2019, noticiado pelo jornal El Comercio. O prejuízo estimado foi de 9 milhões de soles (moeda peruana).

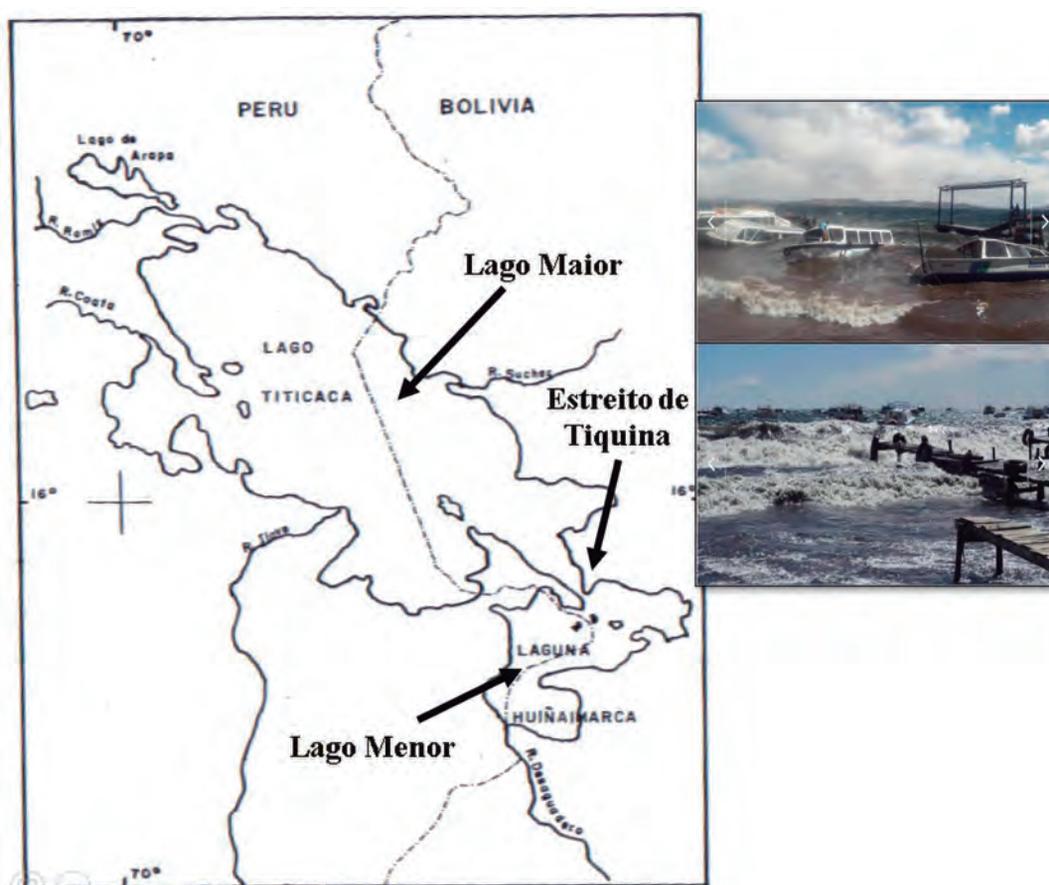


Figura 2 – Localização do Titicaca, com a linha tracejada representando os limites geográficos dos territórios peruanos e bolivianos. À direita do mapa, fotos do acidente ocorrida no Estreito de Tiquina no dia 5 de dezembro de 2012. Adaptado de Carbonel (1989). Fotos retiradas de Villa (2012), superior, e Fernandes (2019), inferior

O Estreito de Tiquina tem sido local de frequente sinistro com embarcações de esporte e recreio, como no dia 5 de dezembro de 2012, quando houve a morte de 11 pessoas e 4 desapareceram (Emol,

## 2. OBJETIVOS

O referido trabalho tem como objetivo geral realizar uma análise espacial e temporal preliminar dos Seiches causados



pelos ventos no Lago Titicaca, utilizando equações analíticas e modelo numérico, para a caracterização destas ondas; além de estabelecer a hidrodinâmica causada por elas em três setores do lago, conforme a metodologia a seguir.

### 3. METODOLOGIA

Inicialmente, foram definidos os principais eixos dos lagos que serviriam como referência para a análise da variação do nível da água causada pelo vento (empilhamento) e depois a propagação dos Seiches.

#### 3.1 Definição dos eixos de controle

Na Figura 3, observa-se em vermelho os eixos do Lago Titicaca que foram definidos para as análises. Para organizar melhor a análise, o lago foi dividido em três áreas, Alpha "A", Bravo "B" e Charlie "C", tomando como eixos as maiores distâncias de cada setor.

são os setores de Puno, Lago Maior e Lago Menor respectivamente. O círculo azul localizado ao sul de Lago Maior representa a *Isla del Sol*, ilha onde está localizada a estação meteorológica local e de onde provêm os dados de vento que foram utilizados neste trabalho.

#### 3.2 Dados de ventos

Os dados de vento foram adquiridos do Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrografia da Bolívia (<http://senamhi.gob.bo/index.php/inicio>), onde dados históricos foram armazenados de 1980 a 2017. Estes dados foram utilizados para a caracterização dos ventos registrados pela estação meteorológica da *Isla del Sol*, localizada em  $-16,0178$  (Lat) e  $-69,1715$  (Lon). O vento considerado para este trabalho foi o vento médio e sua direção preferencial. Assim, foi considerado um vento de 25, proveniente do quadrante norte

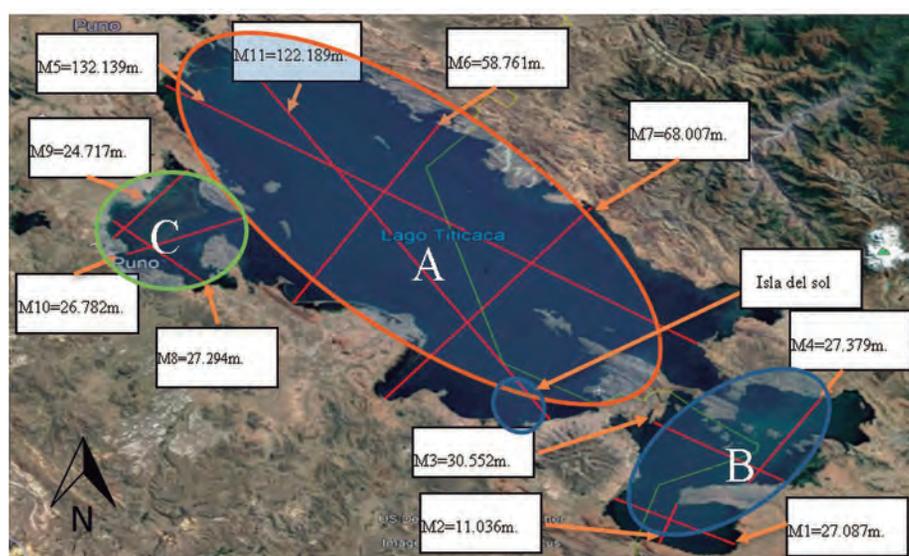


Figura 3 - Localização das subáreas de estudo e seus eixos principais.

Em vermelho, os eixos principais que foram analisados no trabalho, e seus comprimentos. Cada eixo é representado pelo nome  $M^n$ , sendo "n" o número identificador. As elipses em verde, laranja e azul

para o cálculo do empilhamento tanto na equação analítica quanto no modelo hidrodinâmico. A distribuição dos ventos pode ser verificada através da rosa dos ventos abaixo, na Figura 4.

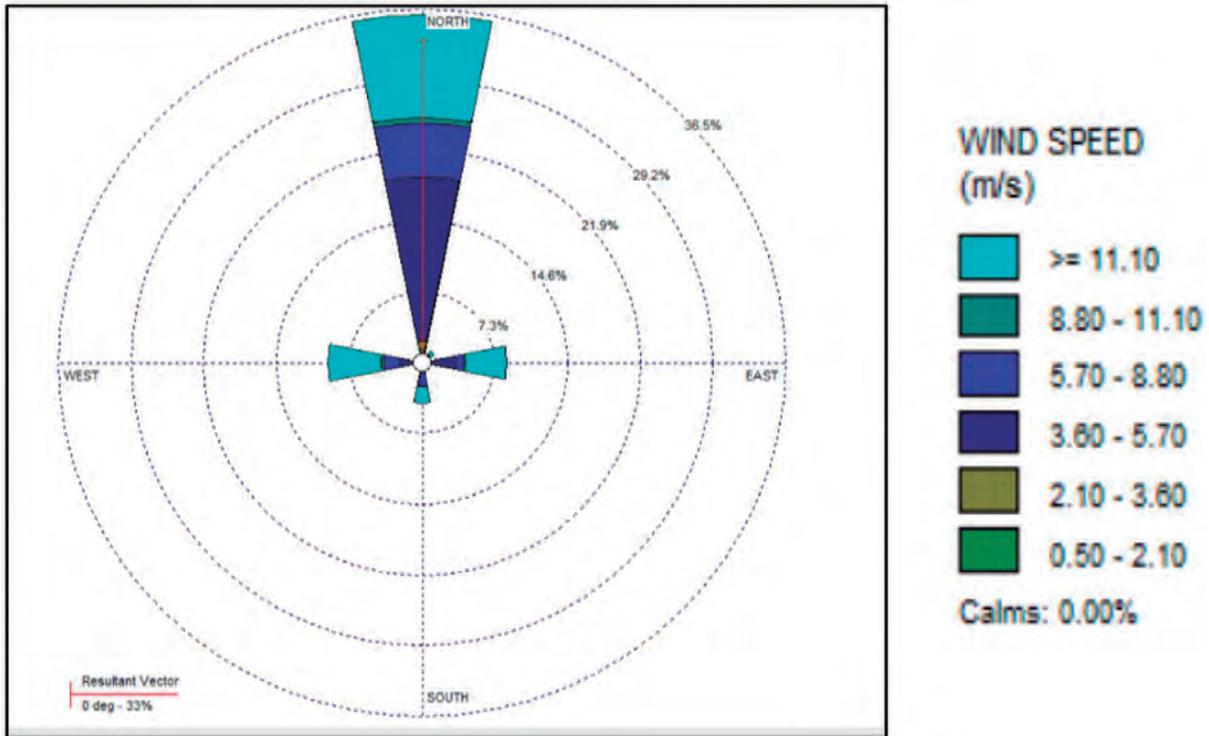


Figura 4 – Rosa dos ventos dos dados de direção e intensidade média do vento registrado pela estação meteorológica da Ilha do Sol entre 1980 e 2017.

### 3.3 Equação de Merian

Com base nos comprimentos dos eixos principais determinados acima, a Equação de Merian foi aplicada, para o cálculo dos períodos próprios ( $T_n$ ), segundo o apresentado por Wilson (1972):

$$T_n = 2L / n \sqrt{gH} \quad (\text{Eq.1})$$

L = Comprimento (m)  
 n = Número de nós (-)  
 g = Aceleração da gravidade ( $m/s^2$ )  
 H = Profundidade (m)

A fórmula de Merian concede dados exatos dos períodos das bacias retangulares de profundidade uniforme (Wilson, 1972).

### 3.4 Equação do Empilhamento de água pelo vento

Dentre as diversas equações presentes na literatura, a apresentada por Van Rinsum (2015) foi utilizada, para um vento atuante normal à linha de costa. Assim, o empilhamento foi calculado segundo a Eq. 2 a seguir.

$$W = 0.5 k \frac{u_{10}^2}{gd} F \cos \theta \quad (\text{Eq.2})$$

W = Empilhamento pelo vento (m)  
 K = constante de atrito  
 $u_{10}^{\square}$  = Velocidade do vento a 10 metros de altura ( $m.s^{-1}$ )  
 g = Aceleração da gravidade ( $m.s^{-2}$ )  
 d = profundidade média (m)  
 F = Pista (m)



$\theta$  = ângulo entre a terra e o vento ( $^{\circ}$ ), valor utilizado neste trabalho é 0, atuando na direção do eixo maior do lago.

Um fator empírico importante é o coeficiente de atrito ( $k$ ), uma vez que é visto como um ajuste da equação à realidade. Como o coeficiente de tensão de cisalhamento do atrito entre ar e água não pode ser calculado por uma fórmula exata, para o presente trabalho foi utilizado um  $k$  de  $3,4^{-6}$ , como proposto por Bezuyen *et al.* (2012).

### 3.5 Modelo Hidrodinâmico

Além da Equação de Merian, o modelo hidrodinâmico SisBaHiA<sup>®</sup> foi aplicado a fim de representar de maneira mais realística os Seiches presentes no Lago Titicaca devido à atuação do vento.

A malha computacional e o domínio da modelagem estão presentes na Figura 5. Nesta figura, podemos verificar o contorno

da linha de costa que foi disponibilizado pela Diretoria Geral de Hidrografia da Armada Boliviana, à esquerda. Em azul, o espelho d'água médio e em marrom, as ilhas presentes no lago. A partir deste contorno, foi gerada a malha quadrangular de elementos finitos, à direita, composta por um total de 252 elementos e 1147 nós; a malha contempla uma área de 8002146490 m<sup>2</sup>. Além disso, foram passados para o modelo os valores de profundidade média do Lago Titicaca igual a 140 m e rugosidade de 0,0030 m (Rosman, 2019), um valor que corresponde a um fundo rochoso. O modelo hidrodinâmico foi do tipo 2DH, com suas propriedades integradas na vertical e a distribuição uniforme ao longo de todo o domínio da densidade da água.

Inicialmente, o modelo com o nível da água em repouso foi forçado por um vento homogêneo e permanente até atingir um equilíbrio entre o transporte de massa causado pelo vento e a força gradiente de

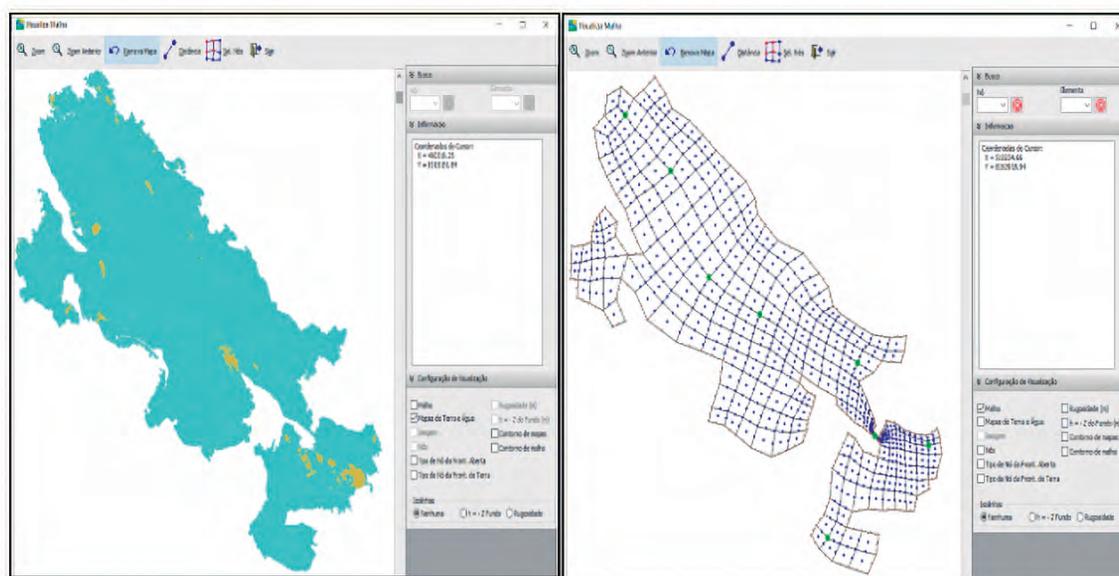


Figura 5 – Mapas do domínio de modelagem (esquerda) e da malha computacional que o modelo utilizará como base dos cálculos hidrodinâmicos (direita).



pressão. Ao atingir este estado, o vento foi extinto do modelo, e conseqüentemente, uma onda livre, o Seiches, se propagou ao longo do domínio.

O estudo dos Seiches foi feito através da análise dos espectros de energia de ondas, calculados a partir de séries temporais oriundas de diferentes partes do lago. O cálculo do espectro de energia foi feito com base nos trabalhos de Torrence & Compo (1991) e Weing & Lau (1994). As rodadas e saídas gráficas foram feitas todas através de códigos escritos em Python com base em pacote disponível em: <<https://github.com/chris-torrence/wavelets>>.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados aqui apresentados serão divididos entre os provenientes da aplicação das equações analíticas de Merian, do cálculo do período, e da equação de Bezuyen

*et al.* (2012), para o cálculo do empilhamento de água pelo vento.

##### 4.1 Equações Analíticas

Os dados de entrada para Eq. 1 e Eq. 2 foram:

- Comprimento de cada eixo principal, que estão compilados na Tabela 1;
- Profundidade média, com o valor de 140 m.
- Aceleração da gravidade  $9,81 \text{ m/s}^2$ .
- Velocidade do vento uniforme e permanente com  $25 \text{ m/s}$ .
- Valor da constante  $k$  de  $3,4 \times 10^{-6}$

Como resultado das equações, obteve-se os seguintes valores compilados na Tabela 1, de período e empilhamento provenientes da Eq. 1 ( $n = 1$ ) e Eq. 2, respectivamente.

Pelos resultados da Tabela 1, é verificada primariamente a relação direta entre as variáveis

Tabela 1 – Resultados das equações analíticas para cada um dos eixos com valores de comprimento dos eixos, períodos calculados e o empilhamento de água.

Eixo	Comp. do Eixo [m]	Período [min]	Empilhamento [cm]
M1	27087	24	2,0
M2	11036	10	0,8
M3	30552	27	2,3
M4	27379	25	2,1
M5	132139	119	10,2
M6	58761	53	4,5
M7	68007	71	5,2
M8	27294	25	2,1
M9	24717	22	1,9
M10	26782	24	2,0
M11	122189	110	9,4



calculadas e o comprimento do eixo, dessa maneira, quanto maior o comprimento do eixo, maior serão os períodos dos Seiches e maior o empilhamento devido à atuação do vento. Podemos ilustrar tais resultados com gráficos de dispersão, que podem ser vistos a seguir.

Nas Figuras 6 e 7, estão presentes os gráficos de dispersão do comprimento dos eixos contra o período (Figura 6) e contra o empilhamento (Figura 7). A relação direta entre as variáveis era esperada, reforçando apenas as equações analíticas que regem o período das ondas estacionárias e do empilhamento pelo vento.

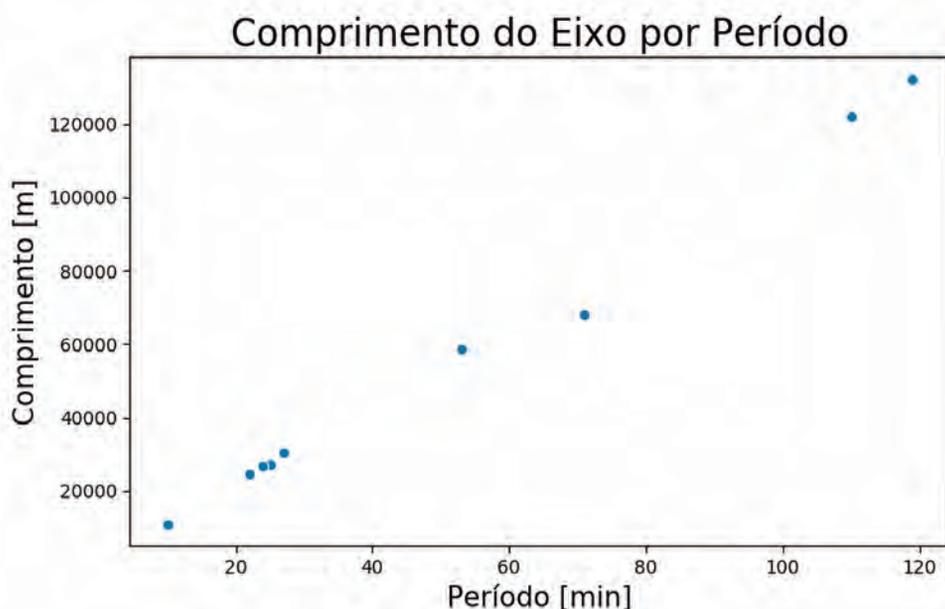


Figura 6 – Gráfico de dispersão para as variáveis comprimento do eixo e período.

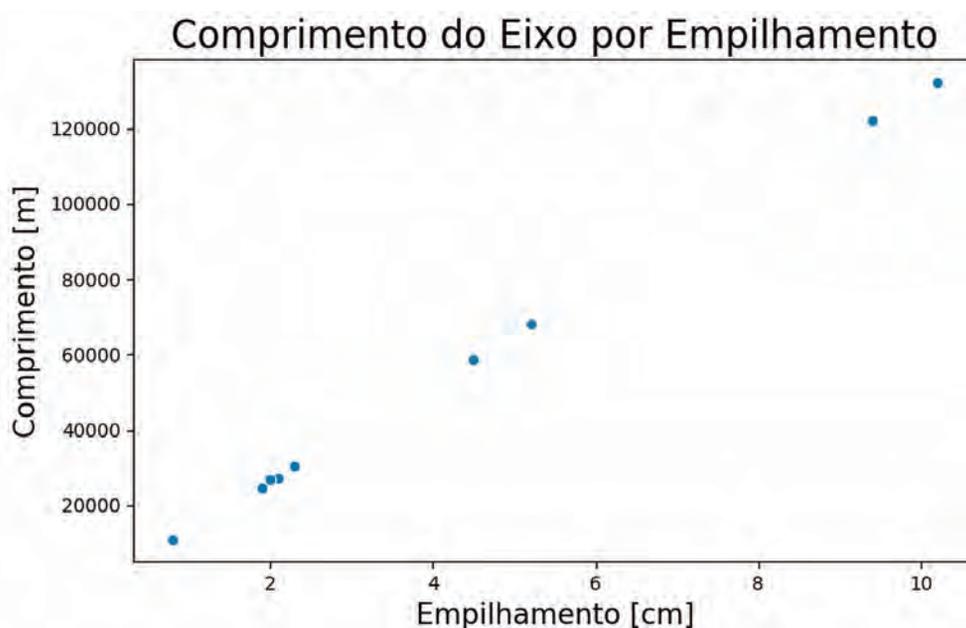


Figura 7 – Gráfico de dispersão para as variáveis comprimento do eixo e empilhamento.

## 4.2 Modelagem Numérica

A modelagem numérica, como apresentada na metodologia foi separada em duas partes: a primeira, com o objetivo de gerar o empilhamento da água do lago provocado pelo vento médio local e a segunda é deixar o modelo livre para a propagação dos Seiches.

### 4.2 Simulação do empilhamento pelo vento

A simulação do empilhamento da água do lago devido ao vento, após 48 horas, resultou em um campo de variação de nível do lago que reflete o balanço entre

o transporte devido à tensão do vento e a força gradiente de pressão provocada pelo desnível, como mostrado na Figura 8. Nesta figura, os gráficos superiores se referem às séries temporais de nível da água para a porção norte e sul do Lago Maior, A1 (à esquerda) e A2 (à direita), respectivamente. Já os gráficos inferiores representam a variação do nível da água na Área B (Lago Menor), à esquerda, e da Área C, à direita. Ambas as séries temporais C e A1 pertencem a áreas que estão a barlavento, e, portanto, a tendência é de redução do nível e as séries B e A2, por se situarem a sotavento tendem a empilharem água junto ao contorno.

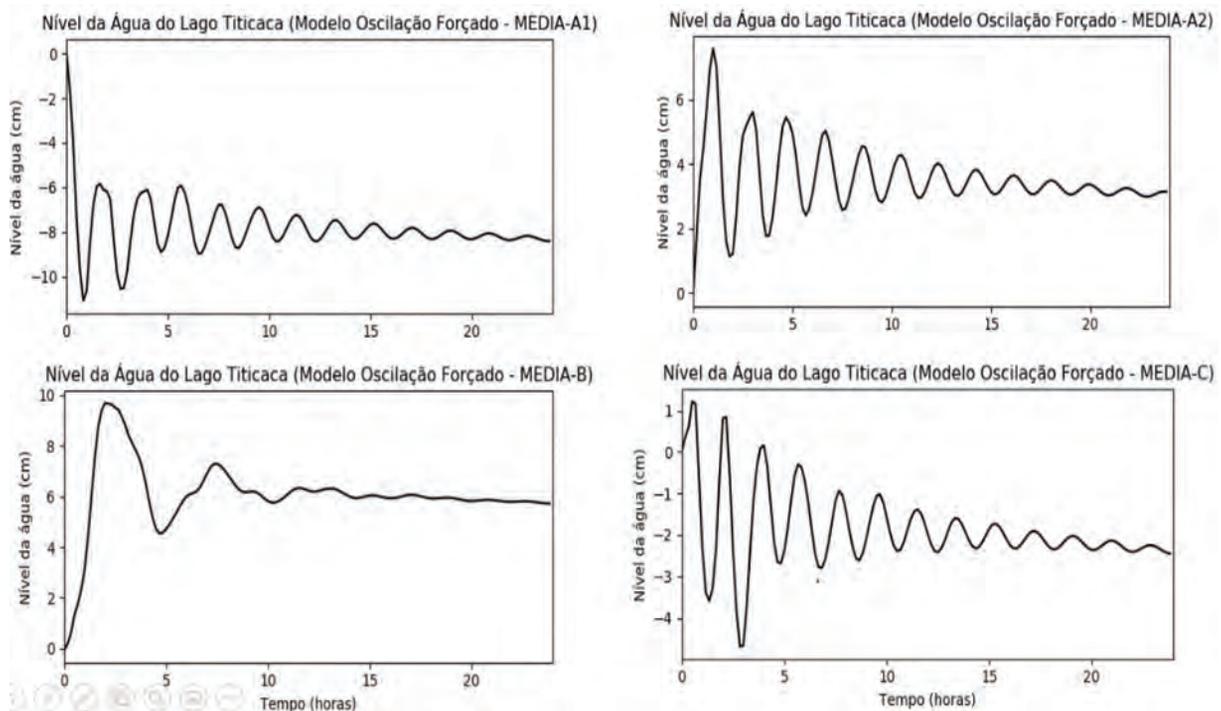


Figura 8 – Séries temporais de nível da água forçado pela atuação do vento (25 m/s, 0°) na superfície do lago.

Além disso, na Figura 8, verifica-se que após 25 horas de simulação, há um amortecimento significativo (>90%) das oscilações devido à atuação do vento, direcionando assim, o escoamento a um regime estacionário.

Para uma análise do nível ao longo do Lago Titicaca, a Figura 9 contém setas que representam a direção do escoamento da água do lago devido à ação do vento e a variação espacial do nível. O tamanho da seta representa a intensidade do fluxo/corrente. Nessa



figura, é verificada uma corrente predominantemente de sudeste no Lago Maior, enquanto no Lago menor as correntes apresentam direções variadas em função da morfologia local.

O maior valor encontrado de empilhamento foi de 0.09 m, ocorrendo na porção sul do Lago Menor, enquanto o maior valor de rebaixamento foi de -0.1 m, na porção mais ao norte do Lago Maior. Embora no Lago Menor esteja presente o maior empilhamento, o desnível presente nesta parcela foi de 0.06 m, enquanto no Lago Maior foi de 0.14 m.

De maneira qualitativa, verificamos que os vetores velocidade tem seus menores módulos próximos às margens e regiões abrigadas e as maiores velocidades estão localizadas no Estreito de Tiquina, onde ocorre uma constricção entre as regiões do Lago Maior e Lago Menor.

De posse dos resultados obtidos acima tanto para a abordagem analítica quanto para a numérica, podemos estabelecer uma comparação entre eles a fim de verificar se a ordem de grandeza destes resultados está

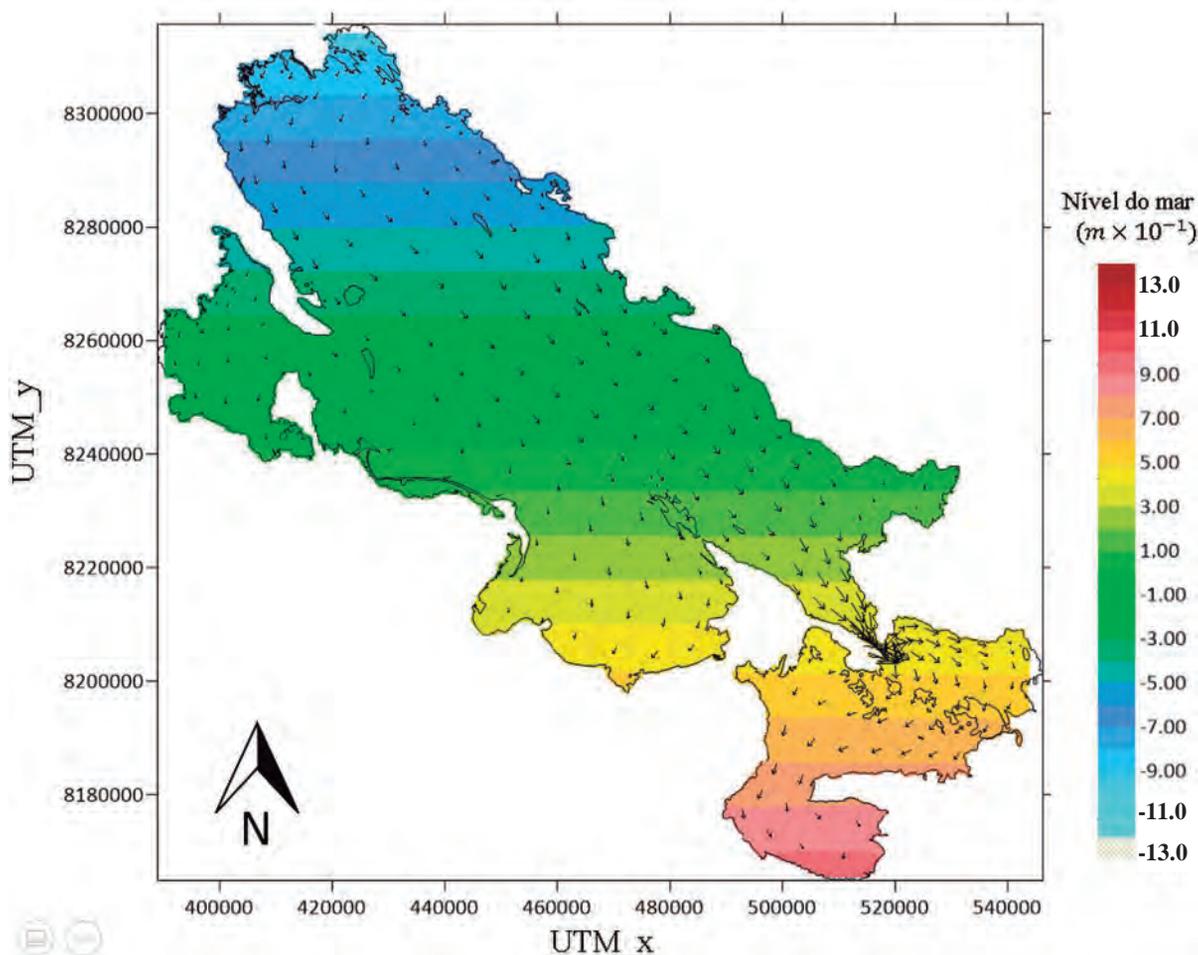


Figura 9 – Distribuição espacial do nível da água do Lago Titicaca devido à atuação do vento típico, 25 m/s e 0°, e os vetores de velocidade do escoamento do lago em regime estacionário após 48 horas.

compatível. Por este motivo, tomaremos os respectivos valores aproximados.

Para tal, iremos apresentar os resultados considerando o empilhamento máximo, em centímetros, para o Lago Maior, para o Lago Menor e para a região C, e que podem ser vistos na tabela 1 e na figura 7, respectivamente, os resultados analítico e numérico.

Tabela 2 – Comparativo dos resultados obtidos analítica e numericamente para o empilhamento da água causado pelo vento, em centímetros.

Região	Analítico	Númérico
Lago Menor	2,3	9
Lago Maior	10,2	7,39
C	2,1	1

Como visto na Tabela 2, os resultados apresentam-se bastante coerentes no que diz respeito a ordem de grandeza e, portanto, as duas maneiras de análise mostram-se compatíveis.

### 4.3 Simulação dos Seiches

Ao retirar a ação do vento como promotora do empilhamento, a força gradiente faz com que uma onda livre se propague. Na Figura 10, encontram-se os espectros de energia do nível do mar em 25 horas de simulação. O gráfico superior esquerdo foi obtido através da série temporal registrada no eixo M1 contido na Área B (Lago Menor), já o gráfico à direita provém do registro de nível no eixo M11 na Área A (Lago Maior), e o gráfico inferior através do registro no eixo M9 na Área C.

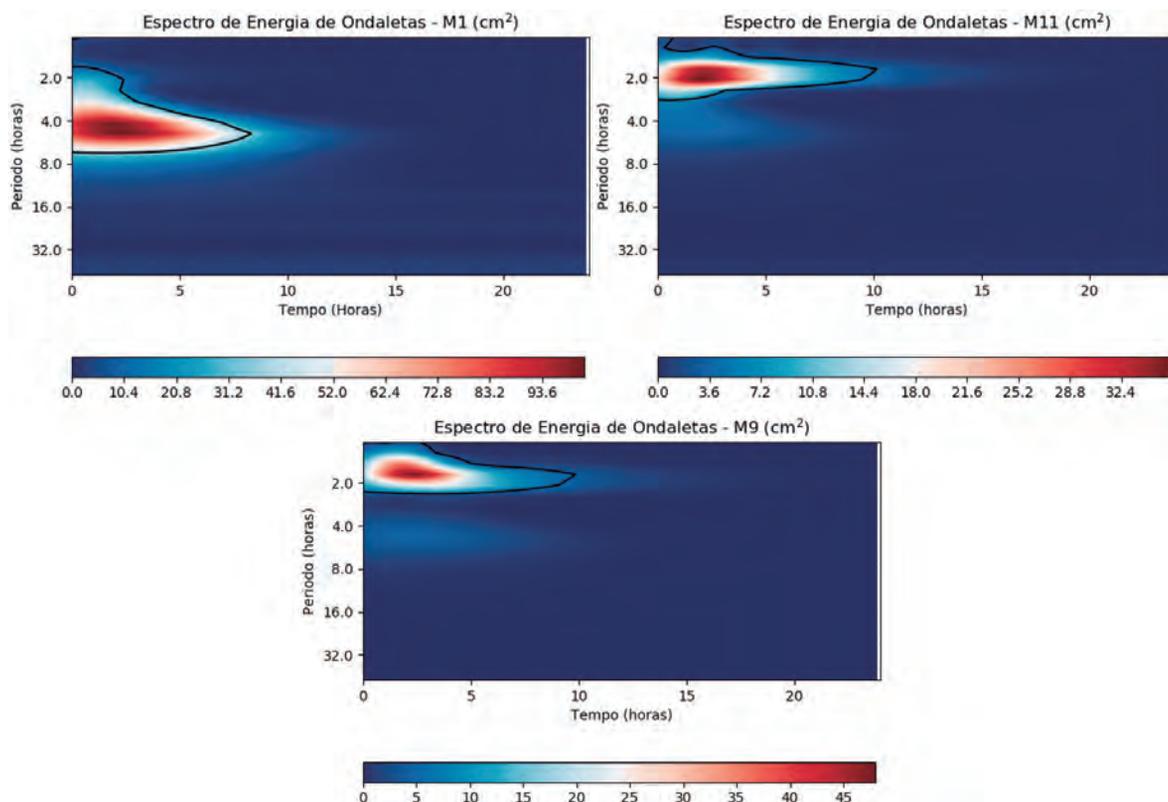


Figura 10 – Espectros de energia para os eixos M1, M9 e M11. Gráficos de períodos pelo tempo, com as barras de cor representando a energia dos Seiches em  $cm^2$ . A maior parte da energia está concentrada nas primeiras 5 horas e em períodos entre 2 e 4 horas. A linha preta contínua representa a região onde o espectro de energia foi calculado com 95% de confiabilidade.



Em uma análise geral dos gráficos da Figura 10, tem-se que a degeneração da energia ocorre de maneira significativa nas primeiras 10 horas da simulação. No Lago Menor, eixo M1, se encontram os maiores valores de energia do sistema lacustre, acima de  $90 \text{ cm}^2$ , cujo período é de 4,87 horas. Este valor se mostra bastante discrepante do valor encontrado analiticamente na Tabela 1 para o eixo M1 como valor de 24 minutos. Isso se deve possivelmente à complexidade geométrica da região que não é resolvida pela Eq. 1, e, portanto, equações que considerem afunilamentos e barreiras devem ser aplicadas (Kabiri, 2013).

Os gráficos dos eixos M11 e M9, contidos nas áreas A e C apresentaram valores de energia inferiores a  $50 \text{ cm}^2$ , sendo valores muito inferiores ao da Área B. Além disso, os períodos de maior energia para as áreas A e C foram respectivamente 2,05 e 1,71 horas.

Carbonel & Pacheco (1989), analisando separadamente o Lago Maior e o Lago Menor com um modelo hidrodinâmico baseado no método de diferenças finitas, encontraram os valores 2,05 e 5,24 respectivamente para os primeiros modos de oscilação do lago, sendo assim, pode-se dizer que há uma coerência significativa entre estes e o valor encontrado na modelagem feita neste trabalho. Embora o valor encontrado para Lago Menor esteja dentro do intervalo de confiança de 95%, o resultado foi mais discrepante. Isso se deve, possivelmente, pela consideração de uma batimetria homogênea ao longo de todo o lago sendo a batimetria real desta área bem menor que a do Lago Maior. Além disso, a geometria do Lago Menor não é apropriada para a aplicação da Equação de Merian segundo o preconizado por Wilson (1972).

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Embora este trabalho não tenha representado a batimetria do lago através dos dados de cartas náutica, isso não inviabilizou o presente estudo. Sendo assim, o uso conjunto de equações analíticas e modelo numérico hidrodinâmico permitiu uma análise preliminar dos Seiches presentes no lago Titicaca, em especial, do período fundamental dos principais setores do lago.

A comparação dos resultados provenientes da equação analítica de Merian e da modelagem hidrodinâmica convergiu para o apresentado por Carbonel (1989) para o primeiro modo de oscilação em ambos os lagos. Isso nos mostra que os cálculos obtidos pela fórmula apresentam resultados satisfatórios, quando comparado com resultados numérico para condições de contorno batimétrico bastante simplificadas, como as paredes verticais e fundo plano. Neste caso, foi possível concluir que os modelos analítico e numérico se apresentaram com bastante consistência, indicando resultados compatíveis com os já conhecidos pela literatura.

Para expandir a metodologia utilizada com o objetivo de estudos, não apenas dos Seiches, mas da hidrodinâmica do lago por completa, sugere-se:

i) Solicitar à Diretoria Geral de Hidrografia do Peru, a fim de obter dados batimétricos de todo o Lago Titicaca e, assim, produzir resultados mais precisos.

ii) Aplicar equações analíticas que se ajustem às características geométricas do Lago Titicaca, em particular às características apresentadas pelo Estreito de Tiquina, por exemplo, as equações utilizadas em Kabiri (2013).



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEZUYEN, *et al.* *Inleiding waterbouwkunde*. Collegedictaat CT2320. Delft. 2012

BRAS, V. M. C. *Modelling of long waves (seches) in Cascais Bay*. Lisboa Portugal: Instituto Superior Técnico, 2016.

CARBONEL, C; PACHECO, F. *Características Oscilatorias del Lago Titicaca*. Instituto Geofísico del Perú, 1989.

CLAURE, D. Y ANDRE, I. *El Lago Titicaca, síntesis del conocimiento Limnológico actual*. La Paz-Bolivia: Hisbol, Instituto de Historia Social Boliviana 1991.

FERNANDEZ, C. (25 de julio de 2019). *Puno: fuertes vientos en el lago Titicaca generan pérdidas en criaderos de truchas*. El Comercio. Disponível em: <<https://elcomercio.pe/peru/puno/puno-fuertes-vientos-lago-titicaca-generan-perdidas-criaderos-trucha-noticia-658909-noticia/>>. Acesso em: 15 de outubro de 2019.

FOREL, F. A. *Le Lemán* (collected papers). Lausanne, Switzerland.. 1892

KABIRI, S. Natural frequencies of seiches in a closed trapezoidal basin with internal barriers. *Journal of civil Engineering Research*, 2013.

MERIAN, J. R. *Ueber die Bewegung tropfbarer Flüssigkeiten in Gefässen*. Basel: Schweighauser, 1828.

RABINOVICH, A. B. *Seiches and Harbour Oscillations*. Sidney, Canada: Department of Fisheries and oceans, Institute of Oceans Sciences West Saanich Road, 2008.

ROSMAN, P. *Referência técnica do (SISBAHIA) Sistema de Base de Hidrodinâmica Ambiental*. Escola Politécnica e da Área de Engenharia Costeira e Oceanografia do programa de Engenharia Oceânica da COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.

SMITH, S.D. Coefficients for sea surface wind stress, heat flux, and wind profiles. *Journal of Geophysical research*, 1988.

SORENSEN, R. *Basic Wave Mechanics for Coastal and Ocean Engineers*. Jhon Wiley & Son, 1993.

TORRENCE, C.; COMPO, G. *Program in Atmospheric and Oceans Sciences*. University of Colorado, Colorado, 1991.

VAN RISUM, G. P. *Accuracy wind set-up formula for irregularly shaped lakes with a strong varying water depth*. Tese de Bacharelado em Engenharia Civil e Geociências. Delft University Technology. 2015.



VICKERS, D.; MARTH, L. *Fetch Limited Drag Coefficients*. College of Oceanic and Atmospheric science. Oregon State University, Corvallis, OR 97331, USA. 1997.

VILLA, M. (19 de dezembro de 2012). Nuevo naufragio en el Titicaca; rescatan a 17 personas con vida. *La Razón*. Disponível em: <[http://www.la-razon.com/ciudades/Nuevo-naufragio-Titicaca-rescatan-personas\\_0\\_1745225482.html](http://www.la-razon.com/ciudades/Nuevo-naufragio-Titicaca-rescatan-personas_0_1745225482.html)>. Acesso em: 20 de agosto de 2019.

WEING, H.; LAU, K. M. *Wavelets. Period Doubling, and Time-Frequency Localization with Application to Organization of Convection over the Tropical Western Pacific*. Laboratory for Atmospheres, NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Meryland, 1994.

WILSON, B. W. *Seiches. Advances in Hydroscience*. Pasadena, California, 8, 1-94, 1972.





# SISTEMA DE MEDIÇÃO EXPEDITA DE ONDAS – ESTUDO DE CASO: EVENTO DE RESSACA MARÍTIMA, PRAIA DE COPACABANA

*Autores: Felipe Galdino<sup>1</sup>  
1ºTen (T) Felipe Serrano Léllis<sup>2</sup>  
CT (T) Tobias Ramalho dos Santos Ferreira<sup>3</sup>  
Luiz Alexandre A. Guerra<sup>4</sup>  
André Lima Torres Mendes<sup>5</sup>*

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade técnico-operacional do uso de um ondógrafo compacto e de baixo custo, com medição baseada em GPS, como um “Sistema de Medição Expedita de Ondas”, utilizando-se uma boia SOFAR *Spotter V2*. Para isso, realizou-se um estudo de caso em um evento de ressaca na costa do Rio de Janeiro, Praia de Copacabana, ocorrido em fevereiro de 2021, associado a um ciclone extratropical. Os dados de ondas corroboraram o Aviso de Ressaca emitido pela Marinha do Brasil, tendo sido registradas ondas maiores que 2,25 metros de altura. Os dados de onda

da *Spotter* foram validados tomando-se por referência as medições realizadas por uma boia do Projeto SiMCosta, equipada com um sensor inercial para medição da agitação marítima. Este estudo possibilitou validar um novo equipamento compacto, cujas aplicações servem tanto para a Segurança da Navegação e Salvaguarda da Vida Humana no Mar, como para Operações Navais, especialmente durante desembarques anfíbios.

## Palavras-chave:

Boia Meteoceanográfica; Oceanografia Operacional; Ressaca; Praia de Copacabana, Rio de Janeiro; *Spotter Buoy*.

<sup>1</sup> Oceanógrafo. Graduado em Oceanografia pela FURG. Analista de Dados do projeto REMO Observacional – CHM.

<sup>2</sup> Oceanógrafo. Graduado em Oceanografia pela UFES. Mestre em Oceanografia Ambiental pela UFES. Ajudante da Seção de Planejamento e Coleta de Dados Oceanográficos do CHM.

<sup>3</sup> Oceanógrafo. Graduado em Oceanografia pela UERJ. Mestre em Engenharia Oceânica pela COPPE/UFRJ. Encarregado da Seção de Planejamento e Coleta de Dados Oceanográficos do CHM.

<sup>4</sup> Oceanógrafo. Graduado em Oceanografia pela UERJ. Mestre em Geociências pela UFF. Doutor em Engenharia Oceânica pela COPPE/UFRJ. Oceanógrafo Sênior da PETROBRAS/CENPES.

<sup>5</sup> Oceanógrafo. Graduado em Oceanografia pela UERJ. Mestre em Engenharia Oceânica pela COPPE/UFRJ. Doutor em Engenharia Oceânica pela COPPE/UFRJ. Oceanógrafo Sênior da PETROBRAS/CENPES.



## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the SOFAR Spotter buoy V2 – a compact, and low cost GPS wave buoy – as an "Expeditious Wave Measurement System". This case study was carried out during a storm surge event that took place on the Coast of Rio de Janeiro, off Copacabana Beach, in February 2021. The storm surge was associated with an extratropical cyclone, which generated strong waves along Southeastern Brazilian Coast. The resulting wave data validated the Storm Surge Weather Warning issued by the Brazilian Navy Forecast Service, with wave heights above 2.25 meters. The Spotter buoy wave data were also satisfactorily compared to a reference buoy from the SIMCosta program, which uses a traditional inertial wave sensor. With this study, a new data collection approach has been validated for Navigation Safety and the Safeguarding of Human Life at Sea applications, as well as for Naval Operations, especially during amphibious landings.

## Keywords:

Meteocean Buoys; Operational Oceanography; Storm Surges; Copacabana Beach, Rio de Janeiro, Brazil; Spotter Buoy.

## 1. INTRODUÇÃO

As ondas de gravidade são a principal fonte de energia para regiões costeiras (Romeu *et al.*, 2015). O fenômeno “ressaca” refere-se a condições de ondas altas incidentes na costa, sem necessariamente ter relação com mau tempo local ou variações do nível do mar, seja astronômica ou não-astronômica (Melo *et al.*, 2016). Esse fenômeno potencializa processos de erosão na costa (Oliveira *et al.*, 2019), afetando obras de engenharia e manejo da região costeira (Romeu *et al.*, 2015), podendo causar

prejuízos sociais e econômicos (Araujo *et al.*, 2018). O conhecimento do clima de ondas em uma região costeira é essencial para o sucesso do uso e ocupação humana no local.

As ressacas são o fenômeno natural com maior histórico de geração de danos na região costeira das regiões Sul e Sudeste do Brasil, tendo uma periodicidade maior desde o outono até o início da primavera (Lins-de-Barros *et al.*, 2018). Para o Brasil, há uma extensa literatura mostrando os efeitos das ressacas na costa: Rio Grande do Sul (Oliveira *et al.*, 2019; Bach & Ferreira, 2017), Alagoas (Morais *et al.*, 2008), Ceará (Paula, 2012), Santa Catarina (Araujo *et al.*, 2018), Rio de Janeiro (Lins-de-Barros *et al.*, 2018) e São Paulo (Rodríguez *et al.*, 2016).

No Brasil, os eventos de ressaca são formados normalmente por ciclones extratropicais e subtropicais, bem como por sistemas frontais, vindos do Sul (Saraiva *et al.*, 2003; Machado *et al.*, 2019). Ao longo de sua trajetória, o desenvolvimento do ciclone é comumente acompanhado de uma intensificação do vento de quadrante sul na borda oeste desses sistemas (Gramscianinov *et al.*, 2019). Quando essas ondas formadas por esses ciclones atingem a região costeira, elas são modificadas pelos fenômenos de propagação em águas rasas e acabam gerando condições necessárias para a ocorrência da ressaca (Candella & Souza, 2013).

Há reconhecida carência de ações permanentes para a coleta de dados no mar na costa brasileira (Souza & Parente, 1988; Candella, 2019). Durante muitos anos, negligenciou-se no país a coleta operacional de dados *in situ* de ondas, focando somente em coletas pontuais relacionadas a pesquisas científicas ou atividades de exploração de petróleo. Somente após o primeiro furacão que atingiu a costa brasileira (o “Catarina”, em 2004), a comunidade marítima do país percebeu a importância de ter-se um programa permanente e operacional de



coleta de dados meteoceanográficos (Costa Junior *et al.*, 2018).

Desta maneira, diante da extensa área marítima sob a responsabilidade de nosso país, a Marinha do Brasil, no esforço de tornar permanente a presença brasileira em uma rede internacional de coleta de dados meteoceanográficos, atuou para a criação de uma rede de boias: o Programa Nacional de Boias (PNBOIA) (Costa Junior *et al.*, 2018). As boias do PNBOIA operam de forma praticamente ininterrupta desde o ano 2000, apoiando os serviços de previsão meteorológica e a comunidade científica (Candella & Souza, 2013; Candella, 2016; Candella, 2019; Pereira *et al.*, 2017; Bach & Ferreira, 2017).

A área definida pela METAREA V, que se estende aproximadamente do litoral brasileiro até o meio do Atlântico, em decorrência da Convenção Internacional para Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS) e de compromissos assumidos pelo Brasil, é coberta por previsões meteorológicas e avisos de mau tempo emitidos regularmente pelo Serviço Meteorológico Marinho (SMM). Os Avisos de Ressaca, de acordo com a NORMAN-19 (DHN, 2018), são emitidos pelo SMM quando há previsão de ocorrência de ondas com altura significativa (Hs) de 2,5 metros ou superior atingindo a costa. Em virtude da carência de medições de ondas em longos trechos da costa, muitos avisos de ressaca não podem ser validados com dados coletados *in situ*, não havendo uma confirmação quantitativa dos prognósticos.

Além da Salvaguarda da Vida Humana no Mar e da Segurança da Navegação, a obtenção de dados de ondas em tempo real auxilia diretamente no planejamento e execução de operações militares (Holland *et al.*, 2004). Bachmann *et al.* (2008) revisaram a literatura relativa aos fenômenos ambientais que impactam o desembarque anfíbio e, após examinarem mais de 85 trabalhos

publicados, chegaram à conclusão de que a variável ambiental mais importante são as ondas de gravidade.

Em relação à medição de ondas, a literatura mostra que é possível realizar medições com sistemas menores e menos custosos (Soreide *et al.*, 2001). O objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade técnico-operacional de uma mini-boia ondógrafo como um “Sistema de Medição Expedita de Ondas”. Para tanto, realizou-se um estudo de caso por ocasião de um evento previsto de ressaca marítima na orla da Praia de Copacabana (Rio de Janeiro), ocorrido em fevereiro de 2021. Os dados foram analisados em comparação com medições realizadas por uma boia meteoceanográfica de referência.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Evento a ser estudado

De modo a avaliar a mini-boia ondógrafo Spotter V2, foi selecionado um evento de ressaca previsto pelo SMM para a costa do Rio de Janeiro. A partir do dia 02 de fevereiro de 2021, foi prevista a ocorrência de um ciclone com capacidade para gerar ondas altas na costa desde o Rio Grande do Sul até o Rio de Janeiro.

A Figura 1 apresenta as cartas sinóticas do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) para os dias 05, 06 e 07 de fevereiro de 2021, mostrando a presença do referido sistema atmosférico. Esse sistema apresentou uma evolução rápida, com um núcleo quente até o nível de 300 hPa, bem característico de um furacão (Wang & Jiang, 2019).

De fato, no final de semana de 06 e 07 de fevereiro, ocorreu um evento de ressaca marítima no litoral S/SE do país, em virtude da ação desse ciclone extratropical formado entre o Uruguai e o Rio Grande do Sul no dia 04 de fevereiro. Este evento de ressaca



foi notificado anteriormente pelo SMM, por meio do **Aviso NR 071/2021**, emitido às 1600HMG - QUI - 04/FEV/2021: “*Ressaca entre Florianópolis (SC) e Cabo de São Tomé (RJ) a partir de 051200HMG. Ondas de SW/SE 2.5/3.0 m. Válido até 071200HMG*”.

Tendo conhecimento deste aviso de ressaca para a costa do Rio de Janeiro, foi dado início à mobilização para o experimento “Sistema de Medição Expedita de Ondas”, que consistiu em amarrar um ondógrafo *Spotter* à boia meteoceanográfica RJ-3 do

Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira (SiMCosta), a fim de se comparar e validar os dados da *Spotter*. Cabe ressaltar que o sistema de medição da RJ-3 é de tecnologia amplamente utilizada por diversas instituições, inclusive pela agência americana *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) (Wilson & Siegel, 2011), e passou por uma série de testes que comprovaram a confiabilidade dos dados medidos (Shih, 2003). Trata-se, também, da mesma tecnologia utilizada atualmente no PNBOIA.

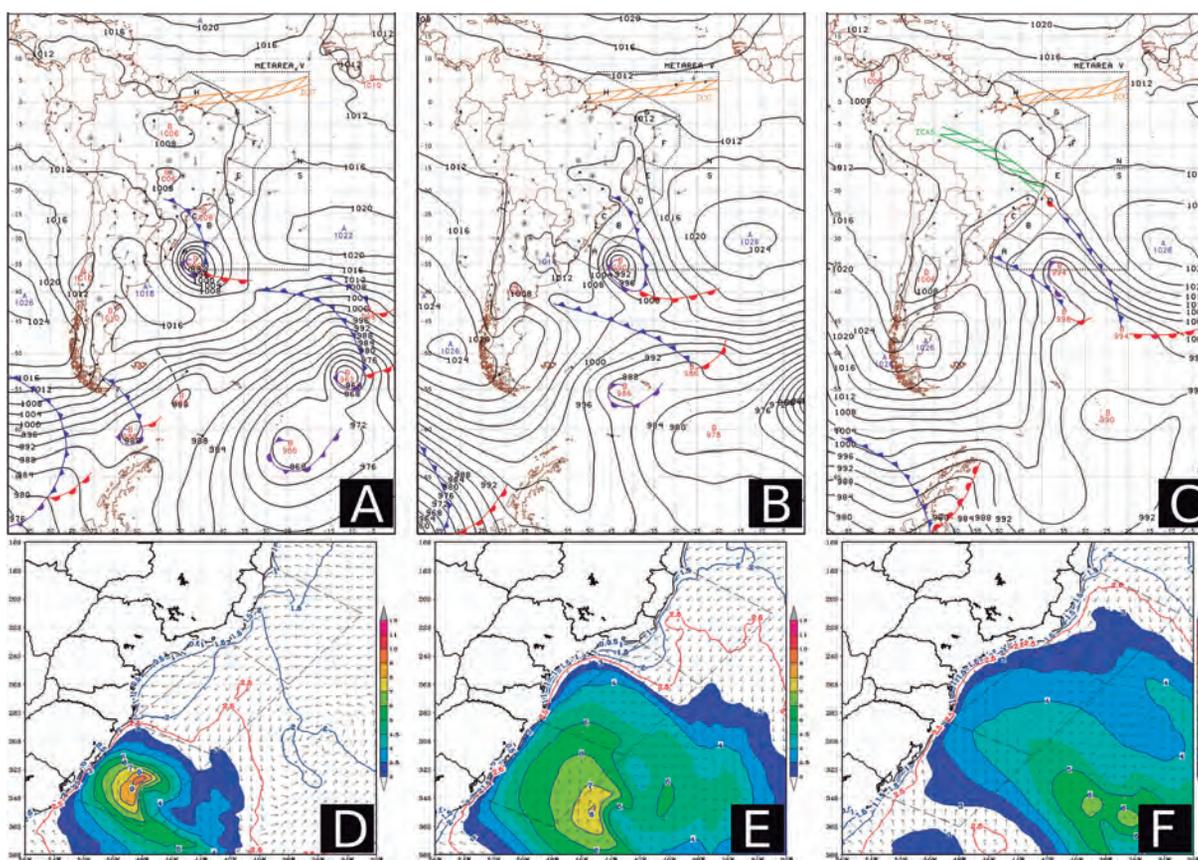


Figura 1 – Configuração do evento de Ressaca Marítima durante o período analisado. Paineis A, B e C mostram as Cartas Sinóticas de 00Z dos dias 05, 06 e 07 de fevereiro de 2021, respectivamente (DHN, 2021). Os Paineis D, E e F mostram a saída do modelo numérico de ondas WaveWatch III (WWIII) forçado pelo modelo atmosférico COSMO (Consortium for Small-scale Modelling) de 00Z para os dias 05, 06 e 07 de fevereiro de 2021, respectivamente.

## 2.2 Boia Spotter

A boia *Spotter V2* (Figura 2), desenvolvida pela *Sofar Technologies Inc.*, incorpora um receptor de GPS de alta resolução, compacto e de baixo custo, para medição de ondas de período entre 1s e 30s, com acurácia de *heave* de aproximadamente  $\pm 2$  cm, com uma taxa de amostragem de 2,5 Hz. Esse sistema de medição transmite em tempo quase-real os seguintes dados meteorológicos e oceanográficos: direção e velocidade do vento, temperatura da superfície do mar (TSM) e parâmetros de ondas.

Diferentemente de sensores comumente utilizados para a medição de ondas (*i.e.*, acelerômetros, girômetros e

magnetômetros), a boia *Spotter* estima os parâmetros de onda através do processamento dos dados de deslocamento do casco medidos pelo GPS. O emprego de tecnologia de GPS reduz o peso e tamanho do casco, tornando o sistema muito leve e prático, facilitando, assim, o seu transporte e permitindo seu uso tanto como boia de deriva como em fundeio (Smith & Janssen, 2019).

Devido às suas reduzidas dimensões, a *Spotter* não possui sensor para medição direta de ventos. Entretanto, considerando-se que há uma intrínseca relação entre os campos de ondas e de ventos, as medições de ondas são usadas como um *proxy* para a velocidade dos ventos em águas abertas e sem obstáculos (Voermans *et al.*, 2020).



Figura 2 – Vista da boia *Spotter V2* e suas dimensões (Largura: 42 cm; Altura: 31 cm; e Peso: 5,4 kg).



### 2.3 Instalação da boia

A boia *Spotter* foi previamente testada e configurada para a medição e registro de dados a cada 30 minutos e transmissão dos mesmos a cada hora.

Com auxílio de um pequeno bote, a *Spotter* foi amarrada à boia RJ-3 do SiMCosta por meio de uma linha de talingar, que seguiu

todas as características recomendadas pelo fabricante (Sofar, 2019): um trecho de 20 metros de cabo sintético de polietileno que conecta a boia RJ-3 a um flutuador e outro trecho de 20 metros de cabo sintético de polietileno, que conecta o flutuador à *Spotter* (Figura 3).

Seguindo essa estratégia, a boia *Spotter* foi lançada no dia 04 e recolhida em 11 de fevereiro de 2021 (Figura 4).

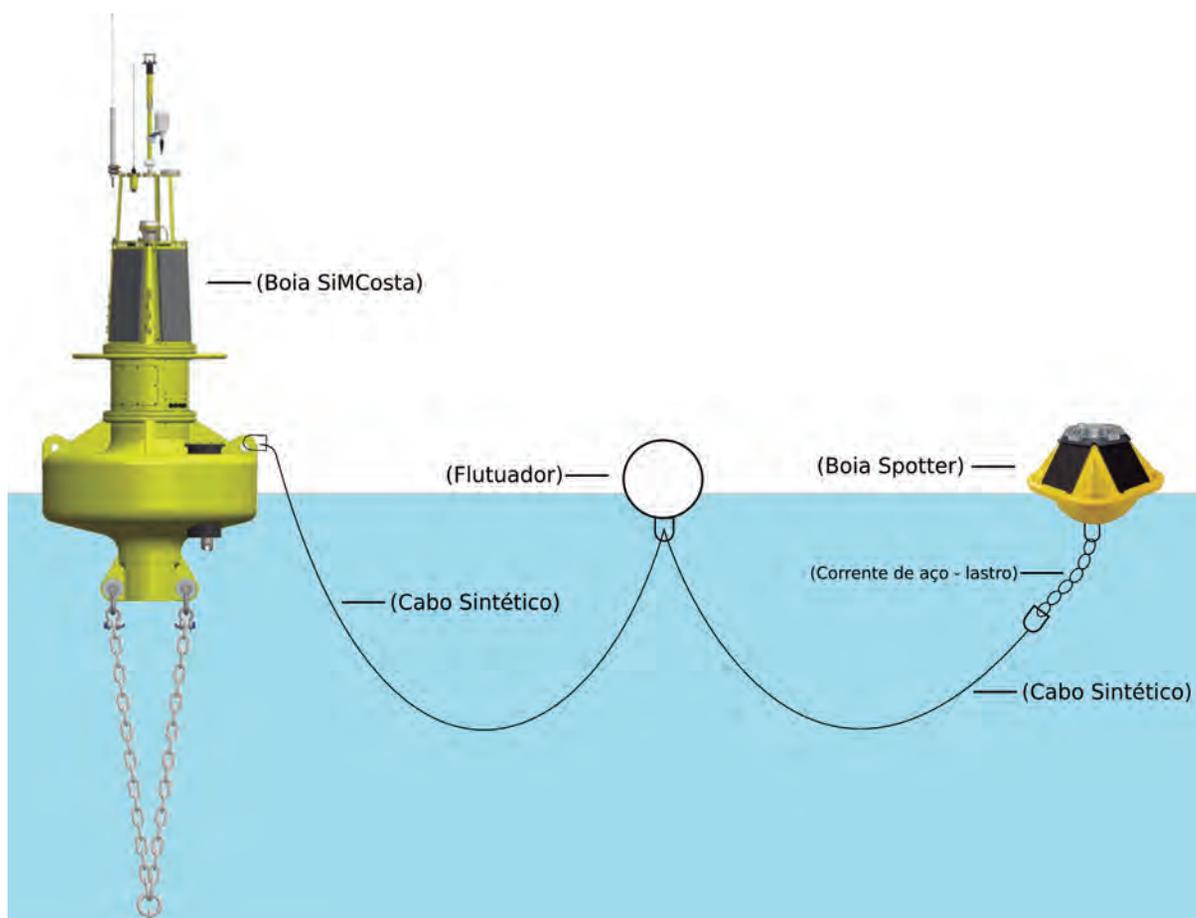


Figura 3— Esquema da linha de talingar unindo a *Spotter* (SOFAR) à boia *WatchKeeper* (AXYS) RJ-3 do SiMCosta.

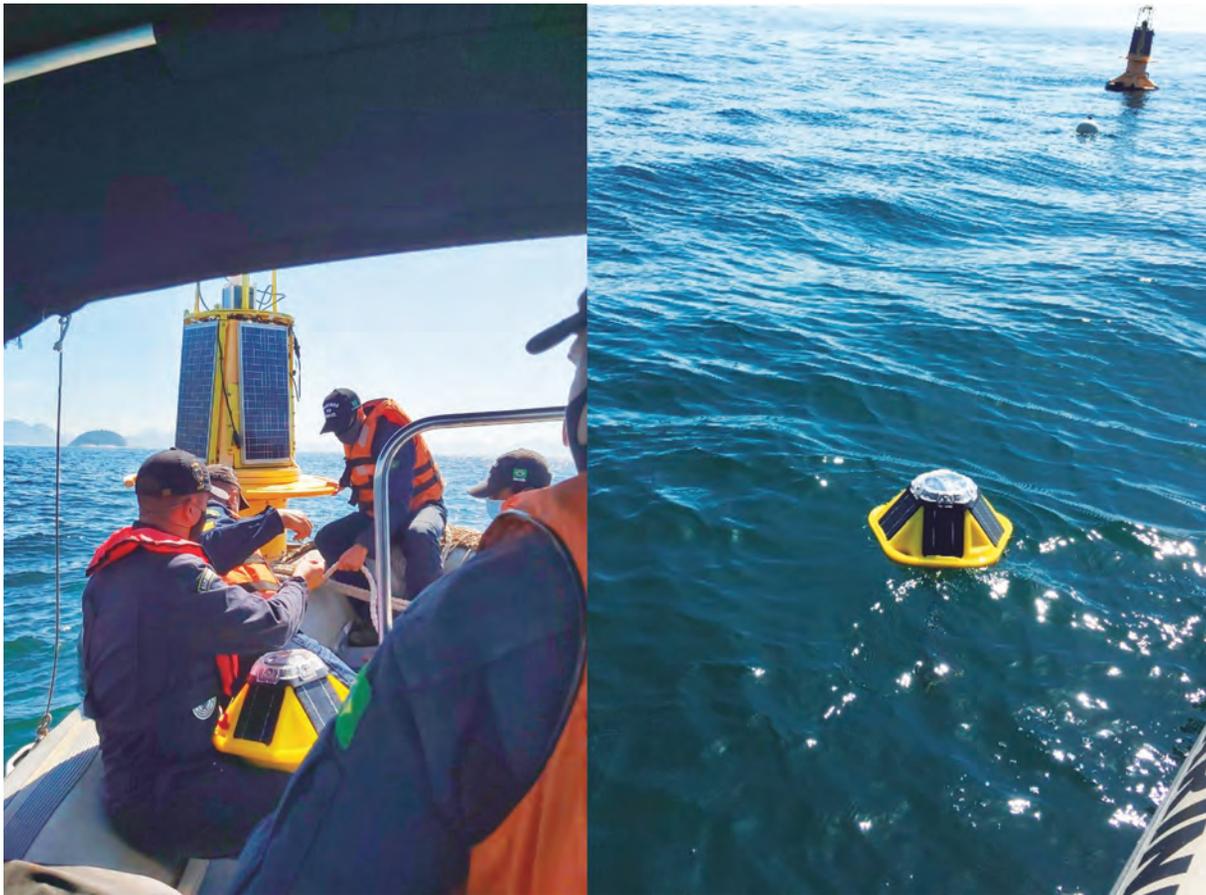


Figura 4— Lançamento da boia Spotter e vista do sistema em operação.

## 2.4 Processamento e transmissão dos dados

Os dados transmitidos pela boia *Spotter* em tempo quase-real foram submetidos a códigos de controle de qualidade, seguindo os procedimentos descritos no PNBOIA (2019). Posteriormente, de modo a permitir a comparação da *Spotter* com a boia RJ-3, cujos dados foram obtidos diretamente no site do projeto (SiMCosta, 2021), foi preciso ajustar a data-hora dos dados para hora cheia. Para o acompanhamento dos dados e da posição da boia *Spotter*

durante a operação, foi criado um sistema *web* (Figura 5) e um sistema de alerta de posição, no qual um alarme era disparado caso a boia ultrapassasse um raio de segurança previamente definido (Figura 6). Todo o desenvolvimento do sistema de processamento, distribuição e visualização desses dados foi feito em linguagem *Python*. A criação do sistema *web* foi realizada por meio da biblioteca *Dash by Plotly*, uma solução *open source* que possibilita a criação de visualização analítica, bem como sua hospedagem na internet.

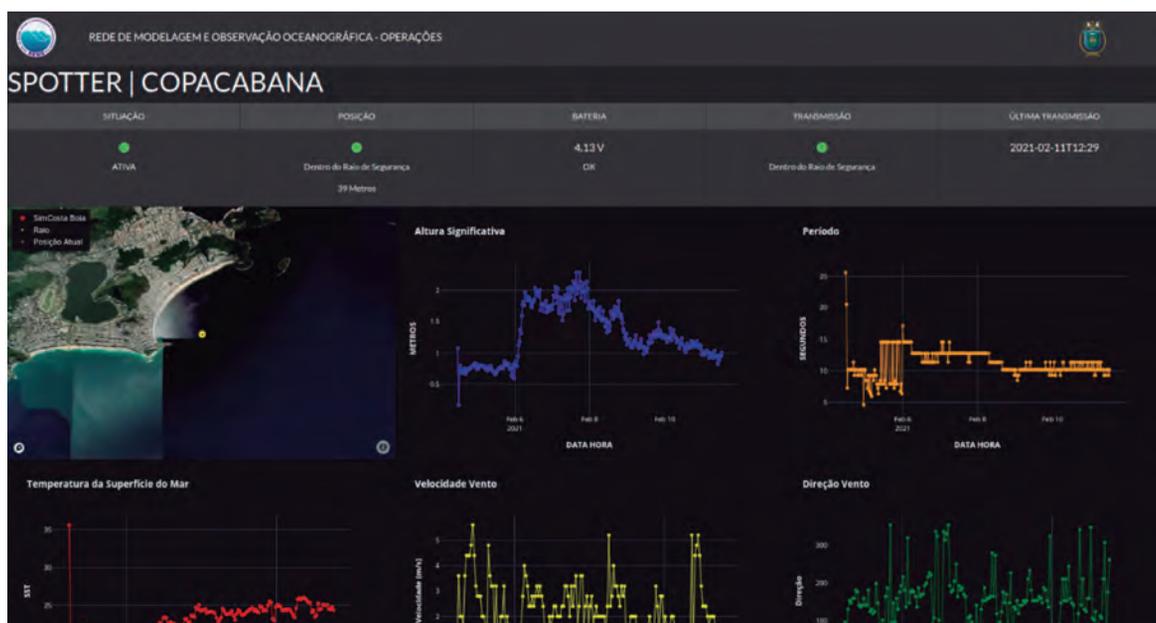


Figura 5— Imagem do Dashboard criado para o monitoramento em tempo real da operação. Além da visualização dos dados, também foi possível checar as informações sobre sua posição e o horário da última transmissão.

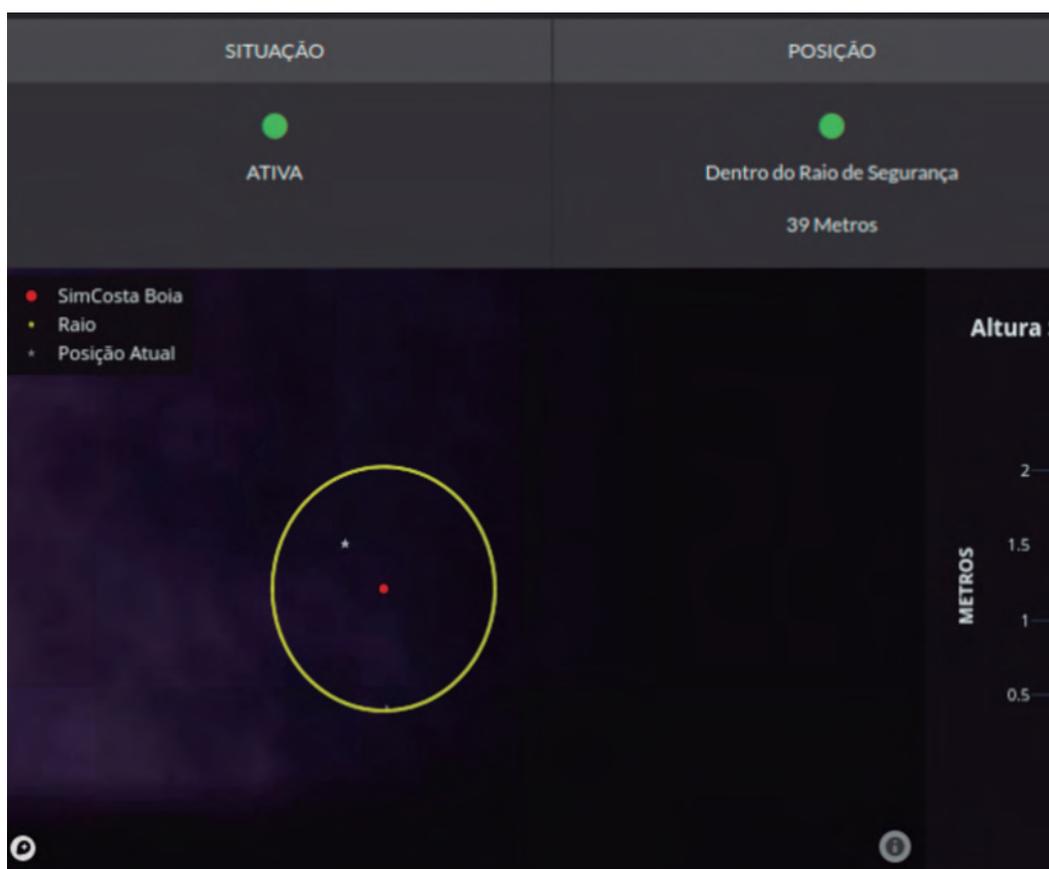


Figura 6— Imagem do Dashboard com destaque para o raio de segurança de 90 metros em torno do local de instalação da boia.

### 3. RESULTADOS

Os resultados são apresentados em três seções a seguir: dados de temperatura, vento e ondas. Nos gráficos de série comparativos, o instante em que há uma elevação rápida nos níveis de altura significativa foi sinalizado com uma linha tracejada, mostrando o efeito da ressaca no local.

#### 3.1 Temperatura da Superfície do Mar (TSM)

Antes da passagem da frente associada ao ciclone extratropical, a TSM observada sugere a influência da água mais fria advinda da ressurgência da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) nas proximidades do Cabo Frio

(Rodrigues & Lorenzetti, 2001) (Figura 7).

Com a intensificação do sistema de baixa pressão do ciclone e a passagem da frente associada e consequente mudança do campo de vento, espera-se a diminuição do processo de ressurgência e a advecção da Água Tropical presente na região da quebra de plataforma, influenciada pela Corrente do Brasil, para a plataforma continental interna, por transporte de Ekman, acarretando o aumento da TSM (Ekman, 1905; Silveira *et al.*, 2000). Tal efeito foi registrado pela boia *Spotter*, que, após a passagem do sistema frontal, mediu uma variação de temperatura de +7,9°C entre os dias 04 e 10 de fevereiro. Variação similar (+7,8°C) foi medida pela boia RJ-3 no mesmo período.

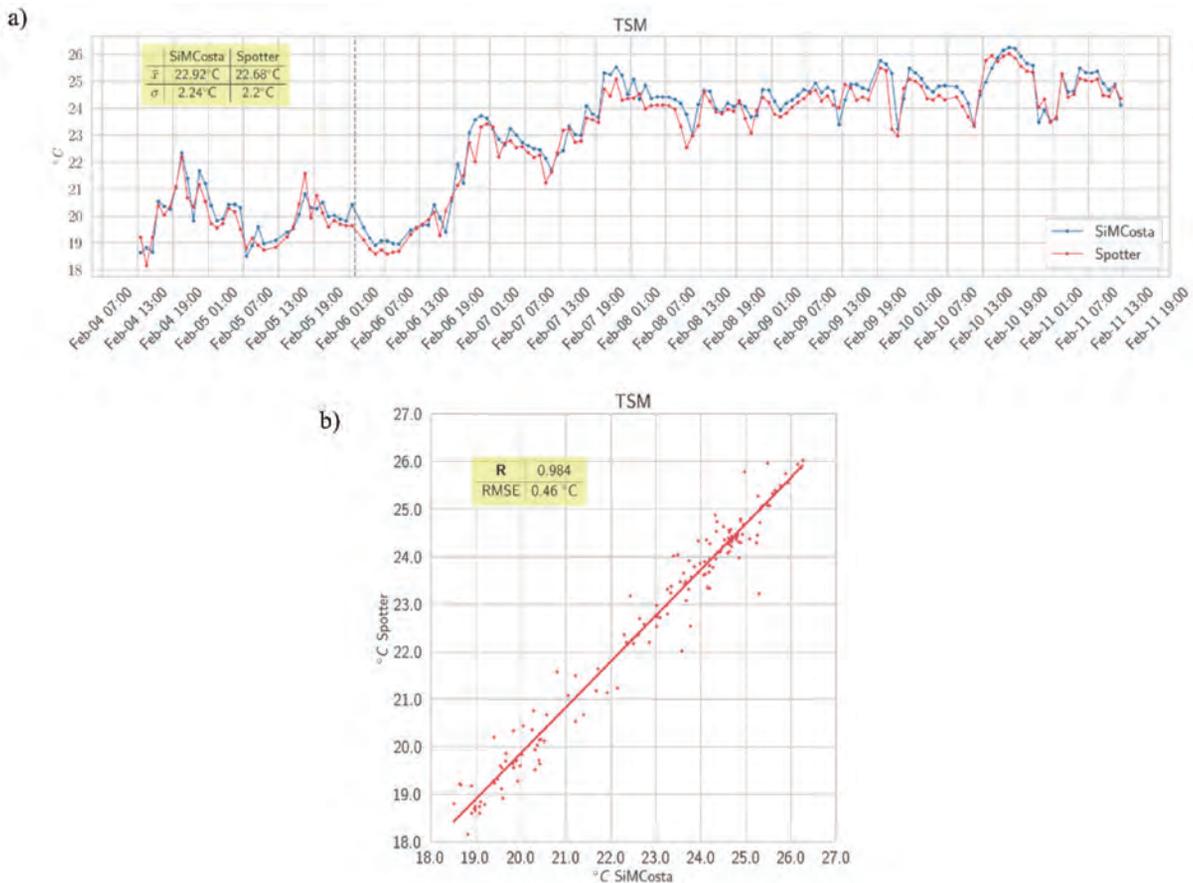


Figura 7— Painel a - Comparação entre os dados de TSM medidos pela Spotter (vermelho) e pela RJ-3 (azul). Painel b - Regressão linear e os valores para correlação de Pearson (R) e Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE).



O aumento da TSM registrado tanto pela *Spotter* quanto pela RJ-3 são corroborados pelos dados do *Multiscale Ultrahigh Resolution Sea Surface Temperature* (MUR SST) disponibilizados pelo *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) da agência espacial americana *National Aeronautics and Space*

*Administration* (NASA) (Figura 8). Os dados de TSM do MUR SST para a área de estudo apresentaram, em 04 de fevereiro, valores de TSM entre 20,9°C e 21,0°C, enquanto em 10 de fevereiro, os valores ficaram entre 25,9°C e 26,0°C, evidenciando, assim, um aumento de 5,0°C na TSM.

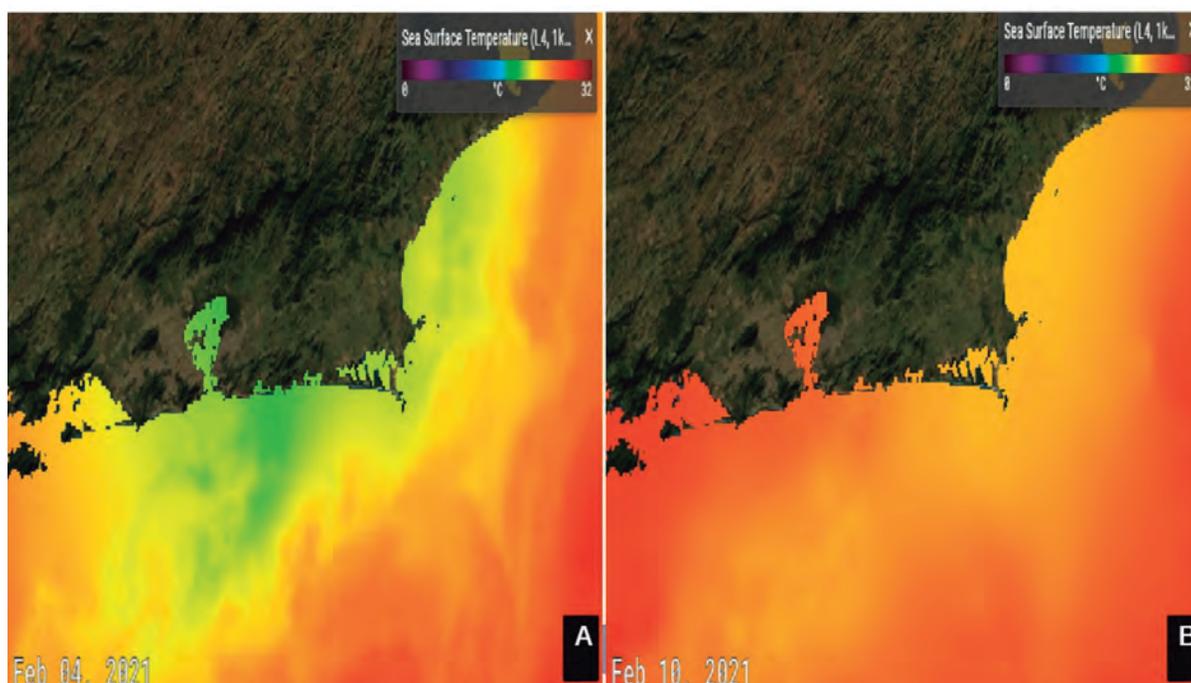


Figura 8— Variação da TSM entre os dias 04 e 10 de fevereiro. A) Ocorrência de ressurgência costeira (região em verde) antes da passagem da frente associada ao ciclone extratropical. B) Processo de ressurgência costeira interrompido após a passagem da frente associada ao ciclone extratropical e aumento da TSM junto à costa (JPL MUR MEaSURES Project, 2015).

### 3.2 Dados de Vento

O vento estimado pela boia *Spotter* a partir do campo de ondas apresentou direção predominante de S e SE, com intensidades entre 2 m/s e 6 m/s (Figura 9). Já as medições diretas de vento realizadas pela boia RJ-3 apresentaram comportamento distinto, com

maior frequência de ventos do quadrante N e maiores intensidades de WSW, com valores superiores a 7 m/s (Figura 9). Essa diferença se explica pelo fato de a boia *Spotter* não contar com um sensor para medição direta de ventos, conforme referido anteriormente. Esses valores são estimados a partir dos dados espectrais de onda (Voermans *et al.*, 2020).

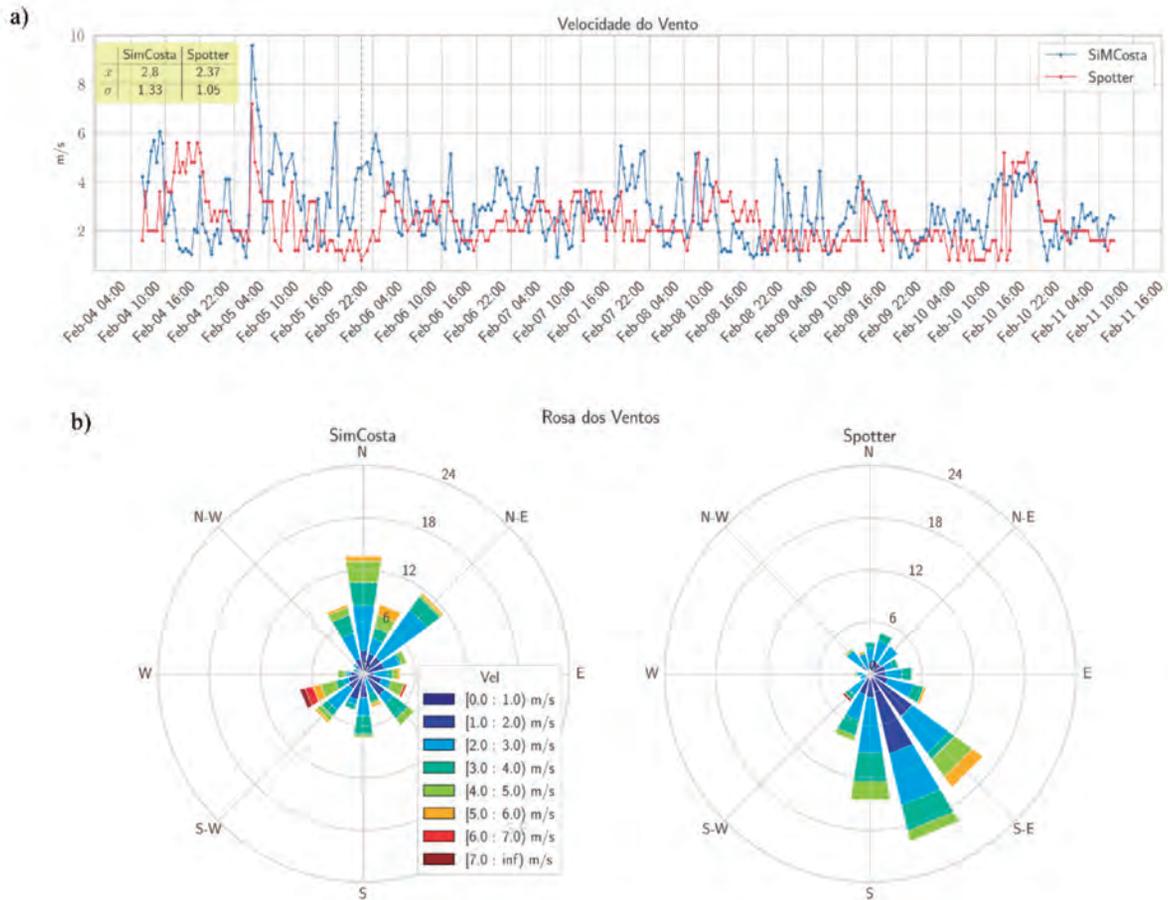


Figura 9 – Painel a: Comparação entre os dados de velocidade de vento calculados pela Spotter (vermelho) e medidos pelo SimCosta (azul). Painel b: Rosas dos Ventos com a frequência de ocorrência por direção (tamanho) e intensidade (cor).

### 3.3. Dados de Onda

Inicialmente, foi realizada uma avaliação do espectro não-direcional de ondas coletado pela boia *Spotter* (Figura 10). Nessa análise, é possível observar que até às 18 horas do dia 05 de fevereiro, o espectro de energia não apresentava um pico significativo.

Com o avanço do sistema frontal, verificou-se um aumento da energia das ondas, com períodos de pico ( $T_p$ ) em torno de 12-14 segundos, principalmente nos dias 06 e 07 de fevereiro. A partir desta última data, o evento perdeu força e o período dominante diminuiu até valores próximos a 10 segundos no final da campanha (11 de fevereiro, Figura 10).

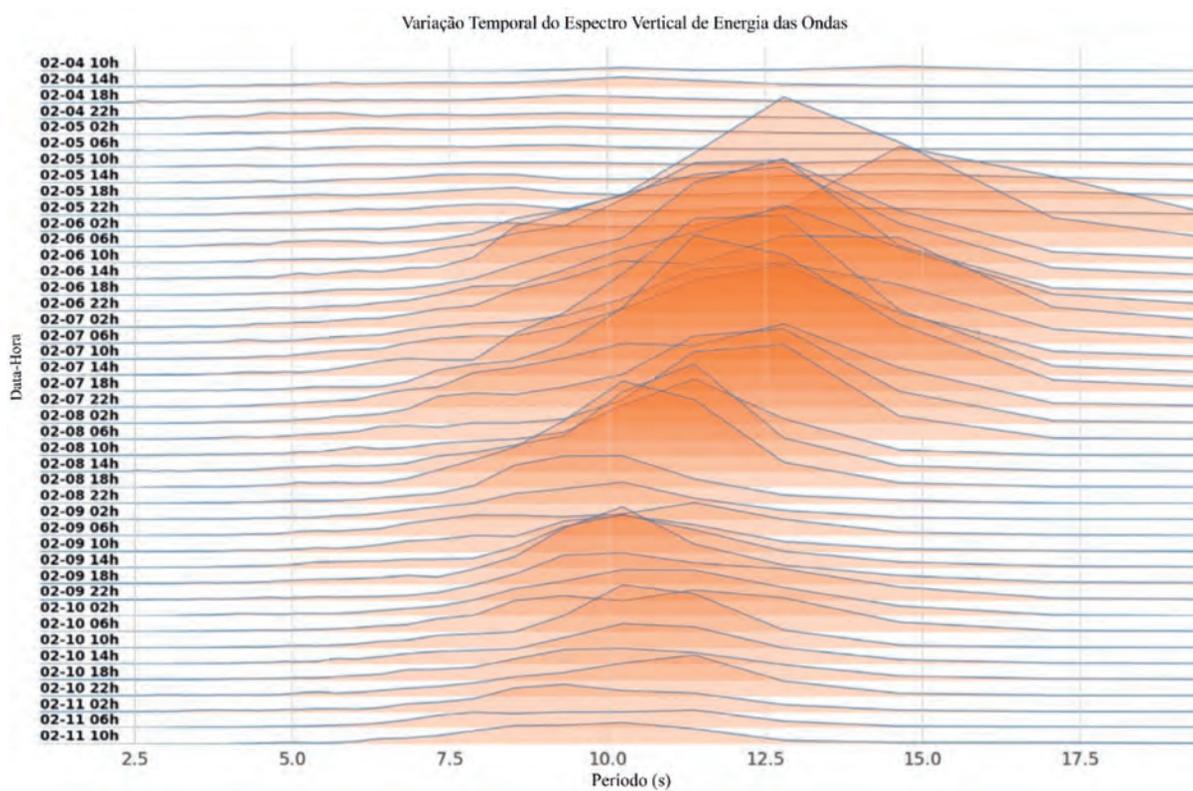


Figura 10 – Variação do espectro não-direcional de energia durante o período da campanha de medição de ondas.

A análise dos dados de  $H_s$  e  $T_p$  da boia *Spotter* permite observar o exato momento da chegada dos marulhos à Praia de Copacabana, às 22 horas do dia 05 de fevereiro (Figura 11). O maior valor de  $H_s$  foi 2,25 m. Com base na relação entre a altura máxima de onda ( $H_{max}$ ) e o  $H_s$ , calculou-se uma altura máxima individual superior a 4,5 m, o que confirmou o Aviso NR 071/2021 do SMM. Com relação ao  $T_p$ , foram observados valores superiores a 14 segundos no momento da chegada dos marulhos.

Ao compararmos os dados coletados pela *Spotter* com os da boia RJ-3, que utiliza um sensor de ondas TRIAXYS™, verificou-se boa correlação para o parâmetro  $H_s$  ( $R=0,987$ ). O mesmo não se pode afirmar a respeito da correlação de  $T_p$  ( $R=0,546$ ), cujo baixo valor de  $R$  reflete a variabilidade observada antes da chegada dos marulhos, e que também foi registrada pela RJ-3. Apesar disto, o gráfico de  $T_p$  revela que a média das medições da *Spotter* e da RJ-3 são similares durante toda a campanha, especialmente durante o evento de ressaca.

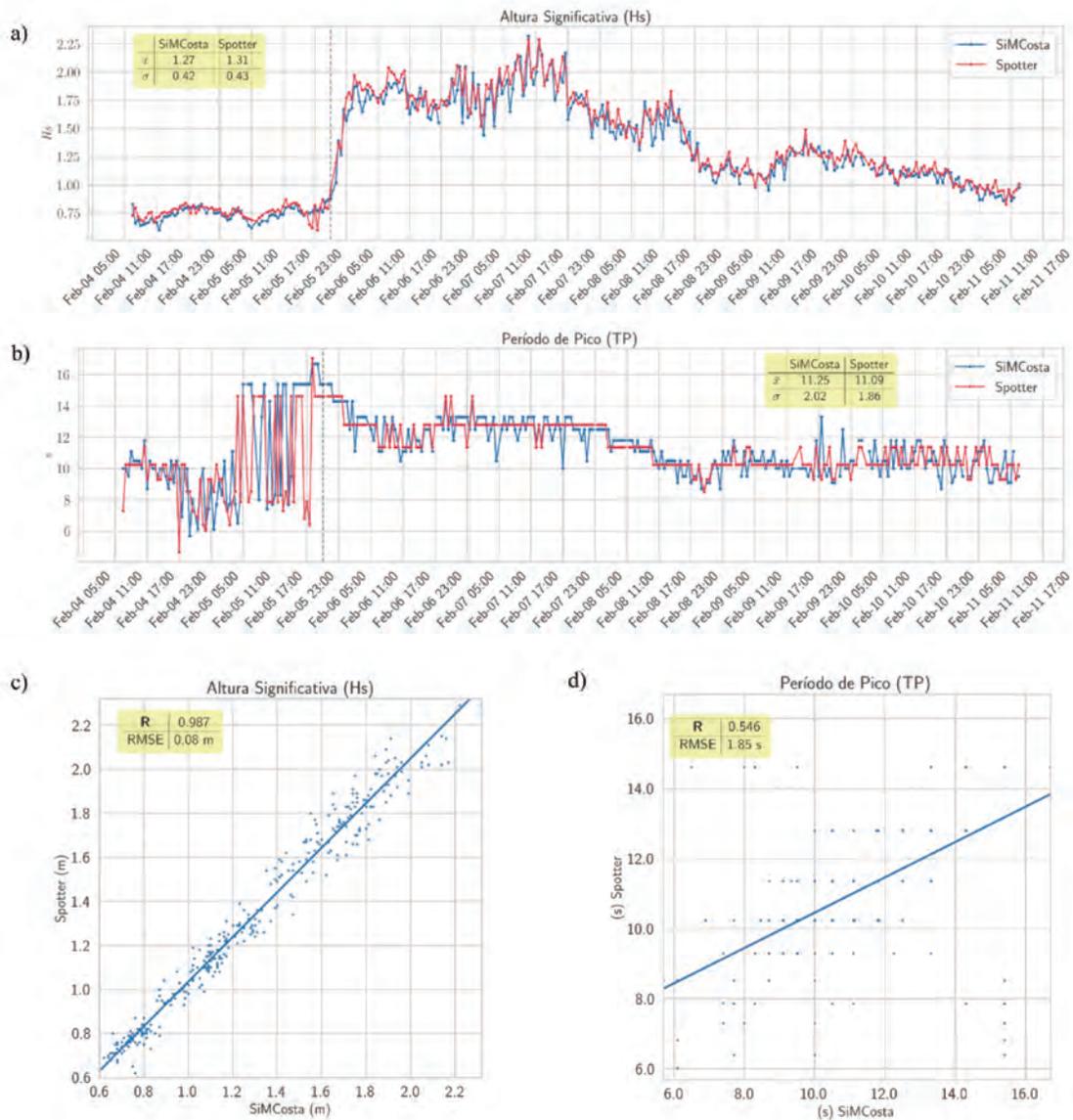


Figura 11 – Comparação entre os dados medidos pela Spotter (vermelho) e pelo SiMCosta (azul) para altura significativa (a) e período de pico (b). Regressão linear destacando a correlação de Pearson entre os dados (R) e a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) para altura significativa (c) e período de pico (d).

Os parâmetros período médio de onda ( $T_m$ ) e direção média de onda ( $D_m$ ) também apresentaram boa correlação entre as medições ( $R=0,975$  e  $R=0,957$ , respectivamente) (Figura 12). Contudo, observou-se que os valores estimados de  $T_m$  das boias RJ-3 e Spotter apresentaram uma diferença média de 1,2s (Figura 12). Algumas hipóteses

para tal diferença foram levantadas pelo fabricante, tais como: características distintas das linhas de fundeio e diferenças no processamento de dados e na sensibilidade dos sensores em diferentes faixas de frequência. Contudo, os dados do presente experimento não permitiram explicar essa diferença constatada.

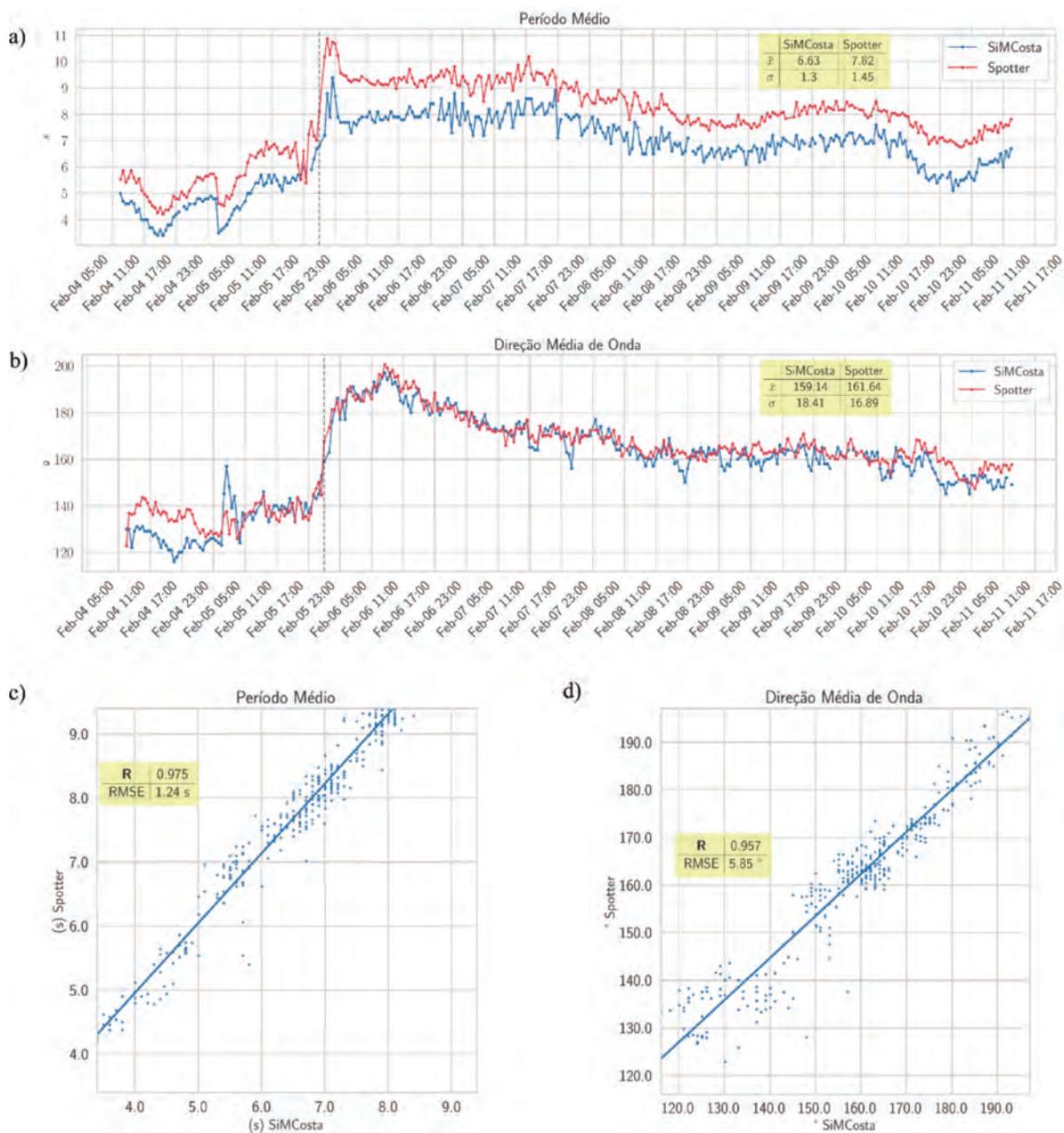


Figura 12 – Comparação entre os dados medidos pelas boias Spotter (vermelho) e RJ-3 SiMCosta (azul) para período médio (a) e direção média (b). Regressão linear destacando a correlação de Pearson entre os dados (R) e a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) para período médio (c) e direção média (d).



#### 4. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Uma boia Spotter equipada com sensor GPS para medição de agitação marítima foi empregada no monitoramento de um evento de ressaca na costa do Rio de Janeiro. Os dados coletados foram validados tomando-se por base as medições realizadas por uma boia meteoceanográfica de referência.

A análise dos dados revelou que os parâmetros Hs, Tm e Dm, obtidos a partir das medições realizadas pela boia Spotter, apresentaram alta correlação com os obtidos pelo sistema de referência. Com relação ao Tp, constatou-se uma baixa correlação em estados de mar de baixa energia, quando ambos os sistemas registraram uma alta variabilidade no parâmetro – fato não observado durante a ressaca. Apesar disso, os valores médios de Tp se mantiveram-se bem próximos durante toda a campanha.

O vento estimado a partir do sinal de alta frequência produzido pelo mar local medido pela Spotter não apresentou boa correlação com a medição direta realizada pela boia de referência.

Diante de tais resultados, concluímos que a boia Spotter é um equipamento adequado para monitoramento de eventos de ressaca. Considerando-se seu baixo custo de aquisição, instalação e operação, quando comparado a sistemas de referência de maior porte, a boia Spotter mostrou-se viável para emprego em campanhas de medição expeditas, tais como em operações militares

especiais em áreas costeiras, em que o conhecimento das condições ambientais resulta diretamente em vantagens operacionais.

Como perspectivas futuras, planejamos realizar experimentos de maior duração em região offshore, com o objetivo de avaliar esse sistema em estados de mar mais complexos e com diferentes estratégias de fundeio.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS) e pelo Centro de Hidrografia da Marinha, com investimento de recursos oriundos das cláusulas de PD&I autorizadas pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), por meio dos Termos de Cooperação No 2018/0206-1 e No 2018/0207-8, como parte do Projeto REMO. Agradecemos ao Projeto SiMCosta pela autorização para uso dos dados da boia RJ-3 e pelo apoio na instalação da boia Spotter. Agradecemos à Divisão de Previsão Numérica do CHM pelo fornecimento dos resultados dos modelos numéricos, e ao CAMR, pelo apoio logístico para o lançamento e recuperação da boia. O manuscrito deste trabalho foi revisado pelo Dr. Renato Parkinson Martins e pela Dra. Natália D'Ávila, a quem agradecemos pelos comentários e sugestões. Por fim, agradecemos ao Prof. Luciano Pezzi (INPE/DSR) e sua equipe pelo compartilhamento de informações sobre instalação da Spotter.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, T. A. A.; LÉLLIS, F. S.; CORREIA, F. R. S.; MORENO, D.; SILVA, M. V. (2018) *Análise de eventos de ressaca na costa brasileira através do fluxo de energia das ondas. Anais Hidrográficos*. Niterói (RJ): DHN, 2018.



BACH, V. R.; FERREIRA, T. (2017) A maior onda já registrada na costa brasileira. *Anais do XII Simpósio sobre Ondas, Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite*.

BACHMANN, C.M.; FUSINA, R.A.; NICHOLS, C.R.; MCDERMID, J. (2008) *Environmental Support to Amphibious Craft, Patrol Boats, and Coastal Ships: An Annotated Bibliography*. Naval Research Lab, Washington DC.

BRASIL. Marinha do Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). *NORMAN-19: Normas da Autoridade Marítima para as atividades de meteorologia marítima*. Niterói (RJ): DHN, 2018.

\_\_\_\_\_. Cartas sinóticas da DHN. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>> Acesso em 01 de abril de 2021.

CANDELLA, R.N.; SOUZA, S. M. L. (2013) Ondas oceânicas extremas na costa sul-sudeste brasileira geradas por ciclone com trajetória anormal em maio de 2011. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28(4), 441-456.

CANDELLA, R.N. (2016) Rogue waves off the south/southeastern Brazilian coast. *Natural Hazards*, 83(1), 211-232.

\_\_\_\_\_. (2019) Characteristics of ocean waves off Fortaleza, CE, Brazil, extracted from 1-year deep-water measured data. *Ocean Dynamics*, 69(10), 1239-1251.

COSTA JUNIOR, P. R.; FERREIRA, T. R. S.; D'ÁVILA, N. L.; PUHL, P. R.; DIAS, A. N. (2018) *Brazilian National Buoy Program: Strengths and Challenges*. DBCP-34, Cidade do Cabo, África do Sul.

EKMAN, V.W. (1905) On the influence of the earth's rotation on ocean-currents. *Arkiv för matematik, astronomi och fysik* 2(11): 52 p.

GRAMCIANINOV, C.B.; HODGES, K.I.; CAMARGO, R. (2019) The properties and genesis environments of South Atlantic cyclones. *Climate Dynamics*, 53(7), pp.4115-4140.

HOLLAND, K.T.; PULEO, J.; PLANT, N.G. (2004). *Remote Characterization of Littoral Dynamics in Support of Expeditionary Warfare*. Naval Research Lab, Stennis Space Center.

JPL MUR MEaSUREs Project (2015). *GHRSS Level 4 MUR Global Foundation Sea Surface Temperature Analysis*. Ver. 4.1. PO.DAAC, CA, USA. Dataset accessed [2021-04-07], disponível em: <<https://doi.org/10.5067/GHGMR-4FJ04>>.

LINS-DE-BARROS, F. M.; KLUMB-OLIVEIRA, L.; DE FRANÇA LIMA, R. (2018). Avaliação histórica da ocorrência de ressacas marinhas e danos associados entre os anos de 1979 e 2013 no litoral do estado do Rio de Janeiro (Brasil). *Journal of Integrated Coastal Zone Management/Revista de Gestão Costeira Integrada*, 18(2), 85-102.

MACHADO, J. P.; MIRANDA, G. S. B.; GOZZO, L. F.; CUSTÓDIO, M. D. S. (2019). Condições



Atmosféricas Associadas a Eventos de Ressaca no Litoral Sul e do Sudeste do Brasil durante o El Niño 2015/2016. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 34(4), 529-544.

MELO, E.; MACHADO, D.M.; LISBOA, R.C.; ROMEU, M.A.R. (2016) Overview of tide, wind and wave conditions along the Brazilian coast for coastal engineering practice. In: *IX PIANC- COPEDEC*, 9, 2016, Rio de Janeiro. Anais... 18p.

MORAIS J.O.; PINHEIRO L.S.; CAVALCANTE A.A.; PAULA D.P.; SILVA R.L. (2008) Erosão Costeira em Praias Adjacentes às Desembocaduras Fluviais: O Caso de Pontal de Maceió, Ceará, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 8(2):61–76.

OLIVEIRA, U.R.; SIMÕES, R.S.; CALLIARI, L.J.; GAUTÉRIO, B.C. Erosão de dunas sob ação de um evento extremo de alta energia de ondas na costa central e sul do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2019.

PAULA, D.P. (2012) *Análise dos riscos de erosão costeira no litoral de Fortaleza em função da vulnerabilidade aos processos geogênicos e antropogênicos*. Tese de doutoramento, Ciências do Mar (Gestão Costeira), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, Portugal, 2012.

PEREIRA, H.P.P.; VIOLANTE-CARVALHO, N.; NOGUEIRA, I.C.M.; BABANIN, A.; LIU, Q.; PINHO, U. F.; NASCIMENTO, F.; PARENTE, C. E. Wave observations from an array of directional buoys over the southern Brazilian coast. *Ocean Dynamics*, 2017.

PNBOIA (2019) *Manual de Controle de Qualidade dos Dados do PNBOIA*. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-goos-brasil/pnboia>>. Acessado em 26 de março de 2021.

RODRIGUES, R.R.; LORENZZETTI, J. A. (2001) A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the Southeast Brazilian coastal upwelling. *Continental Shelf Research*, v. 21(4): p.371-394.

RODRÍGUEZ, M.G.; NICOLODI, J.L.; GUTIÉRREZ, O.Q.; LOSADA, V.C.; HERMOSA, A.E. (2016) Brazilian coastal processes: wind, wave climate and sea level. In *Brazilian Beach Systems* (pp. 37-66). Springer, Cham.

ROMEU, M. A. R.; FONTOURA, J. A. S.; MELO, E. (2015) Typical scenarios of wave regimes off Rio Grande do Sul, southern Brazil. (Artigo - Journal of Coastal Research);

SARAIVA, J. M. B.; BEDRAN, C.; CARNEIRO, C. (2003) Monitoring of Storm Surges on Cassino Beach, RS, Brazil. *Journal of Coastal Research*, [s.l.], n. 35, p. 323-331.

SILVEIRA, I. C. A. DA; SCHMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOI, S. S. DE; IKEDA, Y. (2000) A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 48(2), 171-183.

SHIH, H.H. (2003). Triaxys Directional Wave Buoy for Nearshore Wave Measurements - Test and Evaluation Plan. *NOAA Technical Report NOS CO-OPS 38*. 40p.



SiMCosta (2021) Disponível em: <<https://simcosta.furg.br/home>>. Acesso em 05 de maio de 2021.

Smit, P. and Janssen, T.T. (2019) Innovations in Metocean Sensors. *Ocean Waves Workshop. 2*. Disponível em: <<https://scholarworks.uno.edu/oceanwaves/2019/Session2/2>>.

SOFAR INC. (2019) Disponível em: <[https://content.sofarocan.com/hubfs/Sofar\\_Mooring\\_guideline\\_10\\_14\\_19%20\(1\).pd](https://content.sofarocan.com/hubfs/Sofar_Mooring_guideline_10_14_19%20(1).pd)>. Acesso em 06 de abril de 2021.

SOREIDE, N.N.; WOODY, C.E.; HOLT, S.M. (2001) Overview of ocean based buoys and drifters: Present applications and future needs. In: *MTS/IEEE Oceans 2001. An Ocean Odyssey*. Conference Proceedings (IEEE Cat. No. 01CH37295). IEEE, 2001. p. 2470-2472.

SOUZA, M.H.S, PARENTE C.E. (1988) *Wave climate off Rio de Janeiro*. Coastal Eng Proc 1(21):261–269.

VOERMANS, J.J.; SMIT, P.B.; JANSSEN, T.T.; BABANIN, A.V. (2020) Estimating wind speed and direction using wave spectra. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125(2), p.e2019JC015717.

WANG, X.; JIANG, H. (2019) A 13-year global climatology of tropical cyclone warm-core structures from AIRS data. *Monthly Weather Review*, 147(3), pp.773-790.

WILSON, W.D.; E. SIEGEL, E. (2011) *Current and wave measurements in support of the Chesapeake Bay Interpretive Buoy System, IEEE/OES 10th Current, Waves and Turbulence Measurements (CWTM)*, Monterey, CA, USA, 2011, pp. 94-99. DOI: 10.1109/CWTM.2011.5759533.





# ESTUDO DA ANOMALIA DA COBERTURA DO GELO MARINHO NA REGIÃO DA PASSAGEM DE DRAKE DURANTE O VERÃO AUSTRAL DE 2015/2016 E SUA RELAÇÃO COM O ENOS

*Autores: Mariana Rocha Cardoso<sup>1</sup>  
Ana Cristina Pinto de Almeida Palmeira<sup>2</sup>  
CT (T) Rodrigo de Souza Barreto Mathias<sup>3</sup>  
Marie Fernanda Massarico Cardoso<sup>4</sup>*

## RESUMO

Em outubro de 2015, altas concentrações de gelo marinho foram observadas na parte sul da Passagem de Drake, nas proximidades da Ilha Rei George, e impossibilitaram a navegação entre o Chile e as Ilhas Shetland do Sul por navios brasileiros. Este trabalho se propõe a comparar a cobertura de gelo marinho e as Temperaturas da Superfície do Mar (TSM), observadas no último trimestre de 2015, com a climatologia dos 30 anos precedentes (1985-2015). Constatou-se que os meses de outubro e novembro de 2015 apresentaram anomalias positivas de concentrações de gelo marinho na área de

estudo, e que tal situação esteve associada a anomalias negativas de TSM de até 3°C. Com base nas pesquisas realizadas sobre teleconexões atmosféricas entre o *El Niño*-Oscilação Sul (ENOS) e a Antártica, sugere-se que as anomalias de TSM sobre o Drake Sul e o Mar de Bellingshausen estiveram associadas ao intenso evento *El Niño* de 2014/2016.

## Palavras-chave:

Gelo marinho; Antártica; ENOS.

## ABSTRACT

In October 2015, high concentrations of sea ice were observed in the southern

---

<sup>1</sup> Graduada e mestranda em Meteorologia pela UFRJ.

<sup>2</sup> Graduada em Meteorologia pela UFRJ, mestre e doutora em Meteorologia pela USP, e professora do Departamento de Meteorologia da UFRJ.

<sup>3</sup> Capitão-Tenente (T), graduado e mestre em Meteorologia pela UFRJ, e professor de Meteorologia do CIAARA pelo Magistério Militar Naval.

<sup>4</sup> Graduada em Física pelo Instituto Federal de São Paulo (IFSP), mestre e doutoranda em Meteorologia pela USP.



part of Drake Passage, near King George Island, and made navigation impossible between Chile and the South Shetland Islands by Brazilian Navy ships. The present work aims to compare the sea ice cover and the Sea Surface Temperatures (SST), observed in the last quarter of 2015, with the climatology of the previous 30 years (1985-2015). It was found that the months of October and November 2015 presented positive anomalies in sea ice concentrations in the studied area, and this situation was associated with negative SST anomalies up to 3°C. Based on research about atmospheric teleconnections between the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and Antarctica, it is suggested that the SST anomalies over the Southern Drake and the Bellingshausen Sea were associated with the intense El Niño event of 2014/2016.

**Keywords:**

Sea Ice; Antarctica; ENSO.

**1. INTRODUÇÃO****1.1 A Operação Antártica Brasileira 2015/2016 (XXXIV OPERANTAR)**

Segundo a Secretaria da Comissão Interministerial para Recursos do Mar (SECIRM, 2021), o Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), criado em 1982, tem por objetivo a promoção de pesquisa científica diversificada na região antártica, com a finalidade de compreender os fenômenos que tenham repercussão global e, em particular, sobre o território brasileiro, o que coloca o Brasil em posição de destaque, principalmente em temas ligados à Biologia Marinha, Glaciologia, Oceanografia, Meteorologia Antártica, etc. O desenvolvimento de pesquisas na Antártica também permite que o Brasil se mantenha como membro consultivo do Tratado da Antártica,

tendo o direito de participar das decisões sobre o futuro do continente.

A Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), estação brasileira que serve de base para o Brasil na Antártica, foi inaugurada em 6 de fevereiro de 1984 e está localizada na Península Keller, no interior da Baía do Almirantado, na Ilha Rei George, sendo o local que abriga a comissão brasileira durante todo o ano.

Em apoio à OPERANTAR, a Marinha do Brasil possui dois navios que operam em águas polares, o Navio Polar “Almirante Maximiano” e o Navio de Apoio Oceanográfico “Ary Rongel”. Esses navios são responsáveis pela logística entre o Brasil e a EACF, além de serem devidamente equipados para a realização de análises e pesquisas biológicas, geológicas e meteorológicas (SECIRM, 2021). Anualmente, em outubro, os navios partem do Rio de Janeiro (RJ) em direção ao continente antártico, lá permanecendo por cerca de cinco meses.

A OPERANTAR é cuidadosamente planejada com o auxílio de diversos setores do governo, mas possui limitações impostas pelas dificuldades de traslado de pessoal e material em regiões mais hostis, principalmente a Passagem de Drake. A alta variabilidade das condições atmosféricas e as peculiares características oceânicas das altas latitudes impõem os princípios da paciência, observação e oportunidade durante a execução das atividades no ambiente antártico.

Na fase inicial da OPERANTAR XXXIV (2015/2016), houve um atraso de mais de duas semanas no cronograma, ocasionado pela impossibilidade de travessia da Passagem de Drake, em função da presença de uma espessa camada de gelo marinho nas proximidades da Ilha Rei George. De acordo com as informações contidas em cartas de gelo, dados de boias meteoceanográficas e imagens de satélite, os navios não teriam condições de navegar em segurança, pois

havia uma extensa e concentrada cobertura de gelo desde a Ilha Rei George até a porção Sul do Drake. Para os navios brasileiros que operam na Antártica desde a década de 1980, a alta concentração de gelo nessa área não é uma ocorrência comum em outubro, e não tinha sido relatada até outubro de 2015.

A análise da situação glaciológica levou à postergação da primeira travessia do Drake a ser realizada pela Operação Antártica daquele ano, que estava programada para ocorrer entre os dias 18 e 21 outubro de 2015, porém foi concluída apenas no dia 7 de novembro daquele ano. Também houve o cancelamento do primeiro voo de apoio da Força Aérea Brasileira (FAB) entre Punta Arenas, no Chile, e a Base Aérea chilena Presidente Eduardo Frei Montalva, na Ilha Rei George, acarretando o atraso da rendição do Grupo-Base da EACF e reduzindo significativamente o tempo para as passagens de funções na Estação.

## 1.2 Região de Estudo

Quinto continente em extensão, e o único sem divisão geopolítica, a Antártica e

as ilhas que a cercam perfazem uma área aproximada de 14 milhões de km<sup>2</sup>, cerca de 1,6 vez maior que a área do Brasil ou 10% da superfície da Terra (Machado *et al.*, 2006).

A Antártica possui papel importante no balanço de energia do planeta, pois controla a circulação atmosférica nas regiões de latitudes altas e médias do Hemisfério Sul. A Antártica e o Ártico são os dois sorvedouros de energia da Terra, sendo o papel da Antártica mais destacado, devido às suas dimensões continentais, sua elevação e o alto albedo decorrente da sua cobertura de neve e gelo. Diferentemente do polo norte, que possui imensas áreas cobertas por neve e gelo que variam sazonalmente e respondem de forma rápida às mudanças de temperatura, o continente antártico é coberto por uma superfície de gelo permanente e, dessa forma, o gelo marinho que o circunda possui elevado potencial de contribuir para a mudança e a variabilidade do clima (Turner, 2004).

A Península Antártica (Figura 1a) é uma cordilheira com altitude média de 1.500 m e mais de 1.500 km de extensão no sentido norte-sul. Localiza-se numa região onde a variabilidade de sistemas

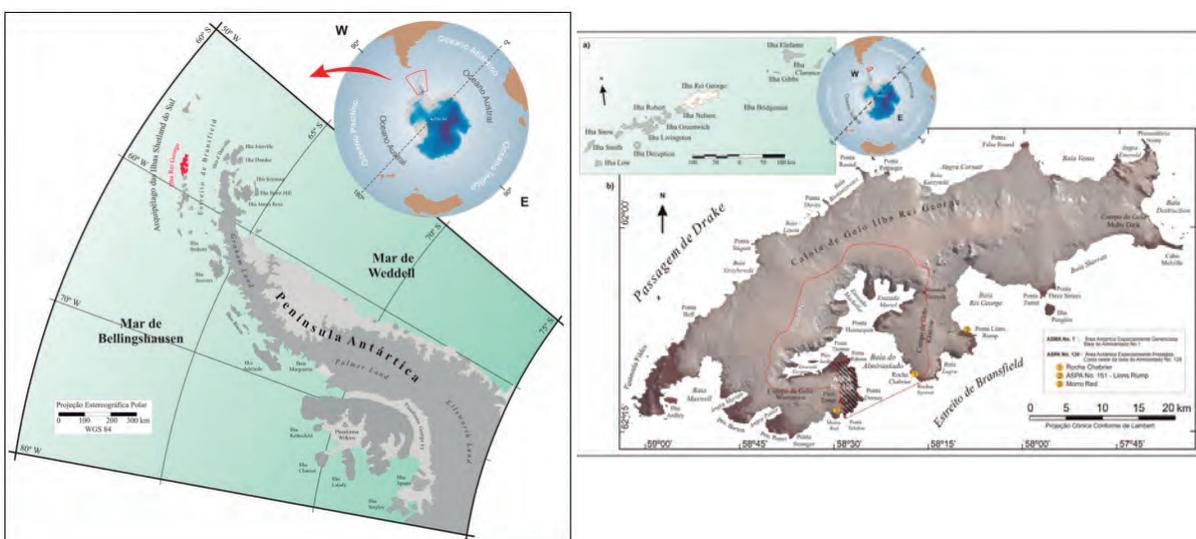


Figura 1 – Península Antártica (a) (Fonte: Burgobraga, 2010. Adaptado de Parnow *et al.*, 2007); e Ilha Rei George (b) (Fonte: Burgobraga, 2010. Adaptado de Arigony-Neto (2001).



meteorológicos é muito alta, até mesmo algumas vezes em uma mesma semana, o que propicia variações do tempo muito rápidas (Machado *et al.*, 2006).

A Ilha Rei George (Figura 1b) está localizada ao norte da Península Antártica, entre a Passagem de Drake e o Estreito de Bransfield. Já a EACF fica na face leste da Península Keller, entre as Enseadas Mackellar e Martel, no interior da Baía do Almirantado.

### 1.3 Gelo Marinho na Antártica

A criosfera no oceano antártico é um ativo componente no clima global. É também influenciada por muitas variabilidades climáticas locais, regionais e remotas, em períodos que variam desde a escala sinótica até escalas de tempo geológicas (Yuan, 2004).

Na Antártica, o gelo marinho inicia sua formação ao redor das margens continentais e se expande. No inverno, esse gelo ocupa uma área oceânica de cerca de 20 milhões de km<sup>2</sup>, diminuindo consideravelmente no verão, quando ocupa uma área de, aproximadamente, 2 milhões de km<sup>2</sup> (Figura 2).

A formação do gelo marinho é um processo relativamente lento e complexo, que começa quando a temperatura do ar está fria o suficiente para diminuir a temperatura de uma coluna d'água do mar ao ponto de congelamento. Segundo a agência governamental americana *National Snow and Ice Data Center* (NSIDC), o gelo marinho inicia sua formação com o resfriamento da coluna d'água até cerca de 100/150 metros de profundidade a temperaturas próximas ao seu ponto de congelamento (-1,8°C).

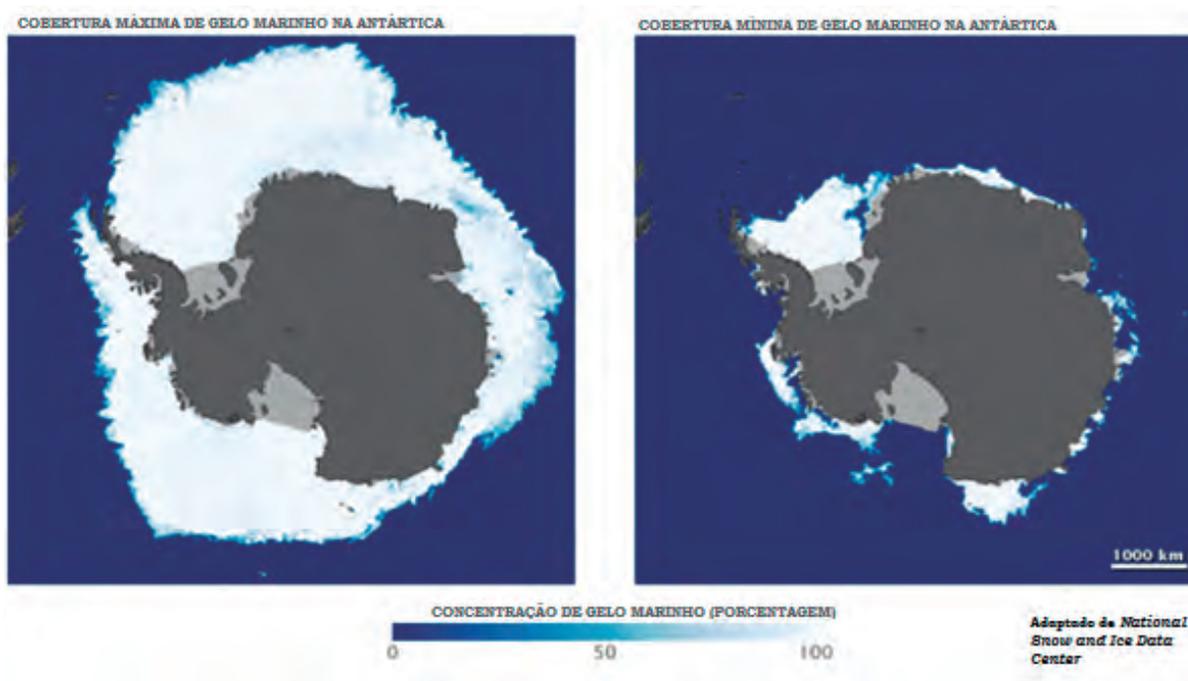


Figura 2 – Máximo (setembro) e mínimo (fevereiro) climatológicos do gelo marinho na Antártica. Adaptado do sítio de internet do National Snow and Ice Data Center – Sea Ice.



#### 1.4 El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e Teleconexões

O fenômeno ENOS representa o aquecimento/resfriamento anormal das águas superficiais e subsuperficiais do Oceano Pacífico Equatorial (valores de +/- 0,5°C por 3 meses consecutivos). Essas anomalias do sistema climático representam uma alteração do sistema oceano-atmosfera no Oceano Pacífico tropical e geram consequências climáticas em todo o planeta.

A influência das perturbações geradas na atmosfera e nos oceanos pelos fenômenos *El Niño* e *La Niña* na modulação dos extremos sazonais do gelo marinho é evidente sobre algumas regiões antárticas. Teleconexões entre a Antártica e os trópicos têm sido documentadas em diversos trabalhos como em Liu *et al.* (2002), Yuan (2004) e Turner (2004).

Em escala interanual, aquecimentos ou resfriamentos anômalos das águas superficiais na região do Oceano Pacífico tropical, causados pelas diferentes fases do ENOS, alteram as células de circulação atmosférica de grande escala, gerando impactos na variabilidade do gelo marinho antártico (Liu *et al.*, 2002).

Paolo *et al.* (2018) constataram que, em períodos intensos de *El Niño*, as plataformas de gelo no setor Pacífico da Antártica sofrem um aumento na altura devido à acumulação de gelo novo, observado sobretudo na escala interanual.

Lima (2007) mostra relações estatisticamente significativas entre a quantidade de extremos sazonais da área do gelo marinho associada a eventos de ENOS. Nesse trabalho, os eventos de *El Niño* foram associados a anomalias positivas de gelo marinho no Mar de Weddell no verão austral.

Massarico Cardoso (2019) estudou a influência do ENOS no gelo marinho no mar de Weddell e, através de análise de causalidade, verificou uma alta densidade de energia na região em torno da Península Antártica, no período intra-anual e interanual.

A Figura 3 exemplifica o fenômeno de teleconexão *El Niño*-Antártica. O mecanismo ocorre da seguinte forma: a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) começa a aumentar na região do Pacífico Equatorial, intensificando o gradiente de temperatura equador-polo. Isso irá fortalecer e contrair a célula atmosférica de Hadley, no leste do Pacífico Equatorial, aumentando a banda de convecção nessa região. Como consequência, o Jato Subtropical é reforçado e deslocado em direção ao Pacífico Sul, e a célula de Ferrel é fortalecida no Pacífico Sul e enfraquecida no Atlântico Sul. Dessa forma, o fluxo de calor meridional será alterado, com mais calor sendo transportado em direção aos polos.

Essa variação no transporte de calor em direção aos polos devido à circulação meridional contribui para a formação de sistemas de alta pressão anômalos no Pacífico Sul, sobre o mar de Bellingshausen, propiciando a formação de bloqueios atmosféricos. A circulação anticiclônica anômala transporta o ar quente das latitudes mais baixas para a região polar, no Pacífico Sul, e o ar frio antártico em direção aos mares de Weddell e Bellingshausen (Carpenedo, 2017). Além disso, o Jato Polar enfraquecido resulta em menor atividade ciclônica no sudeste do Pacífico, o que também favorece a formação de centros de alta pressão anômalos nessa região. O transporte de ar mais frio do continente antártico em direção ao mar favorece o aparecimento de anomalias negativas de TSM sobre os mares de Weddell e Bellingshausen.

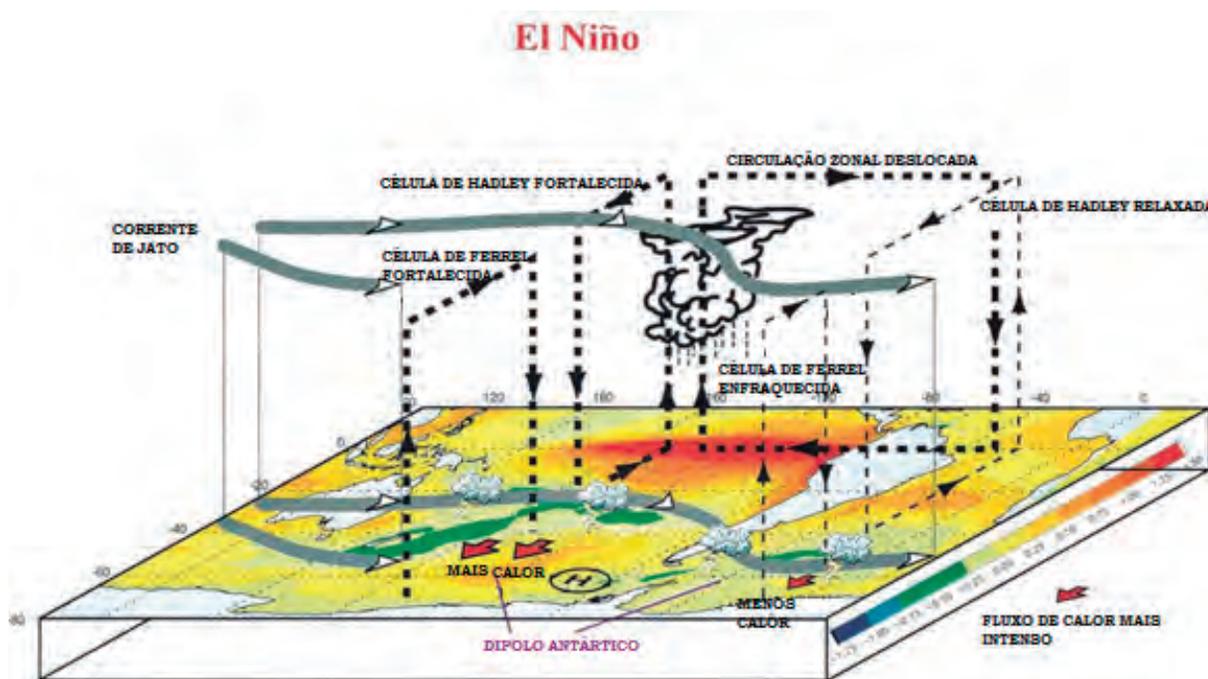


Figura 3 – Exemplificação do mecanismo de teleconexão entre El Niño e Antártica. Adaptada de Yuan (2004).

## 2. OBJETIVOS

O objetivo principal do presente trabalho é verificar o comportamento da TSM e da cobertura de gelo marinho na região antártica, nos meses de outubro a dezembro de 2015, que possa explicar a ocorrência de altas concentrações de gelo na Passagem de Drake durante a fase inicial da OPERANTAR 2015/2016. O estudo também se propõe a correlacionar o evento observado com possíveis teleconexões atmosféricas entre o Oceano Pacífico equatorial e a região antártica, de acordo com as referências bibliográficas apresentadas anteriormente.

## 3. METODOLOGIA

Foram utilizados dados de análise de alta resolução de satélites da agência governamental americana *National Oceanic and*

*Atmospheric Administration* (NOAA). As informações oriundas da Interpolação Ótima da NOAA (OISST) compõem uma série de produtos de análise global, baseados em uma combinação de estimativas por satélites com medidas feitas por plataformas *in situ* (navios e boias), para cada 6 horas, e com uma grade que varia de 1,0° a 0,25° de resolução espacial. Neste trabalho, foi utilizada a grade de maior resolução (0,25°).

Foram calculadas as médias quinzenais de TSM e de concentração de gelo marinho para o período entre os anos de 1985 e 2015, utilizando o software *GrADS* (*The Grid Analysis and Display System*). A partir dessas informações, foram obtidas as anomalias de concentração de gelo e de TSM na área entre 40°S e 90°S e 090°W e 040°W, entre os meses de outubro e dezembro de 2015, que compreende o período em que os navios polares brasileiros enfrentaram dificuldades

com a alta concentração de gelo marinho durante aquela OPERANTAR.

Além das análises da NOAA, foram utilizados dados coletados pelo Navio Polar “Almirante Maximiano” e pelo Navio de Apoio Oceanográfico “Ary Rongel”, os dados de boias e outros navios no *Global Telecommunication System* (GTS), disponibilizados pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), e cartas de gelo elaboradas pelo centro americano *National Ice Center* (NIC), contendo análises subjetivas de gelo marinho com base em imagens de satélite de alta resolução.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo o *Climate Prediction Center* (CPC), órgão integrante da NOAA, um evento *El Niño* estabeleceu-se desde o último trimestre do ano de 2014 até o segundo trimestre de 2016. Entre setembro e dezembro de 2015, o fenômeno atingiu seu ponto máximo com um índice *Niño* entre 2,4 e 2,6 (anomalias positivas de TSM na região 3.4 do Pacífico Equatorial – entre 05°N e 05°S e 120°W e 170°W).

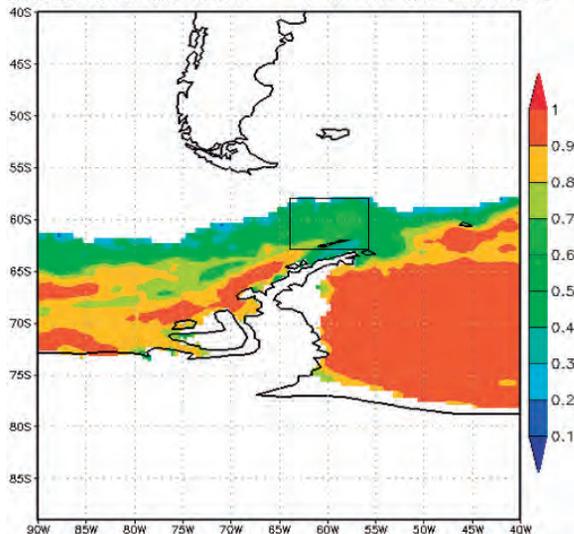
#### 4.1 Cobertura de Gelo

A cobertura de gelo da região de interesse na Antártica foi analisada quinzenalmente, nos períodos compreendidos entre os dias 01 e 15 e 16 e 31 de outubro, novembro e dezembro.

Os resultados apresentados nas figuras a seguir representam as concentrações de gelo marinho e suas anomalias em décimos. Ou seja, para a avaliação da cobertura de gelo marinho, estima-se a divisão da área marítima observável em dez partes iguais e contabiliza-se as partes cobertas por gelo.

A primeira quinzena de outubro de 2015 (Figura 4), apresentou altas concentrações de gelo marinho (média entre 6 e 8 décimos) na região do Drake Sul, ao norte da Ilha Rei George e ao sul de 58°S, com anomalias positivas médias entre 3 e 4 décimos de gelo. Na segunda quinzena de outubro (Figura 5), que corresponde ao período em que estava planejada a travessia do Drake pelos navios brasileiros, a mesma área apresentou concentrações médias entre 4 e 7 décimos de gelo, com anomalias médias positivas de 1 a 3 décimos de gelo marinho.

Cobertura de Gelo – 1 a 15 de Outubro



Anomalia da Cob.Gelo – 1 a 15 de Outubro

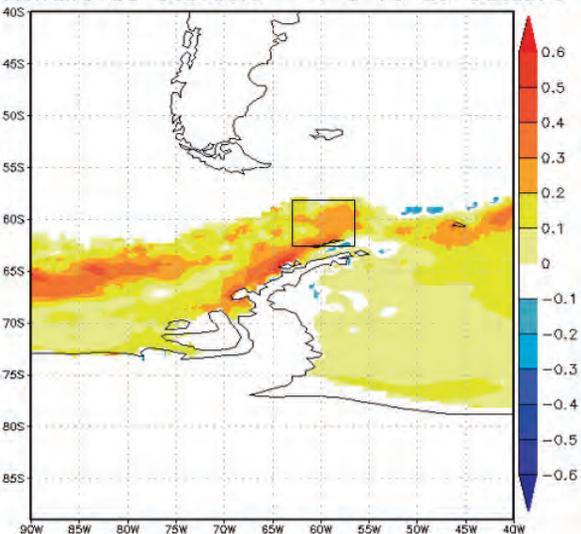


Figura 4 – Concentração de gelo marinho (a) e anomalia da concentração de gelo (b) na primeira quinzena de outubro de 2015.

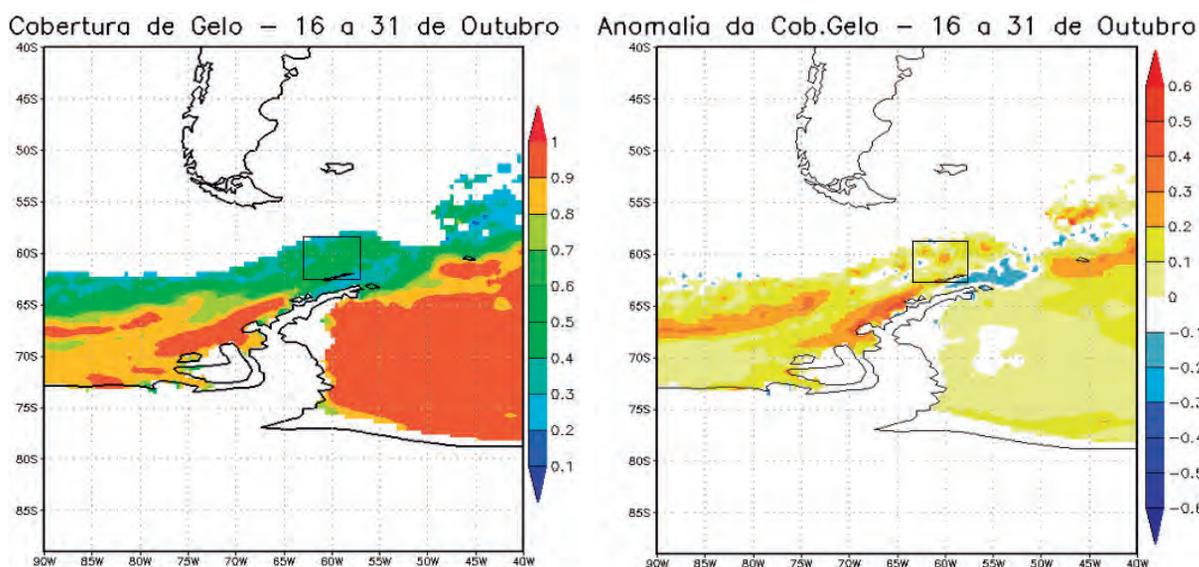


Figura 5 – Concentração de gelo marinho (a) e anomalia da concentração de gelo (b) na segunda quinzena de outubro de 2015.

A região analisada, no mês de novembro de 2015, apresentou progressiva redução da concentração de gelo. A primeira quinzena (Figura 6), apresentou concentrações entre 3 e 6 décimos, com anomalias médias positivas entre 1 e 3 décimos de gelo.

Na segunda quinzena de novembro (Figura 7), a área apresentou concentrações

médias entre 1 e 3 décimos de gelo, com anomalias médias positivas de até 1 décimo de gelo marinho.

No mês de dezembro (não mostrado), não houve cobertura de gelo apreciável ou anomalias positivas de cobertura de gelo. Portanto, em termos de gelo marinho, a região voltou à normalidade em dezembro de 2015.

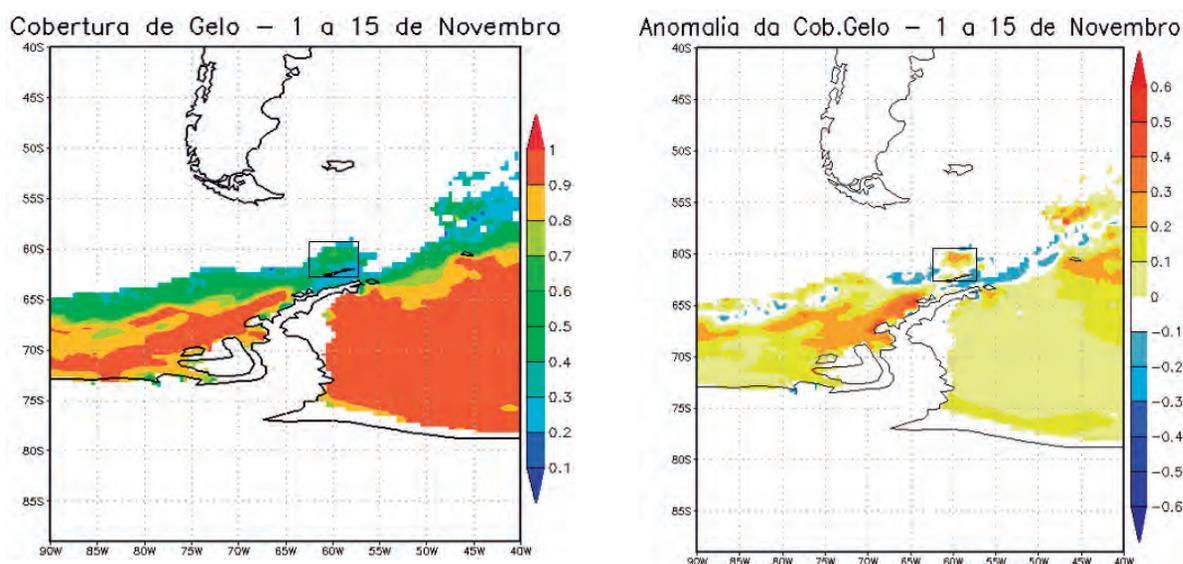
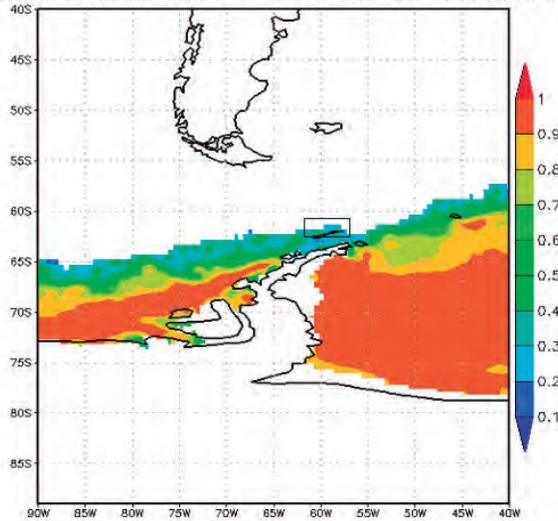


Figura 6 – Concentração de gelo marinho (a) e anomalia da concentração de gelo (b) na primeira quinzena de novembro de 2015.

Cobertura de Gelo – 16 a 30 de Novembro



anomalia da Cob.Gelo – 16 a 30 de Novembro

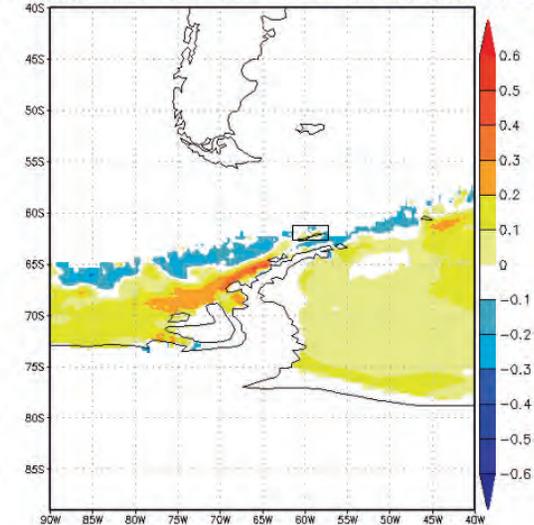


Figura 7 – Concentração de gelo marinho (a) e anomalia da concentração de gelo (b) na segunda quinzena de novembro de 2015.

#### 4.2 Temperatura da Superfície do Mar (TSM)

A TSM, durante o mês de outubro, em grande parte da Passagem de Drake esteve com valores próximos ou abaixo de  $-1,8^{\circ}\text{C}$ , que é o ponto aproximado de congelamento da água do mar. As cartas de análise de gelo disponibilizadas, semanalmente, pelo *National Ice Center* (NIC) à OPERANTAR (Figura 8),

indicavam que o gelo marinho que derivava do Mar de Bellingshausen em direção ao Drake Sul, por meio da corrente circumpolar antártica, encontrava um ambiente desfavorável ao seu derretimento devido aos valores de TSM entre  $-1^{\circ}\text{C}$  e  $-2^{\circ}\text{C}$  (Figura 9a). Os baixos valores de TSM foram confirmados por dados de boia de deriva sobre o Drake (Figura 9b), que registrou a temperatura de  $-2^{\circ}\text{C}$  nas proximidades da latitude  $60^{\circ}\text{S}$  no dia 18 de outubro de 2015.

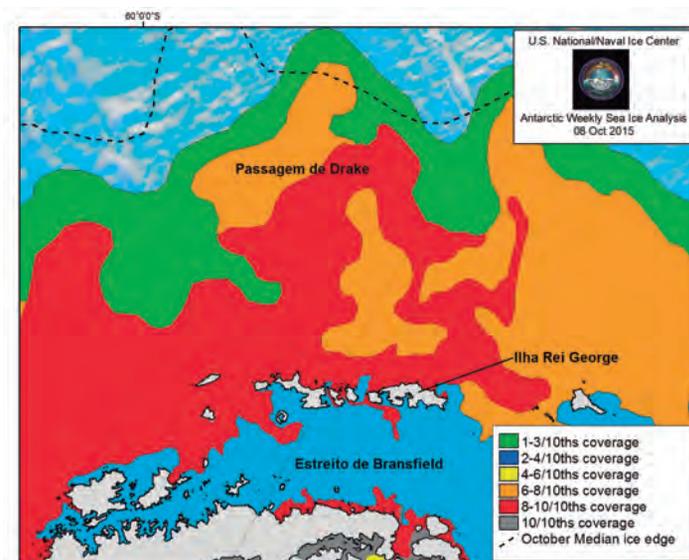


Figura 8 – Carta de análise de gelo marinho elaborada pelo National Ice Center (NIC), no dia 8 de outubro de 2015, evidenciando as altas concentrações de gelo sobre o Drake Sul, ao norte da Ilha Rei George.

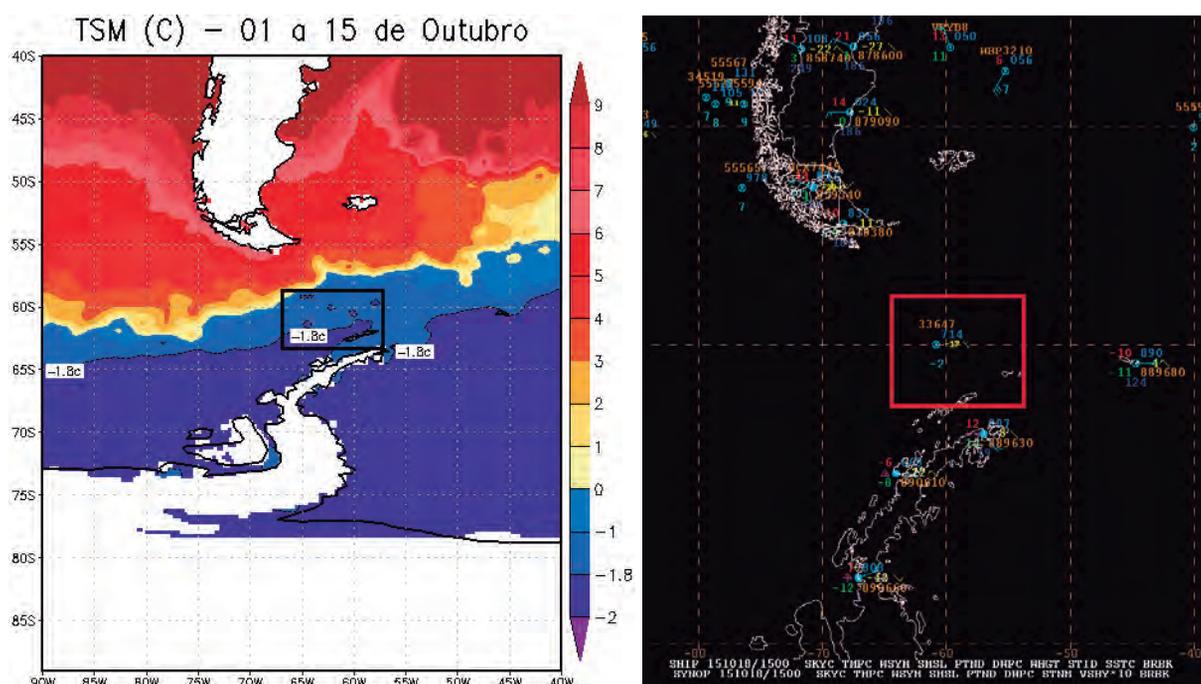


Figura 9 – Média da TSM na primeira quinzena de outubro de 2015, evidenciando temperaturas entre  $-1^{\circ}\text{C}$  e  $-2^{\circ}\text{C}$  na área de interesse (a), e registro de  $-2^{\circ}\text{C}$  de TSM pela boia de deriva (WMO 33647), na posição aproximada de  $60^{\circ}\text{S } 061^{\circ}\text{W}$ , em 18 de outubro (b).

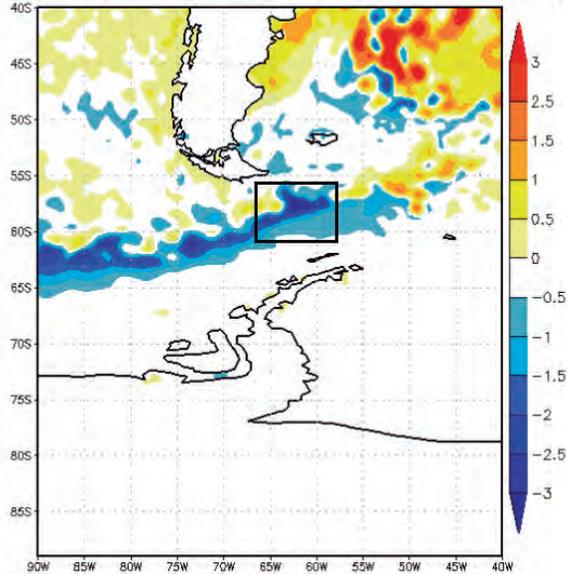
A partir de novembro, os valores de TSM voltaram a patamares superiores ao ponto de congelamento da água do mar (Figura 10), com valores médios entre  $0^{\circ}\text{C}$  e  $-1,5^{\circ}\text{C}$  na primeira quinzena, e valores entre  $0^{\circ}\text{C}$  e  $-1^{\circ}\text{C}$  na segunda quinzena de novembro de 2015. Entretanto, o Navio Polar “Almirante Maximiano” ainda registrou a TSM de  $-2^{\circ}\text{C}$  ao passar pelo Drake Sul, na posição aproximada de  $61^{\circ}\text{S } 059^{\circ}\text{W}$ , no dia 7 de novembro de 2015.

Apesar da observação de valores de TSM sobre a região do Drake acima do ponto de congelamento da água do mar, em novembro, nota-se que as anomalias negativas

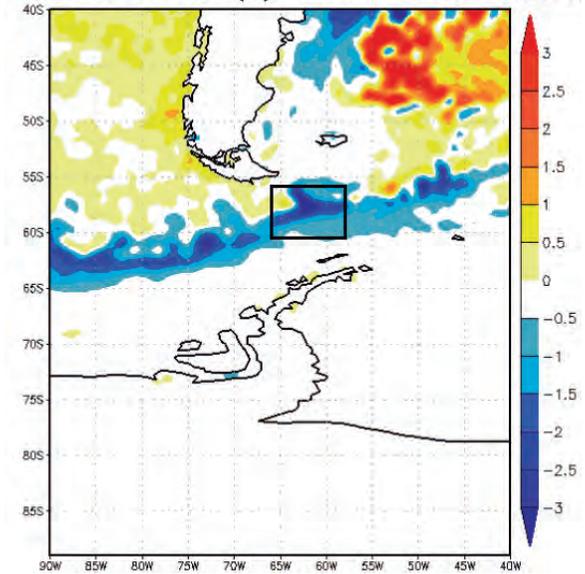
da Temperatura da Superfície do Mar permaneceram durante os meses de outubro, novembro (Figura 11) e dezembro (não mostrado). Foram observados valores de até  $3^{\circ}\text{C}$  abaixo da média para as quinzenas consideradas.

Vale observar que, na figura a seguir, os valores de anomalia de TSM foram obtidos por meio de estimativas de satélite, logo, as regiões oceânicas com cobertura de gelo marinho (Drake Sul) não apresentaram informações de TSM. Aqui será dado enfoque nas anomalias de TSM sobre as áreas do Drake livres de gelo marinho, como nas áreas destacadas na figura.

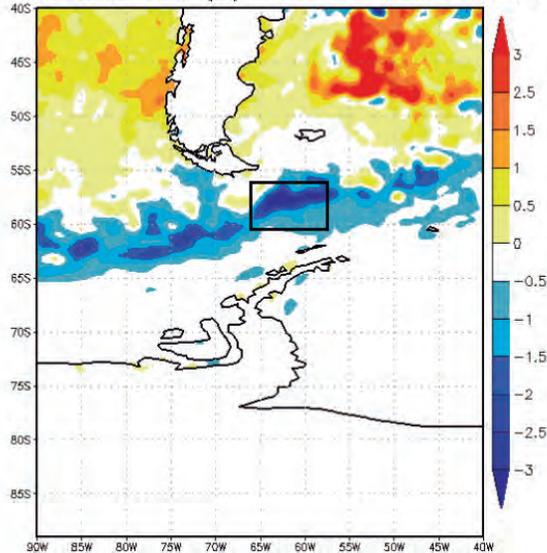
Anomalia da TSM (C) – 01 a 15 de Outubro



Anomalia da TSM (C) – 16 a 31 de Outubro



Anomalia da TSM (C) – 01 a 15 de Novembro



Anomalia da TSM (C) – 16 a 30 de Novembro

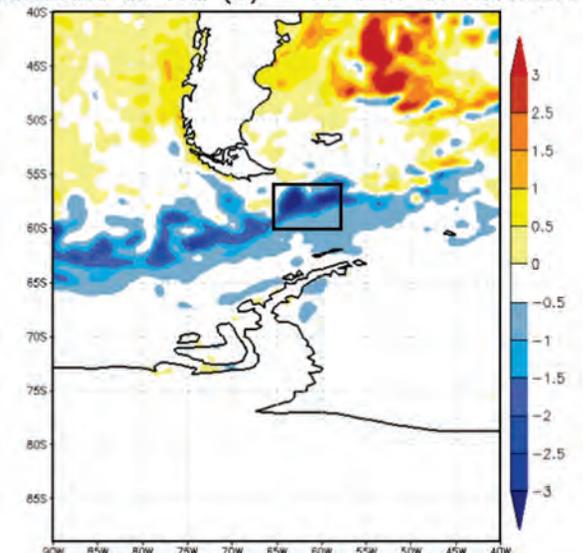


Figura 11 – Anomalias médias da TSM na primeira quinzena de outubro (a), segunda quinzena de outubro (b), primeira quinzena de novembro (c) e segunda quinzena de novembro (d).

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo teve como objetivo verificar o panorama da TSM e da cobertura de gelo sobre a Passagem de Drake, em face das observações de grandes concentrações de gelo marinho no Drake Sul, nas proximidades da Ilha Rei

George, que ocasionaram atrasos no cronograma da OPERANTAR 2015/2016 e o cancelamento de algumas atividades da fase inicial da Operação.

Os resultados obtidos por meio de estimativas de satélites da NOAA mostraram que a cobertura de gelo, em outubro de 2015, de fato foi anômala. Os campos



de anomalias de gelo, dentro do período climatológico de 30 anos (1985-2015), mostraram que os meses de outubro e novembro de 2015 foram marcados por concentrações quinzenais acima da média na área analisada, com destaque para o mês de outubro. Esse comportamento do gelo encontra explicação nas anomalias de TSM sobre o Drake, de cerca de  $-3^{\circ}\text{C}$ , que também foram constatadas por meio da mesma base de dados, composta por estimativas de satélite e informações obtidas *in situ*.

Como caracterizado em diversos trabalhos na literatura, como Liu et al. (2002), Yuan (2004), Liu et al. (2004) e Dash. (2012), a ocorrência do fenômeno *El Niño* sobre o Pacífico Equatorial ocasiona anomalias na circulação geral da atmosfera, que impactam a região da Península Antártica, reduzindo a temperatura do ar e, consequentemente, a TSM sobre os mares de Bellingshausen e Weddell. A redução da TSM abaixo da média climatológica promove um atraso na redução da cobertura de gelo marinho, mesmo após o início do verão antártico, pois as temperaturas superficiais permanecem próximas ou abaixo do valor médio de congelamento da água do mar ( $-1,8^{\circ}\text{C}$ ) por mais tempo do que o normal. A corrente circumpolar antártica parece desempenhar importante papel no transporte de águas mais frias e na deriva de gelo marinho de Bellingshausen para o Drake.

Sendo o *El Niño* de 2015 considerado pela NOAA como um dos mais fortes já observados nos últimos 50 anos, torna-se evidente que a forçante atmosférica sobre o Oceano Pacífico Equatorial, através de mecanismos de teleconexão, contribuiu para as anomalias negativas de TSM observadas no último trimestre de 2015 e, consequentemente, nas anomalias positivas de concentração de gelo

marinho sobre o Drake Sul nos meses de outubro e novembro daquele ano.

Para ampliar o conhecimento dos impactos do fenômeno ENOS e suas teleconexões na concentração de gelo marinho sobre a região de operações da Marinha do Brasil na Antártica, sugere-se que sejam investigados diversos casos de ENOS, nas fases positiva e negativa e com diferentes intensidades, fixando uma área de controle para monitoramento da TSM e gelo sobre o Drake Sul.

Tendo em vista que o mar de Weddell, nas proximidades da Ilha James Ross, também é uma área de operações dos navios brasileiros e é impactada pela teleconexão *El Niño*-Antártica, sugere-se que estudos futuros mantenham uma área de controle sobre essa região, de preferência com a utilização de dados provenientes de sensores de temperatura da água do mar *in situ*, já que as estimativas de satélite se mostram indisponíveis ou com dados espúrios para as áreas com grande concentração de gelo marinho.

O acompanhamento diário das cartas de gelo produzidas pelo *National Ice Center* permitiu notar de maneira subjetiva a deriva de gelo marinho do Mar de Bellingshausen em direção ao Drake Sul, no caso em estudo. Portanto, também é importante a investigação do impacto das anomalias da extensão da cobertura de gelo sobre o Mar de Bellingshausen, sob a influência da corrente circumpolar antártica, nas operações dos navios polares brasileiros, mesmo quando as temperaturas superficiais do Drake não permitem a formação de gelo, mas retardam o seu derretimento.

Para o planejamento de futuras operações antárticas, sugere-se que sejam considerados os prognósticos climáticos da fase ENOS e as suas implicações sobre a TSM, bem como a concentração de gelo marinho sobre o Drake e proximidades da Ilha Rei George.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURGOBRAGA R. *Variabilidade da cobertura de gelo marinho e as colônias de Pygoscelidae na costa oeste da baía do Almirantado, ilha Rei George, Antártica*. Tese – Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

CARPENEDO C. B. *Bloqueios atmosféricos associados à variabilidade extrema do gelo marinho antártico e impactos na América do Sul*. Tese – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 2017.

CPC/NOAA (Climate Prediction Center/ National Oceanic and Atmospheric Administration). *El Niño/Southern Oscillation (ENSO) - Cold and Warm episodes by Season*. Disponível em: < [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)>. Acesso em: 20 de abril de 2021.

DASH M. K. et al. Variability in the ENSO-induced southern hemispheric circulation and Antarctic sea ice extent. *International Journal of Climatology*, 33, 2012, p. 778-783.

LIMA, F. U. F. *Variabilidade extrema intra-sazonal do gelo marinho Antártico e relações com a circulação atmosférica*. Dissertação. São Paulo: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 2007.

LIU, J. et al. Mechanism study of the ENSO and southern high latitude climate teleconnections. *Geophysical Research Letters*, 29, 2002, p. 24-1-24-4.

\_\_\_\_\_. Evaluating Antarctic sea ice variability and its teleconnections in global climate models. *International Journal of Climatology*, 22, 2002, p. 885–900.

\_\_\_\_\_. Interpretation of recent Antarctic sea ice variability. *Geophysical Research Letters*, 31, 2004, p. 1025-1029.

MACHADO et al. *Antártica: Ensino fundamental e Ensino médio*. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006.

MASSARICO CARDOSO L. F. *O Gelo Marinho no Mar de Weddell: Influência do ENOS e Fenômenos Atmosféricos Associados*. Dissertação. São Paulo: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 2019.

NSIDC (National Snow and Ice Data Center). *All about Sea Ice*. Disponível em: < <https://nsidc.org/cryosphere/seaice/index.html> >. Acesso em: 20 de abril de 2021.

PAOLO F. S. et al. Response of Pacific-sector Antarctic ice shelves to the El Niño/Southern Oscillation. *Nature Geoscience*, 11, 2018, p. 121-126.



SECIRM (Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar), Marinha do Brasil. *PROANTAR*. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/secirm/proantar/sobre>>. Acesso em: 20 de abril de 2021.

TURNER, J. The El Nino Southern Oscillation and Antarctica. *International Journal of Climatology*, 24, 2004, p. 1-31.

YUAN, X. ENSO-related impacts on Antarctic sea ice: a synthesis of phenomenon and mechanisms. *Antarctic Science*, 16, 2004, p. 415-425.





# A DERIVA DE OBJETOS NOS OCEANOS: UMA AVALIAÇÃO COMPARATIVA ATRAVÉS DA MODELAGEM NUMÉRICA OCEANOGRÁFICA APLICADA ÀS OPERAÇÕES DE SALVAMENTO E RESGATE (SAR)

*Autores: 1ºTen Thiago Zamith Cunha<sup>1</sup>  
1ºTen (T) André Luiz Araujo Damião<sup>2</sup>  
Raquel Leite Mello<sup>3</sup>*

## RESUMO

A salvaguarda da vida humana no mar está intrinsecamente relacionada ao contínuo monitoramento da costa brasileira e, principalmente, ao uso dos sistemas da Oceanografia Operacional que provê as observações e previsões necessárias. Neste artigo, dar-se-á uma avaliação e comparação com as áreas de busca calculadas e referenciadas no Manual Internacional Marítimo e Aeronáutico de Salvamento e Resgate (IAMSAR), por meio de um estudo de caso ocorrido na costa nordeste brasileira, com as simulações de deriva de objeto-SAR

baseadas no modelo HYCOM-CHM, bem como no modelo SPAD-SAR, que está sendo desenvolvido pela Marinha do Brasil.

## Palavras-chave:

Modelagem Numérica; Oceanografia Física; Operações SAR; HYCOM; SPAD-SAR.

## ABSTRACT

The safeguarding of human life at sea is intrinsically related to the continuous monitoring of the Brazilian coast and, mainly, to the use of Operational Oceanography

---

<sup>1</sup> Primeiro-Tenente, Hidrógrafo (CA). Atualmente exerce a função de Chefe da Divisão de Hidroceanografia do AvPqHoAspMoura. Seus interesses de pesquisa versam sobre Hidrodinâmica Costeira, Oceanografia Física e Modelagem Computacional. Em particular, aos estudos voltados às aplicações nas operações SAR.

<sup>2</sup> Primeiro-Tenente, Quadro Técnico (T). Mestre em Oceanografia Física, Química e Geológica pela FURG. Encarregado da Seção de Modelagem Oceanográfica do Centro de Hidrografia da Marinha.

<sup>3</sup> Bacharel em Física. Doutora em Oceanografia Física (UFRJ). Atua na Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica (REMO) em parceria com o Centro de Hidrografia da Marinha.



systems that provide observations and forecasts. In this article, an evaluation and comparison will be made with the search areas calculated and referenced to the International Maritime and Aeronautical Rescue and Rescue Manual (IAMSAR), through a case study that took place on the northeast coast of Brazil, where object-SAR drift was simulated based on the HYCOM-CHM model and with the Lagrangian particle model that, differently from other traditional models, is used to generate the trajectory of the SAR object, stochastic approximations based on the Monte Carlo technique, well as the model under development by Brazilian Navy, the SPAD-SAR.

**Keywords:**

Numerical Modeling; Physical Oceanography; SAR Operations; HYCOM; SPAD-SAR.

**1. INTRODUÇÃO****1.1 Considerações iniciais**

As diversas interações da natureza e suas aleatoriedades de eventos produzem efeitos no binômio oceano-atmosfera. Por isso, a modelagem numérica é empregada a fim de que seja possível analisar tais efeitos ao materializá-los em previsões a partir de dados observáveis na escala desejada. Ademais, existe o incremento da modelagem aplicada às áreas como derramamento de óleo ilegal no mar, emissários submarinos, processos erosivos de sedimentos, dragagem, calibração hidrodinâmica, dispersão de larvas de peixes e diversos outros (Sayol *et al.*, 2013).

A prevenção do impacto dos desastres ambientais está intrinsecamente relacionada ao contínuo monitoramento da costa brasileira e, principalmente, ao uso de sistemas da Oceanografia Operacional,

que provê observações e previsões necessárias. Neste artigo serão abordadas especificamente as aplicações relacionadas às operações de busca e salvamento; viés esse, em contínuo crescimento nos centros de oceanografia do mundo. Ressalta-se ainda que a segurança de vidas e bens no mar é um objetivo compartilhado por muitos países, e possuir um sistema eficaz de previsão do oceano é essencial para o melhor desempenho da previsão do estado do mar, além de possibilitar o fornecimento de informações ambientais úteis, aumentando, assim, a eficácia das operações (Brevik *et al.*, 2013).

Ademais, em consonância com a mentalidade global vigente, bem como em virtude da necessidade de atualização e contínuo aprimoramento das ferramentas empregadas nas operações SAR, recentemente a Marinha do Brasil emvidou esforços que se materializaram no projeto do Sistema de Planejamento e Apoio à Decisão em Operações de Busca e Salvamento, o SPAD-SAR, que encontra-se em desenvolvimento pela empresa PROOCEANO.

Neste artigo, dar-se-á uma análise através de simulação gerada pelo modelo hodierno utilizado pelo setor de Previsão Numérica do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), o HYCOM-CHM, e também pelo sistema-protótipo SPAD-SAR, o Sistema de Planejamento e Auxílio a Decisão, voltado às operações SAR que, em virtude da parceria MB e Shell, poderá ser utilizado para fins acadêmicos, contribuindo, também, para o presente artigo. Nas simulações, será utilizado, com as devidas descaracterizações, um caso-SAR real ocorrido no litoral brasileiro, no qual houve o resgate por meio dessa operação. Dessa forma, uma análise qualitativa e quantitativa entre modelos também será realizada, a fim de obter conclusões que beneficiem o sistema de Oceanografia Operacional da Marinha do Brasil.



Por conseguinte, baseando-se tanto na simulação que se desenvolverá quanto em bibliografia apropriada, pode-se inferir que os modelos numéricos oceânicos aplicados às diversas operações navais contribuem preponderantemente para o sucesso destas.

A presente pesquisa tem sua relevância nos aspectos alusivos à utilização dos modelos supracitados, aplicados nas operações de busca e salvamento, pois, uma vez estudados os processos, importantes conclusões serão extraídas.

Estipulou-se, então, os seguintes problemas de pesquisa: Como se desenvolverão as simulações com os modelos testados? E até que ponto a utilização do modelo oceânico HYCOM será eficaz nas operações SAR?

## 1.2 Revisão Bibliográfica

De posse do referencial teórico a ser aprofundado, optou-se por apoiar-se nas reflexões dos seguintes autores: Wallcraft *et al.* (2003) nos aspectos relacionados às diversas características do Modelo Oceânico HYCOM e nas conclusões de Metzger *et al.* (2006), Chassignet *et al.* (2007) e Dombrowsky *et al.* (2009) no que tange a sua performance como modelo oceânico global.

Primeiramente, o consórcio HYCOM é um esforço multi-institucional patrocinado pelo Programa Nacional de Parceria Oceânica (NOPP), como parte do Experimento Global de Assimilação de Dados do Oceano dos EUA (GODAE), para desenvolver e avaliar uma coordenada híbrida isopical-sigma. com assimilação de dados (generalizada) denominado Modelo Oceânico de Coordenadas Híbrido (HYCOM). Os objetivos do GODAE são: a representação tridimensional do estado do oceano em resolução fina em tempo real, provisão de condições de contorno para modelos costeiros e regionais e provisão de condições de contorno oceânico para um modelo de previsão de atmosfera oceânica global acoplado. Elencados por uma parceria

entre instituições que representam um amplo espectro da sociedade oceanográfica (HYCOM,2020).

Posto que o HYCOM é integrante do GODAE, bem como fornecedor de condições iniciais e de contorno dos modelos costeiros e regionais, Davidson *et al.* (2009) reuniu os aspectos mais relevantes da aplicação do GODAE de maneira eficiente nos modelos locais ou regionais aplicados à operações SAR, ao tornar-se, assim, importante variável no processo decisório. Além disso, o mote principal de sua avaliação foi a assimilação de dados através de modelos oceânicos que apresentam melhores performances quando aplicados à previsibilidade que a climatologia tem em si, destacando-se, ainda, como as principais nações membro do GODAE adaptam e orientam seus modelos para os diversos propósitos.

Neste artigo será utilizado, também, o *software* SPAD-SAR, que consiste em um modelo oceânico de previsão para cálculo de trajetória e áreas com maior probabilidade de conter o objeto-SAR. Seu algoritmo utiliza como fundamento um modelo lagrangiano de partículas que, diferente dos demais, vale-se de aproximações estocásticas pelo Método de Monte Carlos para cálculo de probabilidades bivariadas associadas a posição do objeto-SAR. Ademais, o protótipo SPAD-SAR apresenta auxílios como: métodos de busca (permitindo adicionar meios operativos e seus parâmetros), azimute do Sol, entre outras ferramentas de apoio às operações SAR. Não obstante, é estruturado nas linguagens de programação Python e Fortran, com seu modelo de partículas acoplado às forçantes de corrente e vento. Quanto ao comportamento do SAR, é preponderante ressaltar que, segundo Breivik & Allen (2008), uma operação de busca e salvamento consiste em estimar uma área a partir de referenciais desconhecidos; isto é, tem-se a última posição conhecida, intensidade das correntes locais,



velocidade do vento, tipo de objeto (forma) e estado do mar. A partir daí, estima-se a área de maior probabilidade de resgate.

Ainda segundo esses autores, a necessidade de um banco de dados meteorológicos coletados e disponíveis em tempo real é preponderante; pois não só “treina” o modelo, como também refina a área de busca. Não obstante, o modelo tem que ser rápido o suficiente para ser utilizado como instrumento operacional e com graus de liberdade reduzidos, uma vez que este tende a ser de fácil operação.

Ademais, Richardson (1997) investigou como as derivações dos navios se desenvolvem através da resultante das forças que nele atuam, oriunda dos ventos (*leeway drift*), correntes e ondas, e como estão intimamente ligados aos parâmetros inseridos nos diversos modelos aplicados a operações SAR. Posteriormente, Allen & Plourde (1999) propuseram empiricamente que a resultante dos desvios provocados pelo vento divergem segundo o ângulo “ $Lw$ ” de suas componentes transversais e longitudinais e, não obstante, dependem de parâmetros como velocidade e forma do objeto.

Assim, grandes considerações a respeito de como o vento interfere na dinâmica do objeto e em sua deriva pelos oceanos foi concluída e utilizada no desenvolvimento de diversos modelos nas últimas décadas.

Os diversos termos e definições alusivos às operações SAR contidos nesse trabalho são referenciados de acordo com os manuais internacionais: o IAMSAR Vol. I, II e III e a Convenção Internacional sobre Busca e Salvamentos Marítimos (1979).

### 1.3 *Leeway Divergence*: a modelagem numérica aplicada às operações SAR

A partir de um momento inicial em que um objeto ou pessoas<sup>4</sup> encontram-se à deriva no mar, estes estão sujeitos às

forças naturais que atuam sobre a superfície dos oceanos.

Segundo Pickard (1974), ao atuar sobre a superfície do fluido, o vento promove efeitos cisalhantes, como consequência destes, dá-se a transferência de quantidade de movimento e, por conseguinte, a circulação horizontal nas primeiras centenas de metros de profundidade, porém, não necessariamente na mesma direção nas camadas mais superficiais, uma vez que há outras forças envolvidas como a de Coriolis, por exemplo.

Nota-se, dessa maneira, que objetos a deriva no mar estão intrinsecamente sujeitos a circulação horizontal provocada pelos ventos. Portanto, o vento e a variação espacial provocada pela atuação deste sobre a área exposta do objeto SAR na superfície são uns dos pontos em questão das operações de Busca e Salvamento; tal que a partir da última posição conhecida<sup>5</sup> pode-se estimar a deriva total pela soma vetorial de duas componentes principais: as correntes superficiais e a derivação provocada pelo vento (*leeway*).

Torna-se evidente, até mesmo intuitivo, que o desvio espacial provocado pela corrente superficial gerada pelo vento, o “*leeway drift*”<sup>6</sup>, varia conforme as características gerais do objeto; isto é, seu comprimento, largura e deslocamento. Fitzgerald (1993) propõe um significado mais específico; “A margem de manobra é definida como o vetor de velocidade do objeto SAR em relação à direção a favor do vento para o objeto de pesquisa, uma vez que se move em relação à corrente de superfície conforme medido entre 0,3 m e 1,0 m de profundidade provocado por ventos (ajustado a uma altura de referência de 10m) e ondas”.

Há de se apontar certa inconsistência uma vez que navios que possuem seu calado com mais de 1,0 m não se enquadram nesse perfil de ajuste às correntes superficiais. O

significado físico do *leeway* supracitado, em linhas gerais, é suficiente para este trabalho.

Ademais, segundo Allen & Plourde (1999), a priori, dois fatores importantes são preponderantes para análise e planejamento

de uma operação SAR, uma vez que não há conhecimento do perfil vertical do vento nem das correntes superficiais que atuam sobre o objeto SAR. Dessa forma, cabe análise dos parâmetros que compõe esse efeito.

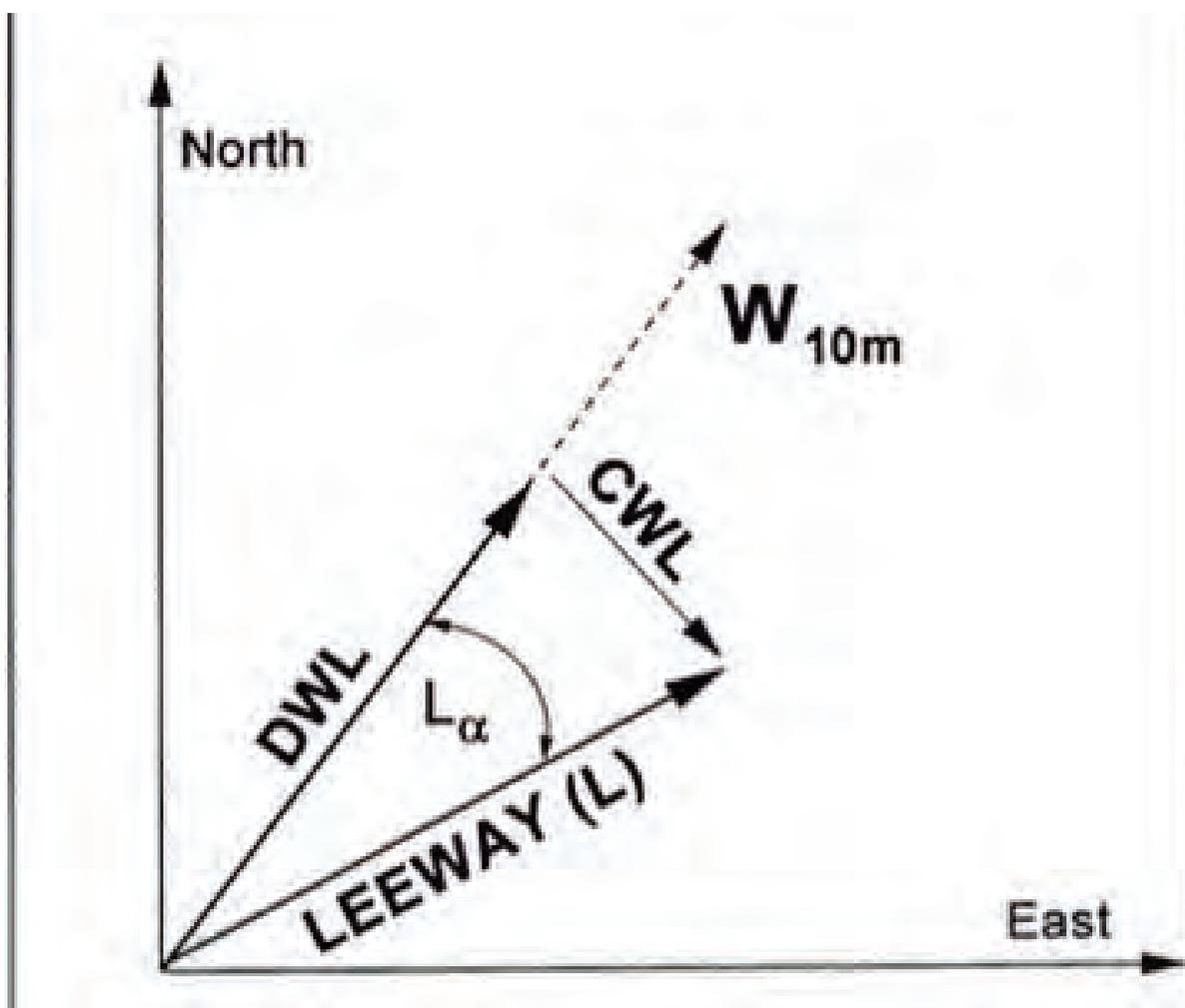


Figura 1 – Componentes “Leeway Drift”

<sup>4</sup> O termo “derivadores” será utilizado para referenciar qualquer objeto SAR à deriva no mar.

<sup>5</sup> *Last Known Position (LKP)*.

<sup>6</sup> Também conhecido como “margem de manobra”.



Os estudos relacionados a divergência espacial espacial, “ $L\alpha$ ”, provocada pelo vento foram apresentadas por Allen & Plourde (1999) e Allen (2005) a partir de observações *in situ*, das diferentes classes e tipos de embarcações, das derivas, e suas respostas espaciais quando sujeitas a ação das correntes superficiais. Essas observações culminaram no manual taxonômico da margem de manobra utilizada nos presentes dias pela *US Coast Guard* e integrada ao SAROPS para planejamento e execução de operações SAR, assim como referência para os manuais internacionais que tratam do assunto. Dessa forma, compreender o comportamento desse parâmetro torna-se peça fundamental para a determinação de áreas de busca.

Os parâmetros relacionados na Figura 1 são a base pela qual os métodos indiretos se valem para obtenção da margem de manobra de determinado objeto/alvo SAR.

A divisão taxonômica da margem de manobra, dado alvo SAR específico, foi um estudo produzido essencial e único, uma vez que foi possível quantificar e relacionar os ângulos de divergência observados com as diferentes classes de objetos, e então, utilizar os resultados obtidos como base de cálculos em diversos modelos. Dessa forma foram propostas sessenta e três classes em Allen e Plourde (1999). Estimar uma área de maior probabilidade de resgate, dado um banco de dados de margens de manobra distribuídas em classes de alvo/objeto SAR, tornou-se realidade.

Para quantificar a margem de manobra associada a um objeto são empregados métodos diretos e indiretos. Os métodos indiretos se valem da relação subtrativa entre o vetor de desvio total e o vetor corrente estimando, assim, o vetor associado ao vento. O método direto vale-se do uso de correntômetros acoplados diretamente ao objeto. Allen & Fitzgerald (1994)

demonstram respectivos estudos de caso a respeito dos métodos indireto e direto. É importante ressaltar que ambos métodos estão sujeitos a erros aleatórios e sistemáticos, muito embora, o método direto seja o mais utilizado.

Os esforços para relacionar o ângulo de afastamento, ou “*leeway angle*”, é dado pela medida individual e momentânea de um alvo-SAR arbitrário denominado “A”. O próximo passo é obter “n” medições, sendo “n” suficientemente grande para se estimar o ângulo de divergência “ $L\alpha$ ” da classe do alvo-SAR. Nota-se, então, a diferença entre *leeway angle* e *leeway divergence* – enquanto o *leeway angle* representa a classe, o *leeway divergence* denota o desvio angular momentâneo em relação à margem de manobra. Entretanto, a relação entre eles está longe de ser trivial, Allen & Plourde (1999) ressaltam dois problemas principais.

O primeiro versa sobre a dificuldade de se encontrar métodos estatísticos que de fato possam estimar um ângulo de divergência a partir de amostras de ângulos de desvios e da classe do alvo-SAR. Em sua própria análise, Allen & Plourde (1999) se valem de mais de um método para obtenção do “ $L\alpha$ ”. O segundo ponto relaciona-se com a dificuldade na adaptação e inserção do conceito do ângulo de divergência no cálculo de áreas de busca.

Para transcender tais dificuldades, decompõe-se a margem de manobra em suas componentes DWL e CWL em vias de intensidade do vento (W); isto é, dada uma quantidade amostral significativa, aplica-se então regressões lineares a fim de representar ambas componentes de onde obtém-se as respectivas componentes DWL e CWL linearizadas irrestritamente.

Em suma, tais resultados obtidos por Allen & Plourde (1999), e mais tarde



implementadas em Allen (2005), são a base de referência para cálculos de possíveis áreas de resgate contido nos manuais internacionais e modelos voltados às operações SAR.

Entretanto, quais as competências e valências, atualmente, são apresentadas por modelos numéricos de previsão ou ferramentas de apoio ao planejamento voltados às atividades SAR?

Naturalmente, adaptar parâmetros relacionados à margem de manobra aos modelos de previsão é um desafio, uma vez que ocorrem dificuldades na obtenção dos valores acurados do vento. Nota-se, então, a importância da coleta de dados observacionais, pois modelos atmosféricos esbarram em problemas de escala para resolver a questão. Ademais, a aleatoriedade

intrínseca dos oceanos também corrobora para resultados com baixa acurácia nos campos relacionados à deriva de objetos nos oceanos.

Dessa forma, segundo Sayol *et al.* (2013) as principais fontes de erros relacionadas a aplicação de sistemas de Oceanografia Operacional, as operações SAR, são resultadas da complexidade natural da dinâmica dos oceanos e podem ser elencadas como:

Deriva de Stokes: pequenas variações nas condições iniciais geram perturbações que se incrementam com o tempo tendo em vista a não linearidade das formulações de Navier-Stokes;

modelos atmosféricos e oceânicos não encontram solução nesse nível de escala, recorrem a parametrizações para movimentos turbulentos. Em linhas gerais, não há informação suficiente, uma vez escolhida uma subgrade;

geralmente, ao receber o chamado SAR, a LKP é incerta, resultando em erros nas condições iniciais; e

a deriva do objeto, regida pela margem de manobra e obtida empiricamente, já possui erros associados.

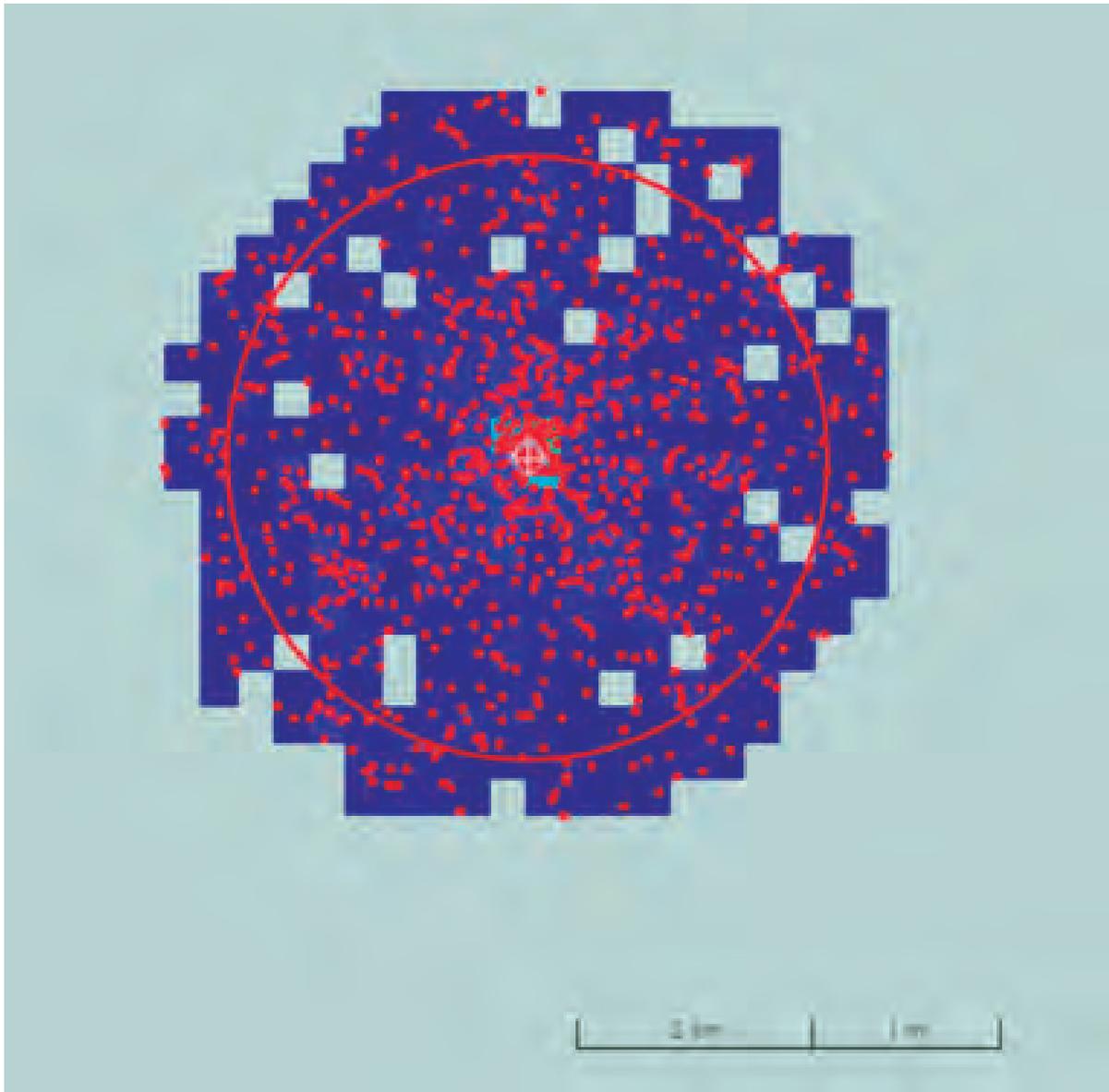
Portanto, os modelos mais recentes voltados às operações SAR para contornar os possíveis problemas supracitados valem-se de processos estocásticos que quantificam as incertezas em vias de distribuições de probabilidade.

Para exemplificar a questão supracitada, Allen & Breivik (2007) propuseram para o modelo norueguês “*LEEWAY*” que, através da técnica de assimilação por ensemble, o cálculo da área de maior probabilidade de sucesso (POS) é função da probabilidade de detecção (POD) e da probabilidade do alvo-SAR esta contido numa área inicial (POC) e que depende de fatores puramente externos que visam maximizar a POD.

Não obstante, os erros e incertezas inerentes aos cálculos de trajetória pelo modelo são de tal maneira que para representá-los se faz uso de uma função densidade probabilidade (f.d.p) bivariada. A chave do processo torna-se então em aproximar os erros e incertezas valendo-se da técnica de Monte Carlo, integrando as áreas da f.d.p, “n” vezes, sendo “n” o número de vezes que o modelo for rodado, dada perturbações iniciais geradas pelo *ensemble*.

A Figura 2 representa a distribuição de partículas (pontos em vermelho) derivadas a partir de dados de vento e corrente, a probabilidade associada de presença do objeto (quadrados em azul escuro) e dois desvios padrões da posição média (linha circular vermelha).

Em síntese, conforme Sayol *et al.* (2013), os modelos atuais vêm se adaptando para o emprego nas operações SAR, tal que o cálculo de uma função densidade probabilidade como estimador da posição final do alvo-SAR a partir de previsões diárias de vento, corrente e ondas torna-se fundamental.



*Figura 2 – Distribuição de partículas e probabilidade associada*



Em síntese, conforme Sayol et al. (2013), os modelos atuais vêm se adaptando para o emprego nas operações SAR, tal que o cálculo de uma função densidade probabilidade como estimador da posição final do alvo-SAR a partir de previsões diárias de vento, corrente e ondas torna-se fundamental.

## 2. DADOS E METODOLOGIAS

### 2.1 Caso escolhido

A escolha do caso baseou-se na prerrogativa de sucesso da operação SAR. Os dados referentes ao caso foram disponibilizados pelo SALVAMAR NORDESTE, área SAR em que o caso se desenvolveu.

Outro fator preponderante foi a constância da atuação de forçantes externas à região, isto é, a região nordeste está sujeita a

fenômenos meteorológicos cuja atuação oferece condições relativamente estáveis. Isto posto, para uma melhor (ou mais simples) compreensão do movimento de deriva do alvo-SAR, é ideal que o sistema onde ele se encontra tenha características que confluem para a climatologia local. Assim, qualquer fenômeno anômalo que tenha influência nos casos é facilmente identificado, tal como a inércia de seus efeitos nas respectivas derivas.

Dessa maneira o caso é sintetizado na Tabela 1 com informações utilizadas como parâmetros de entrada dos modelos. Na Figura 4 encontra-se o desenvolvimento final das áreas de busca calculadas, tendo como referência as considerações preconizadas no IAMSAR. Demais especificações e curiosidades a respeito da dinâmica dos casos podem ser acessadas no repositório<sup>7</sup> encontrado na plataforma “GitHub”.

Tabela 1 - Síntese de dados

Dados	Caso escolhido
Objeto SAR	Balsa Salva-Vidas (8 tripulantes)
Condição	Sucesso
Última Posição Conhecida	06° 21.08'S/033° 45.02'W
Data-Hora Inicial	131041Z/JUN/2019
Posição Final	06° 09,6'S-034° 03,0'W
Data-Hora Final	140000Z/JUN/2019

### 2.2 Configuração do modelo HYCOM

Paras as a simulações presentes neste trabalho foi utilizada a aplicação regional do modelo HYCOM-CHM materializada como parte do projeto da parceria REMO e CHM. O diferencial do modelo consiste em uma nova grade com resoluções de 1/12° (Atlântico) e 1/24° (METAREA V), ambas com 32 níveis verticais híbridos, onde a grade

menor possui, inclusive, forçantes de marés para o período de 96 horas.

Não obstante, com o propósito de melhorar o desempenho das simulações, foram assimilados dados observados de temperatura da superfície do mar, altura da superfície do mar (1 metro), dados de estrutura vertical de temperatura e salinidade oriundo de derivadores “lançados” no modelo. Ademais, 36 derivadores foram utilizados para este caso.



A escolha em relação a quantidade de derivadores a serem lançados partiu da premissa de como eles se comportariam no estudo de caso; uma vez que a distância entre derivadores está diretamente relacionada à resolução da grade utilizada. Assim, quanto maior a quantidade de derivadores lançada, maior será a incerteza posicional associada. O uso destes, de fato, serve para inferir estimativas a respeito de possíveis áreas de busca, de maneira que sejam mais um auxílio à decisão.

Por fim, foi utilizada a técnica de assimilação dos dados por Interpolação Ótima por Conjuntos (*Ensemble Optimal Interpolation – EnOI*), efetuada duas vezes por semana.

Para o caso, os tripulantes na balsa salva vidas, o período de referência para simulação foi considerado o intervalo de tempo desde o recebimento do sinal de socorro até o resgate dos tripulantes, conforme a Tabela 1, estendendo-se o tempo de deriva dos derivadores até 96h. Entretanto, cabe ressaltar que, a justificativa para tal foi verificar o comportamento dos derivadores além da posição de resgate, de maneira que fosse possível extrapolar possíveis posições de resgate em tempos além do que o determinado.

Para desenvolver as figuras relativas às derivas foi utilizada como ferramenta a linguagem de programação *Python*. Tanto o *script* quanto o *dataset* utilizado, contendo as informações dos derivadores ao longo da série temporal, encontram-se em repositório<sup>8</sup> na plataforma “GitHub”. Por fim, os resultados obtidos serão comparados aos do SPAD-SAR, bem como aos desenvolvidos

através dos métodos clássicos, preconizados no IAMSAR.

### 2.3 Configuração do modelo SPAD-SAR

Diferente dos parâmetros adotados pelo HYCOM, o protótipo SPAD-SAR trata-se de um modelo advectivo-difusivo de substâncias e objetos no mar que, diferentemente dos demais modelos tradicionais, para gerar a trajetória do objeto SAR utiliza aproximações estocásticas baseadas na técnica de Monte Carlo para cálculo das funções densidade, probabilidade e conseqüente área de maior probabilidade de sucesso da operação SAR. Em parceria com a Shell Brasil, Fundação de Desenvolvimento e Pesquisa (FUNDEP) e a empresa PROOCEANO, esse modelo será a base para o desenvolvimento do Sistema de Planejamento e Apoio à Decisão em Operações de Busca e Salvamento da Marinha do Brasil (SPAD-SAR).

O mote do modelo advém das relações entre o vento e o vetor de deriva eólica, baseada na divisão taxonômica dos objetos SAR oriunda dos coeficientes de ajuste calculados empiricamente e compilado pela *US Coast Guard*. Em síntese, são dois os seus parâmetros essenciais: a aproximação estocástica para as áreas de maior possibilidade de resgate e a taxonomia das derivas eólicas por objeto-SAR propostos por Allen (2005).

Estruturado na linguagem de programação *Python* e *Fortran*, detém de facilidade na implementação dos códigos e considerável rapidez nos cálculos oriundos das simulações. Para as simulações foram utilizado como base os modelos MERCATOR

<sup>7</sup> Disponível na plataforma “GitHub” em: [https://github.com/Z-metoc/Modelling\\_Search\\_and\\_-Rescue](https://github.com/Z-metoc/Modelling_Search_and_-Rescue), onde pode-se obter acesso também a estudo análogo a este artigo, porém envolvendo um caso em que não ocorreu o sucesso da operação.

<sup>8</sup> Disponível na plataforma “GitHub” em: [https://github.com/Z-metoc/Modelling\\_Search\\_and\\_-Rescue](https://github.com/Z-metoc/Modelling_Search_and_-Rescue).

(CMEMS<sup>9</sup>) e GFS (NCEP<sup>10</sup>) para o *hindcast* de forçantes de correntes e atmosféricas, respectivamente. O domínio de correntes da grade estabelecido para a METAREA V possui resolução da grade de aproximadamente 9 km (1/12°), portanto menos refinado que o regional HYCOM-CHM (resolução de 4km). Além disso, o modelo GFS acoplado com domínio para a METAREA V e resolução de grade de aproximadamente 13 km. Cabe ressaltar que, uma vez pronto, o SPAD-SAR utilizar-se-á para forçantes de correntes, o modelo HYCOM-CHM e para forçantes atmosféricas, os modelos COSMO e WRF.

Os intervalos de tempo considerados para geração da deriva do objeto-SAR foram iguais aos estabelecidos na configuração do modelo HYCOM, vide Tabela 1. Ademais, utilizou-se como método de assimilação a interpolação espacial bilinear e a interpolação temporal linear. Assim, a classe cujo coeficiente de ajuste foi utilizado como parâmetro de entrada no modelo foi a de *“Marine Life Rafts with Deep Ballast System and Canopies /6-8 person capacity/without drogue/ heavy loading”*.

Trata-se do tipo de objeto-SAR e sua deriva eólica para os casos, respectivamente. Por fim, serão comparados os resultados obtidos aos do HYCOM e aos desenvolvidos através dos métodos clássicos preconizados no IAMSAR 3.

### 3. RESULTADOS

A dinâmica de apresentação dos resultados e sua respectiva discussão dar-se-á de maneira a relacionar os aspectos espaço-temporais à finalidade das operações SAR; isto é, seu sucesso. Dessa forma, como já fora apresentado, o tempo torna-se um fator crucial, dada a dimensão das áreas de busca ao longo da deriva do objeto. Fatores esses diretamente relacionados aos processos de planejamento e tomada de decisão, uma vez que influenciam sobre quais meios operativos utilizar e por quanto tempo utilizá-los.

Sejam as Figuras 3 e 5 geradas pelas simulações do HYCOM e do protótipo SPAD-SAR, respectivamente; tal como a discussão dos resultados.

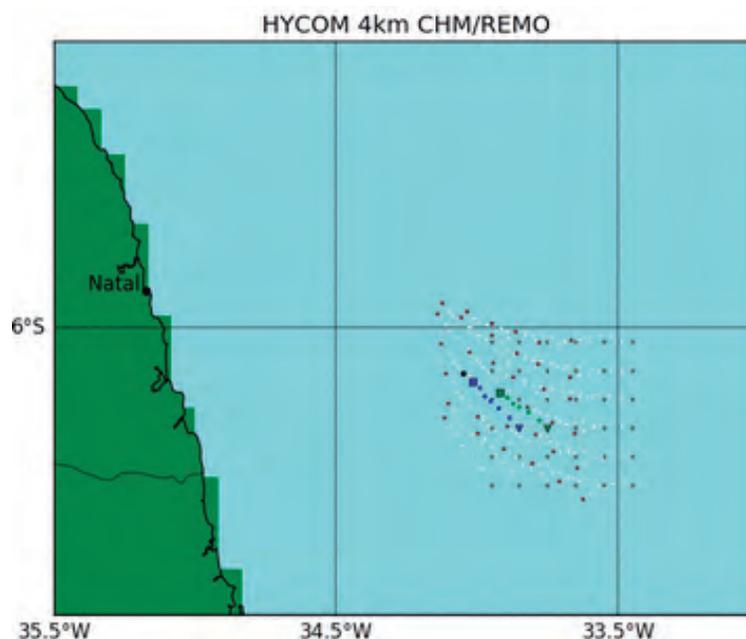


Figura 3 – Simulação Caso “A”- HYCOM



Primeiramente, a Figura 3, gerada pelo script (*Python*) desenvolvido junto ao CHM, caracteriza:

- os 36 derivadores (*floats*): na cor cinza, quando lançados no data-hora inicial, e na cor vermelho representando sua movimentação até o data-hora final, onde os intervalos horários de processamento são correspondentes aos horários sinóticos;

- a Linha de Costa: escala da carta assumida, com base na biblioteca "*Basemap*" (*Python*), correspondente a 1° em latitude e 1° em longitude;

- o ponto na cor "preta", proeminente, representa o local no qual o objeto-SAR foi encontrado;

- o derivador "35" foi o escolhido para representar o ponto inicial do objeto-SAR, ilustrado pelo "triângulo verde", movimentando-se até a posição Lat-6,2768° S e Lon-33,85° W relativa ao data-hora final; e

- o derivador "24" foi o que mais se aproximou da posição final do objeto-SAR, ilustrado pelo "quadrado azul", com posição Lat-6,1394° S e Lon-34,0647° W (posição final do Derivador "24"), quando comparado à posição final observada do objeto SAR em Lat-6,16° S e Lon-34,05° W, isto é, uma diferença de 0,0206° em latitude (2.472 metros aproximadamente) e 0,0147° em longitude, 1.764 metros aproximadamente; ou na forma absoluta, aplicando o Teorema de Pitágoras: 3.036 metros.

Em caráter posicional, o resultado da simulação referente ao caso foi considerado satisfatório quando comparado às áreas de busca calculadas pelo IAMSAR. O ponto situa-se no interior da área "01", área inicial (área a carmim mais ao sul), conforme Figura 4, em que ocorreu o recolhimento

do objeto-SAR. Logo, existiu correlação espacial entre métodos, uma vez que o ponto final da simulação-HYCOM encontra-se no interior da primeira área de busca calculada, demonstrando que ocorreu manutenção da tendência de deriva.

A Figura 4 condiz com a situação do problema. De fato, a posição final é conhecida, porém, quando não conhecida as áreas limitadas entre derivadores, tendem a comportar-se como áreas de busca e, principalmente, demonstram a tendência de deriva provocada pelas forçantes climáticas dominantes da área em questão.

Quanto à variável "tempo", essencial às operações SAR, quando comparados aos cálculos do IAMSAR e do protótipo SPAD-SAR, apresenta atraso considerável; estima-se três horas ou mais, tornando-se em geral arbitrário, atrelado a situacionalidade dos casos.

Os passos operacionais relativos à situacionalidade dos casos dependem:

- do preparo do arquivo "*floats*" (derivadores), onde se faz necessário saber qual é o ponto principal e decidir quais são as distâncias necessárias;

- da verificação, no experimento, de onde os *floats* irão rodar e o passo de tempo inicial de deriva;

- se os arquivos iniciais utilizados para rodar o período necessário estão disponíveis e onde encontram-se os arquivos referentes às forçantes atmosféricas, "*restart*" do dia, e se existem arquivos para "aninhamento" da grade; e

- das mudanças contínuas entre diretórios de arquivos necessários aos cálculos e ao processamento do problema.

Assim, erros grosseiros e aleatórios podem estar presentes durante o processo,

<sup>9</sup> Copernicus Marine Environment Monitoring Service: <https://marine.copernicus.eu>

<sup>10</sup> National Center for Environment Prediction: <https://www.ncep.noaa.gov>

principalmente aqueles referentes ao observador. Durante a abertura da operação-SAR torna-se necessária, de imediato, a confecção das áreas de busca nas quais os meios serão organizados, concomitantemente, as

simulações, expostas neste trabalho, podem ser desenvolvidas e enviadas na forma de auxílio à decisão.

A Figura 5, gerada pelo protótipo do modelo SPAD-SAR, caracteriza:

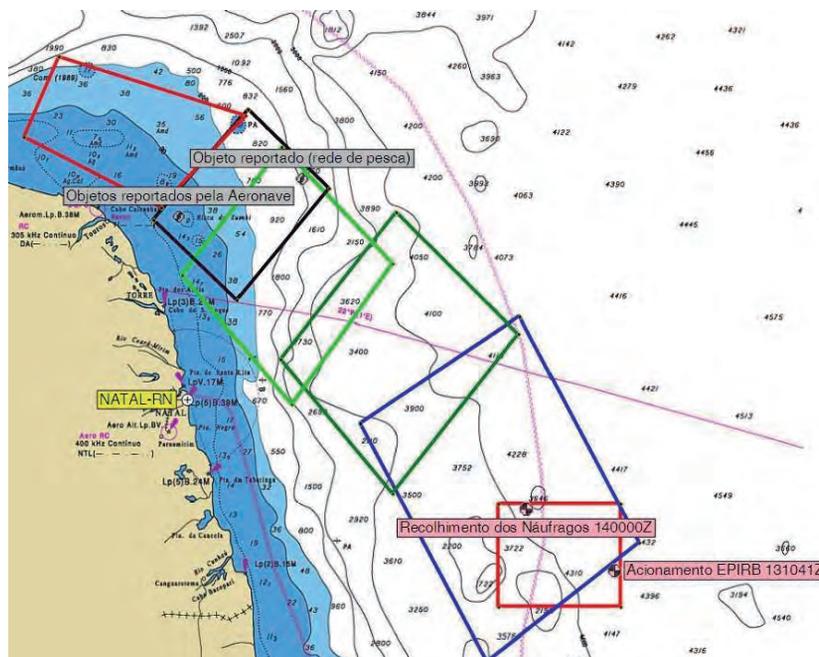


Figura 4 – Áreas de busca SAR

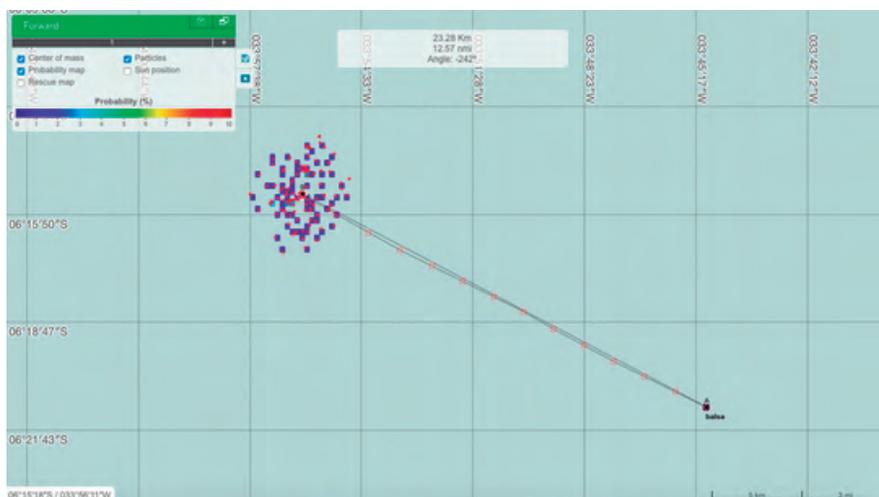


Figura 5 – Simulação – SPAD-SAR



*Tracking*/Parâmetros de deriva do objeto-SAR: rumo 298° verdadeiros e aproximadamente 23 km do ponto inicial;

Linha de Costa: escalada da carta assumida, com base em biblioteca<sup>1</sup> específica na linguagem de programação *Python*; e

Mapa de Densidade Probabilidade ao longo do tracking: quanto maior o tempo de deriva, maior a área associada ao objeto e menor será sua probabilidade de sucesso. Dada a incerteza posicional propagada no período de 13 horas, a posição estimada com maior densidade probabilidade encontra-se aos Lat-6,2550° S e Lon-33,9363° W.

Em termos posicionais, quando comparado aos resultados do modelo HYCOM, obtêm-se os resíduos de 0,116° em latitude, e 0,11° em longitude. Ao ser comparada à observada do ponto de resgate, a diferença reduz-se para 11,5 km em valores absolutos. Ademais, o resultado obtido pelo SPAD-SAR está contido na área de busca inicial, que é a área em que o objeto-SAR foi encontrado.

Ressalta-se que a posição estimada pelo SPAD-SAR está associada a área de maior densidade probabilidade e esta não garante a posição exata de resgate; quanto menor o tempo de deriva, maiores as chances de a posição verdadeira do objeto-SAR estar contida na região calculada pelo modelo.

#### 4. CONCLUSÃO

Em face ao que foi supracitado e discutido nos resultados, conclui-se que:

1. O comportamento do caso alinhou-se à climatologia local, mantendo direção e sentido de deriva. Em virtude da rápida resposta, dado pequeno intervalo de tempo, considerado os resultados divergentes entre

os modelos e em aproximadamente cinco milhas náuticas, em vias de latitude.

2. De maneira geral, os resultados se mostraram satisfatórios, considerando a rápida resposta dado ao pequeno intervalo de tempo. Os resultados entre modelos divergiram em até cinco milhas náuticas de latitude e em duas milhas náuticas (aproximadamente 4 km) em relação a posição final observada para o caso.

3. Denota-se que o tempo torna-se fator chave durante todo o processo. Quanto menor for o tempo de reação, menos sujeito às diversas forças aleatórias o objeto-SAR estará.

4. O modelo ideal para aplicação voltada as operações SAR deve considerar as forças de correntes e ventos. Ademais, quando acoplado as respostas das forças, materializadas pelos coeficientes de ajustamento obtidos em Allen & Plourde (1999), o modelo tende a tornar-se mais ajustado à realidade. O modelo em desenvolvimento pela MB, SPAD-SAR, contém tais atributos.

Isto posto, em relação à hipótese inicialmente considerada neste artigo, podemos considerar que o modelo HYCOM é adequado para utilização em eventos SAR, porém com ressalvas.

A região Nordeste, em virtude de sua pouca variabilidade climatológica e pela forte influência de correntes oceânicas na região, corroborou para que o modelo HYCOM tivesse resultados satisfatórios. Possivelmente, em regiões com maior variabilidade e entradas de sistemas frontais, como na região Sul do país, a correlação entre tendências de deriva seria afetada, sendo essencial, portanto, considerar as forças eólicas.

O autor desse artigo sugere cautela na consideração realizada em outras regiões

<sup>1</sup>O autor deste trabalho não teve acesso ao *script* do modelo em questão, dessa forma, não foi possível que as figuras geradas se apresentassem na mesma escala, fator importante no que tange a análise comparativa.



com características climatológicas mais heterogêneas; assim como ressalta a importância de se considerar a forma do objeto-SAR, uma vez que as simplificações realizadas neste estudo podem gerar erros consideráveis relacionados à deriva em objetos-SAR com grande área vélica.

Assim, apesar de, notoriamente, o modelo oceânico HYCOM não ter sido concebido para esse propósito, com as devidas simplificações e implementações, é possível utilizá-lo como mais um auxílio à decisão às operações SAR.

Por fim, o autor deste artigo propõe que estudos sobre a obtenção dos coeficientes de ajuste referentes à divergência eólica e modelos de partículas voltados às operações SAR sejam desenvolvidos e realizados devido a importância atrelada aos diversos setores da sociedade atinentes à oceanografia operacional brasileira; além de uma ampla revisão em publicações internacionais que regem sobre o assunto. Outrossim, ressalta-se a importância de que mais análises utilizando-se outros modelos nesse aspecto sejam desenvolvidas em diversas regiões do país.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, A. A. *Improving Search & Rescue*. NOAA. Disponível em: <<http://www.noaa.gov>>. Acesso em 29 jul. 2020.

ALLEN, A. A.; PLOURDE, J.V. *Review of Leeway: Field Experiments and Implementation*. US Department of Transportation, Washington, DC: US Coast Guard, 1999.

ALLEN, A. A. *Leeway Divergence*. U.S. Coast Guard Rep. CG-D-05-05, 128 pp.2005

\_\_\_\_\_. The Leeway of Cuban Refugee Rafts and a Commercial Fishing Vessel. *US Coast Guard*,1996.

ALLEN A. A.; R.B. FITZGERALD. The Leeway of an Open Boat and Three Life Rafts in Heavy Weather. *U.S. Coast Guard Report No. CG-D-03-98*,1997.

BRASIL. Marinha do Brasil. *ÁREA SAR*. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br>>. Acesso em abr. 2020.

BREIVIK, Ø.; ALLEN, A.A. *An Operational Search and Rescue Model for the Norwegian Sea and the North Sea*. *Journal Mar. Syst.*, n.69, pp. 99–113. 2007.

BREIVIK, Øyvind et al. *Advances in Search and Rescue at Sea*. *Ocean Dynamics*, vol.63, n.1, p.83-88, doi:10.1007/s10236-012-0581-1.2013. Disponível em <<http://oyvind.breivik@ecmwf.int>>. Acesso em: 6 abr. 2020.

CHASSIGNET, E. et al. *The HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model) Data Assimilative System*. *Journal of Marine Systems*, n.65, 2007. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jmarsys>>. Acesso em: 15 abr. 2020.



CUMMINGS, J.A. Operational multivariate ocean data assimilation. *Q.J.R. Meteorology Society*, 131: 3583-3604. doi:[10.1256/qj.05.105.2005](https://doi.org/10.1256/qj.05.105.2005).

CONVENÇÃO INTERNACIONAL SOBRE BUSCA E SALVAMENTO MARÍTIMOS: Emendada pelas Resoluções MSC.70(69) e MSC.155(78). Hamburgo, 1979.

DAVIDSON, F.J.M et al. *Applications of GODAE: Ocean current forecasts to search and rescue and ship routing. Journal of Oceanography*, vol.3, n.22, pp.176–181, DOI :10.5670/oceanog.2009.76.2009.

DOMBROWSKY, E. et al. *GODAE systems in Operation. Journal of Oceanography*. vol 22 n.3, pp. 80-95, doi:10.5670/oceanog.2009.68.2015.

FITZGERALD, R. B.; FINLAYSON, D. J.; ALLEN A. A. Drift of Common Search and Rescue Objects-Phase III." *Contract report prepared for Canadian Coast Guard, Research and Development, Ottawa*, 1993.

FRAGOSO, M. R. *Um Modelo numérico da circulação oceânica para as bacias leste e sudeste do Brasil*. 204. 191 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UFRJ, 2004.

GODAE. Godae.org. Disponível em: <<https://www.godae-oceanview.org>>. Acesso em mar.2020.

HYCOM. About us. Disponível em: <[www.hycom.org](http://www.hycom.org)>. Acesso em: 10 mar. 2020.

IAMSAR Manual Vol. III: *International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual*. 10. ed. Montreal: ICAO, 2016.

LIMA, PARKINSON, R. M.TANAJURA, . Design and Implementation of the Oceanographic Modeling and Observation network (remo) for Operational Oceanography and Ocean forecasting. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 31, p. 209-228, 2013

MANO, M.N. Assimilação de Dados em Modelo Oceanográfico da Bacia Sudoeste do Atlântico para reproduzir e prever Circulação superficial e feições de meso-escala. 2007. 171 f. *Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UFRJ*, 2007.

MELLOR, G. L.,EZER, T.Sea level variations induced by heating and cooling: An evaluation of the Boussinesq approximation in ocean models. *Journal Geophys. Research.*, 100(C10), 20565-20577, DOI:10.1029/95JC02442.1995

METZGER, E. et al. *Global Ocean Prediction Using HYCOM*. Naval Research Laboratory, Stennis Space Center, MS 39529,2006.

PICKARD, G. L. *Oceanografia Física Descritiva: Uma Introdução*. 2. ed.1974.

RICHARDSON, P. L. Drifting in the Wind: Leeway error in shipdrift data. *Deep Sea Research I, Great Britain*, vol.44 n.11,pp.1877-1993, 1997.



# MONITORAMENTO DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS NA ÁGUA DA REGIÃO ADJACENTE À BASE DE SUBMARINOS DA ILHA DA MADEIRA, BAÍA DE SEPETIBA, BRASIL

*Autores: Fernanda Freyesleben Thomazelli<sup>1</sup>  
Nafisa Rizzini Ansari<sup>2</sup>  
Emanuele Pereira do Monte Paganelly Batista<sup>3</sup>  
Rafaella Fontoura de Oliveira<sup>4</sup>  
Monique Dias Corrêa de Souza<sup>5</sup>  
CMG Márcio Martins Lobão<sup>6</sup>*

## RESUMO

No presente estudo foram determinadas as concentrações de metais e parâmetros físico-químicos em amostras de água coletadas na região adjacente ao complexo naval da Base de Submarinos da Ilha da Madeira, durante a fase de instalação/operação e em um ponto controle, ambos localizados na Baía de Sepetiba/RJ. Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da água, utilizando a Resolução CONAMA Nº

357/2005 como referência. Os metais pesados, apesar de estarem entre os contaminantes de maior preocupação ambiental para a Baía de Sepetiba, apresentaram, em geral, concentrações abaixo dos limites permitidos pela RC 357/05. Tais resultados indicam que as obras realizadas não impactaram de forma significativa o ambiente estudado. Para uma análise integrada dos dados, utilizou-se o Índice de Qualidade de águas Costeiras, que indicou uma boa qualidade da água na área de estudo.

---

<sup>1</sup>Assessor Técnico em Oceanografia na Fundação de Estudos do Mar (FEMAR) a serviço do IEAPM. Bacharel em Oceanografia pela UNIVALI. Mestrado e Doutorado em Geociências (Geoquímica Ambiental) pela UFF.

<sup>2</sup>Ajudante da Divisão de Oceanografia Química e Geoquímica Ambiental no IEAPM. Bacharel em Oceanografia pela UERJ. Mestrado e Doutorado em Geociências (Geoquímica Ambiental) pela UFF.

<sup>3</sup>Encarregada da Divisão de Oceanografia Química e Geoquímica Ambiental no IEAPM. Engenheira Química pela UFF. Mestre em Ciências da Engenharia Química pela COPPE-UFRJ. 4Ajudante da Divisão de Oceanografia Química e Geoquímica Ambiental no IEAPM. Engenheira Química pela UERJ.

<sup>5</sup>Assessor Técnico em Química na Fundação de Estudos do Mar (FEMAR) a serviço do IEAPM. Química Industrial pela UFF. Mestre em Geociências (Geoquímica Ambiental) pela UFF.

<sup>6</sup>Chefe do Depto. de Oceanografia do IEAPM Engenheiro Químico pela FURG. Mestrado em Química Analítica pela UFRJ. Doutorado em Oceanografia Física, Química e Geológica pela FURG.

**Palavras-chave:**

Metais; Água; Baía de Sepetiba; Qualidade da água.

**ABSTRACT**

In this study, metal concentrations and physical-chemical parameters were determined in water samples collected in the region adjacent to the naval complex of the Base de Submarinos da Ilha da Madeira during the installation/operation phase and at a control point, both located in the Sepetiba Bay/RJ. This work aimed to assess water quality, using the CONAMA Resolution No. 357/2005 (RC 357/05) as a reference. Heavy metals, despite being among the contaminants of greatest environmental concern for Sepetiba Bay, presented, in general, concentrations below the limits allowed by RC 357/05. Such results indicate that the constructions carried out did not significantly impact the studied environment. For an integrated analysis of the data, the Coastal Water Quality Index was used, which indicated good water quality in the study area.

**Keywords:**

Metals; Water; Sepetiba Bay; Water quality.

**1. INTRODUÇÃO**

O Brasil é um país de dimensões continentais, com cerca de 8,5 mil quilômetros de costa. Nosso país tem no mar uma forte referência em todo o seu desenvolvimento, sendo este ambiente uma importante fonte de riquezas minerais, energia e alimentos (PROSUB, 2021). Por via marítima são transportados aproximadamente 95% de todo o nosso comércio internacional. A

maior parte das reservas do petróleo brasileiro está armazenada no subsolo oceânico, com as bacias de Campos e de Santos respondendo pela maior parte do petróleo extraído em nossas águas (PETROBRAS, 2021). A indústria da pesca ainda responde por uma importante parcela dos alimentos consumidos pelos brasileiros, sobretudo no litoral. A imensa riqueza das águas, do leite e do subsolo marinho nessa parcela do território brasileiro justifica seu nome: Amazônia Azul (PROSUB, 2021).

A Marinha do Brasil, para proteger o patrimônio natural existente na Amazônia Azul e garantir a soberania brasileira no mar, passou a investir na expansão da força naval e no desenvolvimento da indústria brasileira da defesa, em cumprimento ao disposto na Estratégia Nacional de Defesa (END) do nosso país (Ministério da Defesa, 2008). O Programa de Desenvolvimento de Submarinos – PROSUB (PROSUB, 2021) é parte essencial desse investimento, como parte dos esforços empreendidos para dotar o país de uma "força naval de envergadura", incluindo a construção de submarinos com propulsão nuclear. Para a construção de um complexo naval/industrial que possibilitasse colocar em prática tal empreendimento, havia necessidade de buscar uma área adequada para a construção de submarinos de uso militar, cumprindo requisitos que propiciassem a integração do PROSUB à indústria brasileira de Defesa. Estudos coordenados pela Marinha do Brasil apontaram a região da Ilha da Madeira, localizada em Itaguaí, nas margens da Baía de Sepetiba, como um local propício tanto para a instalação de uma base de submarinos quanto para a construção de um estaleiro voltado para a produção de submarinos de propulsão convencional e nuclear. A escolha desse local levou em consideração, entre outros fatores, a disponibilidade de infraestrutura



industrial já adaptada para empreendimentos específicos, como a existente na empresa Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A. (NUCLEP), inaugurada em 1980 para atender demandas específicas do Programa Nuclear Brasileiro, como as das usinas nucleares de Angra I, II e III (NUCLEP, 2020).

Em função da expansão da região metropolitana do Rio de Janeiro, a Baía de Sepetiba vem sofrendo grandes modificações em suas estruturas espaciais, sociais e ecológicas. O processo de industrialização, ocupação e urbanização ao longo da região, tem sido responsável pela introdução de contaminantes em suas águas, fazendo da região a segunda principal receptora de efluentes do Estado. Devido à relevância de suas fontes e à potencialidade de impacto no ambiente marinho, pode-se destacar como os grupos mais importantes de agentes poluidores originados pelas atividades humanas os componentes do esgoto doméstico, os compostos oleosos de origem petrogênica e os metais pesados (MELGES-FIGUEIREDO, 1999).

A região da Baía de Sepetiba também tem sido severamente afetada pela contaminação por metais nas últimas décadas, apresentando altas concentrações desses elementos, principalmente no sedimento. Estas estão associadas aos despejos urbanos e industriais, mormente oriundos de metalurgia, produtos químicos, plásticos e borrachas, processamento de alimentos, além de atividades portuárias para o escoamento de minérios e navegação (LACERDA *et al.*, 2001; RODRIGUES *et al.*, 2017), os quais podem contribuir para o aporte de metais pesados para a Baía de Sepetiba. A Companhia Mercantil e Industrial Ingá, apesar de ter encerrado suas atividades há pouco mais de duas décadas (1998), deixou um grande

passivo ambiental, sendo responsável por grande parte da contaminação observada na região, principalmente por elementos-traço, como cádmio, zinco, mercúrio e chumbo (GOMES *et al.*, 2009; RODRIGUES *et al.*, 2017).

Tendo em vista a preocupação da Marinha do Brasil e dos órgãos ambientais com a preservação do meio ambiente na região de influência do local, onde se encontra instalado o complexo naval/industrial da Base de Submarinos da Ilha da Madeira – BSIM, foi estabelecido um programa de monitoramento ambiental dedicado ao empreendimento. Por meio deste programa, o qual se encontra em andamento desde o ano de 2011, buscou-se registrar (com o monitoramento da qualidade da água, da biota, de metais pesados e radionuclídeos artificiais) as condições prévias à instalação da BSIM e a evolução da qualidade ambiental no entorno do empreendimento, de modo a estabelecer uma linha de base e determinar a sua eventual influência na região.

Este trabalho tem por objetivo apresentar e discutir os resultados das concentrações de metais em amostras de água coletadas na região adjacente ao complexo naval da Ilha da Madeira entre os anos de 2017 a 2020. As amostras analisadas foram obtidas nas campanhas de Monitoramento da Qualidade da Água realizadas pelo Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudo

A Baía de Sepetiba localiza-se na região sudeste do Brasil, no litoral do Estado do Rio de Janeiro, compreendida entre as latitudes 22°53'S e 23°05'S e as longitudes 043°35'W e 044°03'W, a 60 km da



cidade do Rio de Janeiro. Sua formação ocorreu com o fechamento da Restinga da Marambaia, resultando em um grande corpo de água salinas e salobras, semiconfinado, com aproximadamente 305 km<sup>2</sup> de área e um perímetro de 130 km (Figura 1).

Considerada um dos ecossistemas aquáticos mais importantes do Estado do Rio de Janeiro, a Baía de Sepetiba apresenta algumas áreas de mangues e zonas estuárias, propiciando a criação natural de peixes, crustáceos e moluscos, sendo a pesca uma das atividades de maior importância sócio-econômica da região.

A partir da década de 60/70, houve uma grande expansão industrial e turística em toda a região, acompanhada de um grande crescimento populacional, ocasionando uma forte pressão antrópica em toda sua bacia de drenagem, resultando em modificações de suas estruturas espaciais, sócio-econômicas e ecológicas. Como consequência, a Baía de Sepetiba começou a sofrer com os impactos ambientais em decorrência da destruição de seus ecossistemas periféricos, construções irregulares de aterros, lançamento indiscriminado de efluentes urbanos e industriais de fontes variadas, bem como pela mudança no uso do solo.

O parque industrial da bacia da Baía de Sepetiba é caracterizado por um conjunto de aproximadamente 400 empresas, constituindo-se, dessa forma, um dos maiores polos industriais do Estado do Rio de Janeiro. Encontram-se instaladas na região indústrias de metalurgia, de maior relevância econômica, seguida de indústrias químicas, além de bebidas, têxtil, minerais não metálicos, editoriais e gráficas, grande parte delas concentradas nos distritos industriais de Queimados, Itaguaí, Campo Grande e Santa Cruz.

A Baía de Sepetiba é considerada o segundo principal corpo receptor de

efluentes industriais do Estado, principalmente de metais pesados, derivados da indústria minero-metalúrgica (AMADO FILHO *et al.*, 1999) que utilizam alumínio, ferro e zinco em seus processos.

## 2.2 Amostragem

Durante o período de set/2017 a ago/2020 foram realizadas coletadas quinzenais para a determinação de parâmetros físico-químicos da água. As coletas de água foram realizadas em cinco pontos amostrais na Baía de Sepetiba, sendo quatro pontos na área de influência do empreendimento (P1, P3, P4 e P5) e um na entrada da baía, considerado ponto controle (PC) (Figura 1). O PC está localizado próximo à Ilha do Vigia e por estar distante do empreendimento, não sofre influência do mesmo. O ponto P1 encontra-se no canal existente entre a Ilha da Madeira e a Ilha de Itacuruçá; o P3 está localizado no Saco da Coroa Grande, na zona de mistura do efluente da Unidade de Tratamento de Esgoto do Canteiro Norte; o P4 está situado entre o cais de acesso ao empreendimento, na Ilha da Madeira, sendo a área diretamente afetada pelo mesmo; e o P5, está localizado na área externa do molhe de acesso ao empreendimento e compreende a zona de mistura do efluente da Unidade de Tratamento de Esgoto do Canteiro Sul. As coordenadas geográficas e as batimetrias dos pontos amostrais obtidos no momento da coleta encontram-se na Tabela 1.

De acordo com a batimetria de cada ponto amostral, foram coletadas amostras de água em diferentes profundidades: entre 0 e 3 metros de coluna d'água foi coletada uma única amostra na subsuperfície; entre 3 e 6 metros, foram coletadas amostras na superfície e fundo; e em locais com batimetria superiores a 6 metros foram coletadas amostras na superfície, meio e fundo.

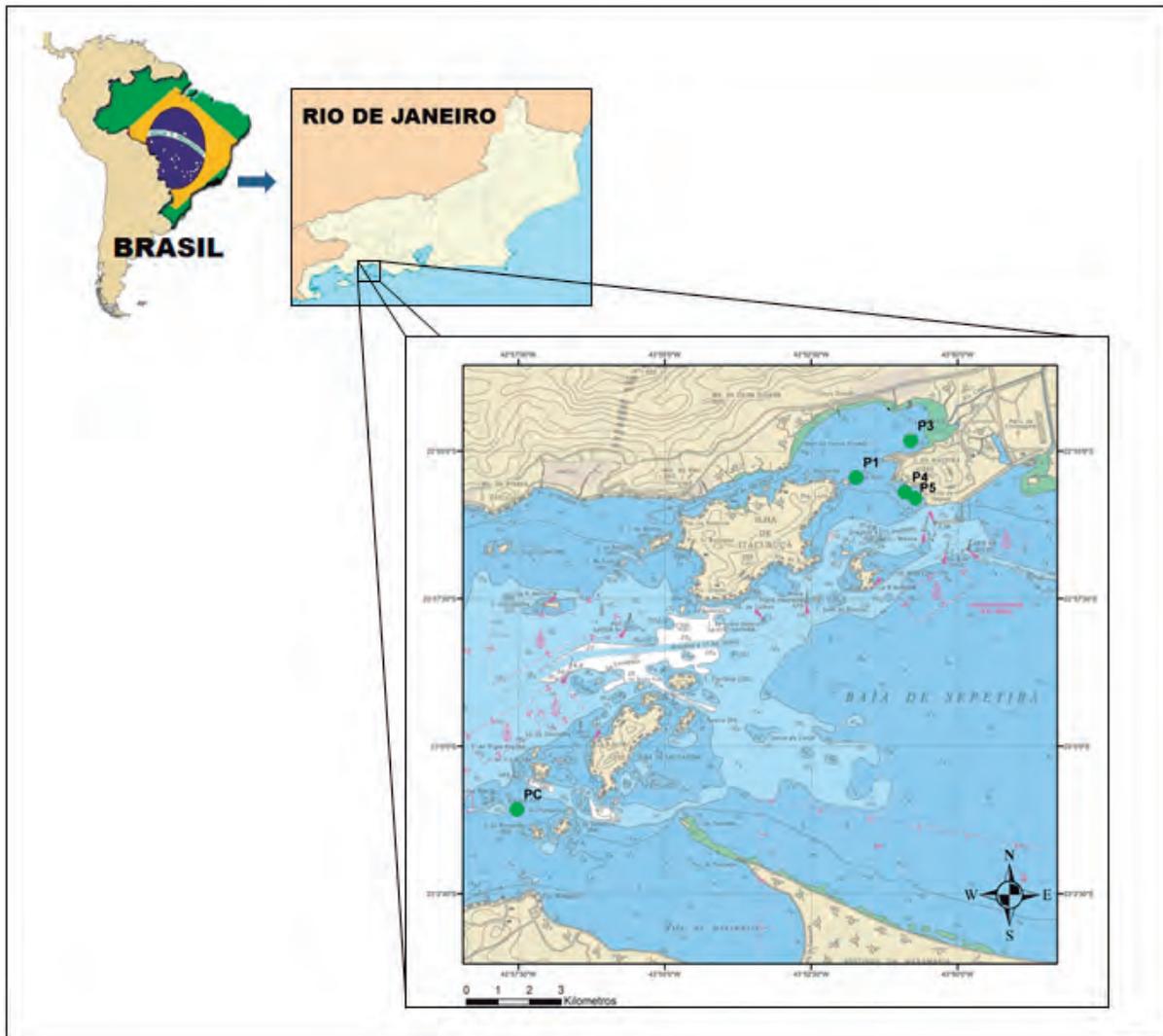


Figura 1 – Localização dos pontos amostrais na Baía de Sepetiba.

Tabela 1 – Estações de coleta, coordenadas geográficas e batimetria média obtida no momento da coleta.

Pontos amostrais	Latitude	Longitude	Batimetria (m)
PC	23°01,068' S	043°57,527' W	9,3
P1	22°55,446' S	043°51,732' W	4,5
P3	22°54,831' S	043°50,801' W	1,7
P4	22°55,701' S	043°50,944' W	11,0
P5	22°55,848' S	043°50,701' W	4,0



As amostras de água foram coletadas com garrafas oceanográficas do tipo Van Dorn e em cada lançamento, foram retiradas subamostras de água que foram armazenadas em frascos apropriados e refrigeradas para a determinação dos metais e carbono orgânico total (COT). O oxigênio dissolvido, pH, potencial de oxirredução, temperatura, salinidade e sólidos dissolvidos totais foram medidos *in situ* por meio de uma sonda multiparâmetros U-52, da marca HORIBA. Estes dados serão discutidos de maneira geral com foco na sua influência no comportamento dos metais no ambiente.

### 2.3 Análises Químicas

Para a determinação de metais, as amostras de água passaram por uma digestão ácida e posteriormente foram introduzidas no espectrômetro de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) que mede o espectro de emissão dos metais constituintes emitidos durante a passagem das amostras por uma tocha de plasma de argônio. Foram determinados o arsênio (As), alumínio dissolvido (Al), bário (Ba), cádmio (Cd), cobre dissolvido (Cu), cromo (Cr), chumbo (Pb), ferro dissolvido (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), selênio (Se) e urânio (U) e zinco (Zn). As metodologias analíticas utilizadas foram US EPA 6010 e US EPA 7000. Para a determinação dos metais pesados totais utilizou-se a amostra integral. Já para os metais dissolvidos (Al, Cu e Fe), antes da acidificação foi realizada a filtração da água por filtro de fibra de vidro 0,45  $\mu\text{m}$ .

A concentração de COT foi determinada por meio da metodologia analítica SM 5310.

### 2.4 Análises Estatísticas

Para a análise dos dados utilizou-se a mediana como medida estatística significativa. Enquanto para a comparação das

amostras utilizou-se o teste Kruskal-Wallis, um método não paramétrico para testar se as amostras são provenientes da mesma distribuição. Quando o teste Kruskal-Wallis demonstrou diferença estatística significativa, utilizou-se a comparação pareada pelo teste estatístico de Mann-Whitney para a comparação ponto a ponto. Adotou-se o valor de  $\alpha$  igual a 0,05 (ou  $1 - \alpha = 0,95$ ) para considerações de significância estatística.

### 2.5 Avaliação da qualidade da água

A fim de verificar a qualidade da água na Baía de Sepetiba foi utilizada a Resolução CONAMA No 357/05 (RC 357/05) como referência e o Índice de Qualidade de Águas Costeiras (IQAC) (CETESB, 2014).

A RC 357/05 é um dos principais instrumentos ambientais legais adotado no Brasil para este fim. De acordo com as classes de qualidades especificadas na resolução, os pontos amostrais foram enquadrados como classe 1 de águas salinas, destinada à recreação de contato primário, à proteção das comunidades aquáticas, à aquicultura e à atividade de pesca.

Para a avaliação da qualidade da água, adotou-se ainda o IQAC, índice utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2014) e elaborado pelo Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 2001). O IQAC visa a integração das informações geradas, agregando os dados mais relevantes e gerando uma classificação que reflete um diagnóstico das áreas avaliadas. Uma grande vantagem deste índice é o fato de representar uma média de diversas variáveis em um único número, combinando unidades de medidas diferentes em uma única unidade T. Dos 26 parâmetros utilizados no monitoramento, 21 foram selecionados para o cálculo do IQAC, pois apresentam limites estabelecidos pela RC 357/05 para classe 1 de água salina. Estes



parâmetros são: alumínio dissolvido, arsênio, bário, cádmio, carbono orgânico total, coliformes termotolerantes, cromo, cobre dissolvido, ferro dissolvido, manganês, níquel, chumbo, selênio, zinco, urânio, pH, oxigênio dissolvido, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal total e fósforo total. O IQAC classifica as águas em cinco categorias de acordo com a qualidade observada: excelente, boa, regular, ruim e péssima.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das concentrações dos metais nas amostras de água são apresentados na forma de medianas e faixas de concentração (limites mínimos e máximos registrados ao longo do período amostral) das concentrações para cada ponto amostral (Figuras 2, 3 e 4). Considerou-se para esta análise, todas as profundidades de coleta e campanhas realizadas nos três períodos anuais, set/2017-ago/2018, set/2018-ago/2019 e set/2019-ago/2020. Em função da pandemia causada pelo COVID-19, as coletas que seriam realizadas entre os meses de março a junho de 2020 foram suspensas.

As medianas anuais de temperatura da água do mar oscilaram entre 23,4 °C e 26,0 °C ao longo de todo o período. As menores temperaturas foram registradas no ponto PC, localizado na região mais externa da baía, de maior profundidade e circulação das águas. As temperaturas mais elevadas foram registradas no ponto P3, de menor batimetria e circulação das águas, fatores que favorecem o aquecimento das águas.

A salinidade da água do mar oscilou, em medianas anuais, entre 30,9 no ponto P3 e 34,5 no P4.

O pH apresentou valores de medianas anuais entre 8,0 e 8,2, estando de acordo com os limites estabelecidos pela RC 357/05, entre 6,5 e 8,5. Algumas amostras isoladas, no entanto, apresentaram valores de pH

levemente acima deste limite, o que pode ser atribuído à fatores naturais, como florações de algas ou antrópicos, resultantes de efluentes industriais, os quais transportam bases fortes como soda cáustica e cal hidratada.

As medianas anuais do potencial de oxirredução (Eh) oscilaram entre 135 e 222 mV, indicando uma condição oxidante do ambiente.

Os sólidos dissolvidos totais (SDT) apresentaram concentrações das medianas anuais oscilando entre 29,0 e 31,6 g.L<sup>-1</sup>, valores típicos de regiões costeiras.

O oxigênio dissolvido (OD) apresentou as menores medianas anuais de concentração no ponto P4, com valores entre 4,5 e 5,1 mg.L<sup>-1</sup>, inferiores ao limite mínimo de 6 mg.L<sup>-1</sup> estipulado pela RC 357/05 para classe 1 de águas salinas. A construção de dois grandes molhes na entrada do empreendimento, provavelmente, ocasionou uma redução na circulação das massas d'água nesse local resultando em um declínio nas concentrações de OD. Nos pontos PC e P5, foi verificada uma maior oscilação na distribuição sazonal da concentração de OD, sendo registradas medianas ligeiramente inferiores a 6 mg.L<sup>-1</sup> no PC (5,9 mg.L<sup>-1</sup>) e no P5 (5,8 mg.L<sup>-1</sup>), e valores superiores a estes nos outros períodos. Nos demais pontos amostrais as medianas anuais oscilaram entre 6,0 e 6,9 mg.L<sup>-1</sup>, indicando uma boa oxigenação das águas.

As medianas anuais da concentração do carbono orgânico total (COT) foram inferiores ao limite de quantificação do método analítico em todos os pontos amostrais e, desta forma, inferiores à concentração máxima de 3 mg.L<sup>-1</sup> prevista pela RC 357/05. Entretanto, algumas amostras apresentaram concentrações acima deste limite, representando 7% das amostras analisadas. Altas concentrações de COT estão associadas à presença de matéria orgânica degradável no ambiente aquático. A entrada de matéria orgânica de origem antrópica no meio aquático aumenta significativamente a quantidade



de nutrientes disponíveis no meio, desequilibrando os processos de fotossíntese e decomposição. Além disso, elevados teores de matéria orgânica, quando não consumida na zona eufótica, tendem a ser depositados e seu acúmulo pode favorecer a formação de fundos anóxicos (RABALAIS *et al.*, 2010; NIGGEMANN *et al.*, 2007).

Dentre os parâmetros físico-químicos apresentados, os que mais influem no comportamento dos metais são os Eh, OD e COT. Quando o ambiente é redutor ou parcialmente redutor, metais como Fe e Mn, que são redox sensíveis, apresentam um comportamento geoquímico complexo podendo formar cátions de baixa solubilidade e precipitar na superfície do material particulado em suspensão ou manterem-se solúveis dependendo do Eh e dos níveis de OD. Além disso, os íons metálicos podem se associar à matéria orgânica. Entretanto, no presente estudo, em geral, não foram observadas as condições citadas acima, pois o Eh e OD indicaram ambientes mais oxidantes e não foram observados altos teores de COT.

A Baía de Sepetiba é conhecida como um dos locais, na costa brasileira, mais contaminada por metais pesados, resultante dos despejos industriais de produtos químicos, metalurgia, plástico e borracha, processamento de alimentos, atividades do porto e navegação (LACERDA *et al.*, 2001), por via fluvial, principalmente pelos Rios Guandu, Guarda e Canal do São Francisco, e também por via atmosférica.

Apesar deste histórico de contaminação, ao longo deste monitoramento, os níveis de metais na água têm se mantido baixos ou inferiores ao limite de quantificação do método analítico (LDQ) para a maioria das amostras analisadas. Segundo Maddock *et al.* (2003), a Baía de Sepetiba funciona como um “trap” (armadilha) muito eficiente, retendo grande parte dos metais presentes na água. Os metais são adsorvidos ao

material particulado em suspensão e, em seguida, são depositados no sedimento, sendo dessa forma retirados da coluna d’água rapidamente. Portanto, as baixas concentrações de metais pesados na coluna d’água são provavelmente resultantes deste processo.

O arsênio (As), o cádmio (Cd), o cobre dissolvido (Cu), o cromo (Cr), o chumbo (Pb) e o selênio (Se) apresentaram concentrações abaixo do LQM durante o período que abrange este estudo. Alguns destes metais, como o Cd e Pb, juntamente com o Zn, são indicados na literatura como os principais contaminantes da Baía de Sepetiba (LACERDA *et al.*, 1994; RODRIGUES *et al.*, 2017), tendo como principal fonte os rejeitos da Companhia Ingá. No entanto, o Cd e o Pb não foram detectados na coluna d’água no decorrer deste período.

Ferreira *et al.* (2010) registraram baixas concentrações de Cd em seus estudos, com valores entre 0,0001 a 0,0113 mg.L<sup>-1</sup> e média de 0,002 mg.L<sup>-1</sup> ± 0,003. Já para o Cr, esses mesmos autores registraram concentração média de 0,030 mg.L<sup>-1</sup> ± 0,023 ( $\Delta = 0,01$  a 0,077 mg.L<sup>-1</sup>). Já Moreira (2009), registrou menores concentrações de Cr, entre níveis não detectados a 0,0014 mg.L<sup>-1</sup>. Para o Cu, Ferreira *et al.* (2010) registraram concentrações de 17,9  $\mu\text{g.L}^{-1}$  ± 13,1, no entanto, para Cu total e não apenas para a fração dissolvida. Segundo Moreira (2009), a fração dissolvida é a maior contribuinte para o total deste metal e de outros elementos. Paraquetti *et al.*, (2007) encontrou valores entre 2,0 e 2,3  $\mu\text{g.L}^{-1}$  de Cu na entrada da Baía de Sepetiba.

As medianas anuais da concentração de alumínio (Al) dissolvido oscilaram entre 0,04 e 0,18 mg.L<sup>-1</sup>, não sendo observado padrão de distribuição espacial ou sazonal (Figura 2, 3 e 4). Somente no período de set/17-ago/18 foi verificada diferença estatística significativa entre os pontos P1 e P3, os quais apresentaram maiores medianas anuais de



concentrações, e os demais pontos amostrais. Os valores registrados estiveram de acordo com os valores preconizados pela RC 357/05 (máximo de  $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$ ). O alumínio é um dos elementos mais abundantes encontrados na crosta terrestre, ocorrendo naturalmente no ar, na água e no solo, sendo que processos naturais ou antrópicos podem elevar sua concentração no meio ambiente (ATSDR, 2010).

O bário (Ba) foi detectado em baixas concentrações neste estudo, com medianas anuais oscilando entre valores inferiores ao LQM e  $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$  (Figura 2, 3 e 4). As concentrações foram constantes, espacial e sazonalmente, não sendo observadas diferenças estatísticas significativas entre os pontos amostrais. O bário é relativamente abundante na natureza e é encontrado em plantas e tecidos animais, como os marinhos (ATSDR, 2007).

As medianas anuais da concentração de ferro (Fe) dissolvido oscilaram entre  $0,04 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $0,14 \text{ mg.L}^{-1}$ , em conformidade com os valores máximos estabelecidos pela RC 357/05 ( $0,30 \text{ mg.L}^{-1}$ ), apesar de algumas amostras, em torno de 1% do total, apresentarem valores superiores a estes limites (Figura 2, 3 e 4). Diferenças estatísticas significativas foram registradas apenas no período de set/17-ago/18 entre o P4, de menores concentrações, e os pontos PC, P1 e P3, bem como entre o P3, de concentração mais elevada, e os pontos P4, P5 e PC. No entanto, o mesmo não foi observado nos demais períodos amostrais. O Fe é um dos metais mais abundantes na crosta terrestre, sendo um elemento crucial para o crescimento e a sobrevivência de quase todos os organismos vivos. É possível que a origem destas maiores concentrações de Fe seja decorrente das atividades de descarga de minérios de ferro do Porto de Itaguaí, o qual é gerenciado pela mineradora Vale.

As concentrações de manganês (Mn) foram constantes ao longo do tempo, apresentando medianas anuais inferiores ao LQM e máxima de  $0,03 \text{ mg.L}^{-1}$ , dentro do limite da RC 357/05 ( $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$ ) (Figura 2, 3 e 4). Nos dois primeiros períodos, foi registrada uma diferença estatística significativa entre o ponto P3, de concentração um pouco mais elevada, e os outros pontos amostrais.

O níquel (Ni) foi detectado somente em duas amostras durante este período, e em apenas uma delas estava em desacordo ( $0,09 \text{ mg.L}^{-1}$ ) com o limite da RC 357/05 de  $0,025 \text{ mg.L}^{-1}$ . Suas fontes antropogênicas incluem a mineração, fundição e refinamento de metal, queima de combustíveis fósseis, produção de plástico e incineração de esgoto. A concentração de níquel no ar costuma ser maior em áreas industrializadas, resultado da elevação de sua concentração em corpos d'água próximos a estas áreas.

O urânio (U) foi detectado somente em 10 amostras entre set/17-ago/18, totalizando 1,2% das amostras analisadas no período que abrange este estudo, estando esse metal em concentrações dentro dos limites estipulados pela RC 357/05 ( $0,50 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Em função da atividade fim desse monitoramento, relacionado com a construção e instalação de um estaleiro e base naval de submarinos convencionais e nucleares, este metal merece uma atenção especial. Esse elemento está presente naturalmente na água do mar em baixas concentrações, na ordem de  $3,4 \text{ g.g}^{-1}$  (ARMID, 2007). Sua origem natural está vinculada ao intemperismo de rochas sedimentares da crosta terrestre. No entanto, a preocupação ambiental com este elemento está vinculada à sua introdução no ambiente marinho por fontes antropogênicas, relacionadas às atividades nucleares tais como vazamentos em instalações, testes nucleares, armazenamento ou descarte impróprio de lixo radioativo, uso



de artefatos nucleares e descarte impróprio do lixo radioativo.

O zinco (Zn), apesar de ser indicado como um dos grandes contaminantes da Baía de Sepetiba (LACERDA *et al.*, 1994; RODRIGUES *et al.*, 2017), foi detectado em apenas 1,2% das

amostras analisadas neste período, em concentrações de no máximo 0,08 mg.L<sup>-1</sup>, abaixo do limite da RC 357/05 (0,09 mg.L<sup>-1</sup>) (Figura 3). Ferreira *et al.* (2010) encontraram concentrações de 0,292 mg.L<sup>-1</sup> ± 0,177 de Zn, valores muito superiores ao registrado neste relatório.

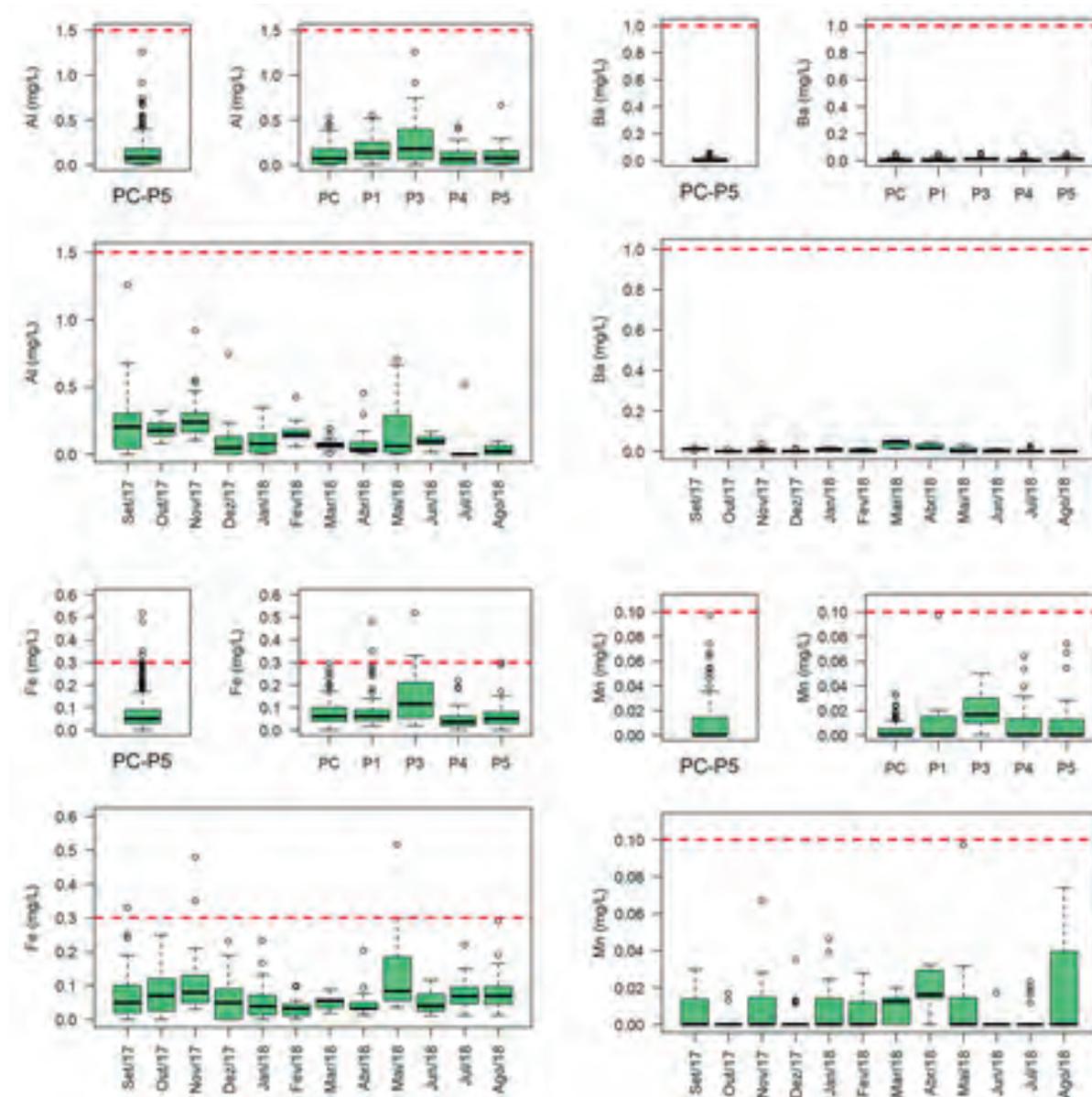


Figura 2 – Distribuição da mediana de metais pesados para todos os pontos amostrais de Set/17 a Ago/18; por ponto amostral, considerando todo o período; e medianas mensais de todos os pontos amostrais. Linha pontilhada em vermelho: limites estabelecidos pela RC 357/05.

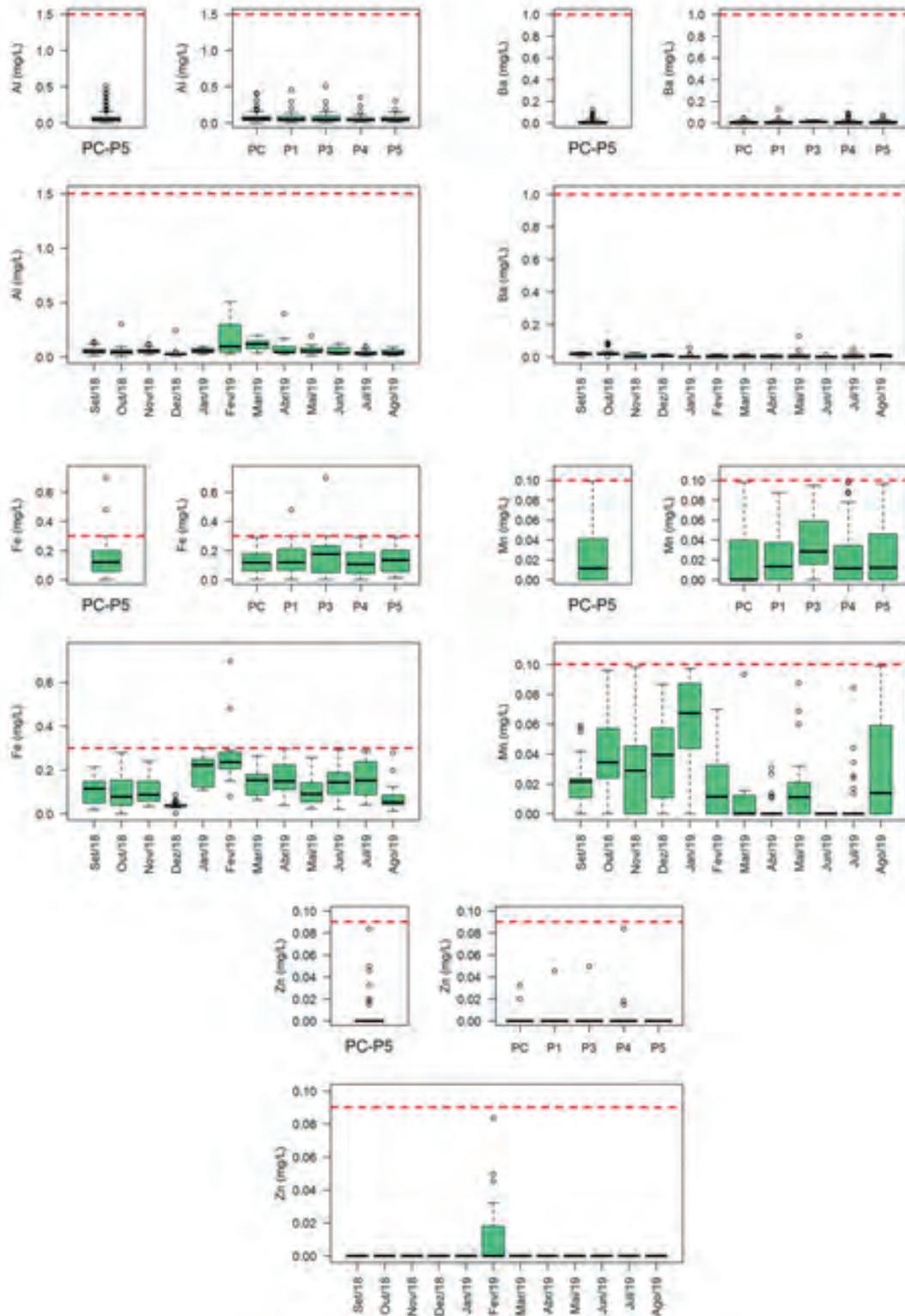


Figura 3 – Distribuição da mediana de metais pesados para todos os pontos amostrais de Set/18 a Ago/19; por ponto amostral, considerando todo o período; e medianas mensais de todos os pontos amostrais. Linha pontilhada em vermelho: limites estabelecidos pela RC 357/05.

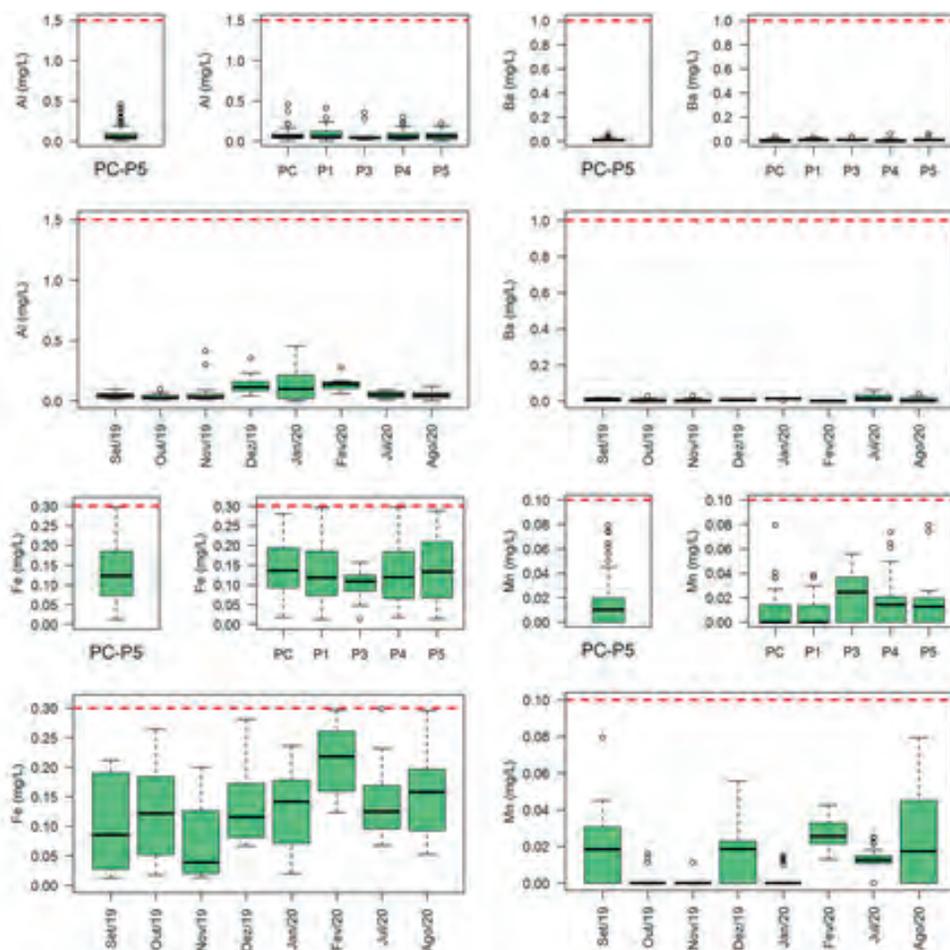


Figura 4 – Distribuição da mediana de metais pesados para todos os pontos amostrais de Set/19 a Ago/20; por ponto amostral, considerando todo o período; e medianas mensais de todos os pontos amostrais. Linha pontilhada em vermelho: limites estabelecidos pela RC 357/05.

De acordo com os resultados do IQAC, a qualidade da água nas áreas de influência do empreendimento foi considerada boa, pois apresentou valores de IQAC entre <95 e ≥80 em todos os pontos amostrais monitorados (Figura 5).

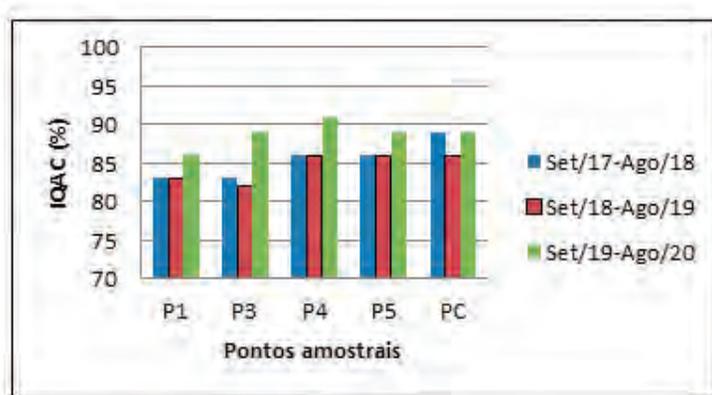


Figura 5 – Índice da Qualidade da Água Costeira para cada período e pontos amostrais.



#### 4. CONCLUSÕES

Os metais pesados, apesar de serem contaminantes de preocupação histórica para a Baía de Sepetiba, apresentaram baixas concentrações durante o período que abrange este monitoramento (set/17-ago/20). As concentrações dos metais estudados encontram-se, em geral, abaixo dos limites estabelecidos pela RC 357/05, e são similares às concentrações previamente encontradas para essa região e para o ponto controle (PC). Somente o ferro dissolvido, o urânio e o zinco apresentaram valores acima do limite preconizado pela RC 357/05, totalizando no máximo 1,2% das amostras analisadas.

De acordo com os resultados do IQAC, a qualidade da água na região de influência do empreendimento é considerada boa. Desta forma, à luz das análises de metais, conclui-se que a instalação do empreendimento exerce baixa influência sobre o ambiente estudado. Algumas alterações por vezes observadas se devem a problemas ambientais inerentes à Baía de Sepetiba que apresenta em sua bacia de drenagem indústrias dos mais diversos segmentos, além de grandes adensamentos populacionais sem sistemas de tratamento de esgoto, que podem contribuir para a introdução de contaminantes, com graves consequências à qualidade da água deste ambiente.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARMID, O. Determination of uranium in pore water from coastal sediment by Standard addition ICP-MS analysis. *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*, v. 275 pp, 233-237, 2007.

ATSDR. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCE AND DISEASE REGISTRY. *Minimal Risk Levels for Hazardous Substances (MRLs)*, 2010. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/mrls/index.html>>. Acesso em 08/02/202>.

BRASIL. Ministério da Defesa. 2008. *Estratégia Nacional de Defesa*. Disponível em <[https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/copy\\_of\\_estado-e-defesa/estrategia-nacional-de-defesa](https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/copy_of_estado-e-defesa/estrategia-nacional-de-defesa)>. Acesso em 12/03/2021>.

CCME. *Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME WATER QUALITY INDEX 1.0. User's Manual*. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, 2001. Disponível em: <[https://www.ccme.ca/en/resources/canadian\\_environmental\\_quality\\_guidelines#](https://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines#)>. Acesso em 08/02/2021.

CETESB. 2014. *Qualidade das águas salinas e salobras no Estado de São Paulo*. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 08/02/202>.

CONAMA. 2005. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (BRASIL). *Resolução nº 357 de março de 2005*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 08/02/202>.



FERREIRA, A. P.; HORTA, M. A. P.; CUNHA, C.L.n. *Trace element residues in water, sediments, and organs of Savacu (Nycticorax nycticorax) from Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil.* *Ambi-Água*, v. 5, n. 1, p. 17-28, 2010.

GOMES, F.C.; GODOY, J.M.; GODOY, M.L.D.P.; CARVALHO, Z.L.; LOPES, R.T.; SANCHEZ-CABEZA, J.A.; LACERDA, L.D.; WASSERMAN, J.C. *Metal concentrations, fluxes, inventories, and chronologies in sediments from Sepetiba and Ribeira bays: a comparative study.* *Mar. Pollut. Bull.*, 59, 123-133, 2009.

LACERDA, L.D.; GRAÇA, N.M. QUINTANILHA, M.C.P. *Bibliografia sobre a contaminação por metais pesados em ambientes costeiros do Estado do Rio de Janeiro.* Série Geoquímica Ambiental, 4. Editora de Universidade Federal Fluminense, Niterói, 57p. 1994.

LACERDA, L.D. *et al.* River basin activities, impact, and management of anthropogenic trace metal and sediment fluxes to Sepetiba Bay, southeastern Brazil. In: BODUNGEN, B.; TURNER, R.K. *Science and Integrated Coastal Management.* Dahlem University Press. cap. 13, p.213-. 2001.

MADDOCK, J.E.L.; REES, J.G.; BREWARD, N. O estuário como “trap” de metais: balanço da baía de Sepetiba (RJ). In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 9, 2003, Anais*, p. 467-469, Belém – PA.

MELGES-FIGUEIREDO, L. H. *Investigação das contribuições orgânicas antrópicas e naturais em sedimentos costeiros utilizando-se hidrocarbonetos marcadores.* Rio de Janeiro, 1999. 194f. (Tese de Doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

MOREIRA, D.A.C. *Concentração e transformações de elementos traço nas frações particulada, coloidal e verdadeiramente dissolvida de dois estuários do Rio de Janeiro, Brasil.* 145 p. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2009.

NIGGEMANN, J.; FERDELMAN, T.G.; LOMSTEIN, B.A.; KALLMEYER, J.; SCHUBERT, C.J. How depositional conditions control input, composition, and degradation of organic matter in sediments from the Chilean coastal upwelling region. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 71, p. 1513–1527, 2007.

NUCLEP. 2020. *Nuclep 40 Anos.* Disponível em <<https://nuclep.gov.br/pt-br/content/nuclep-40-anos>>. Acesso em 12/03/2021.

PARAQUETTI, H. H. M. *et al.* *Distribuição de metais dissolvidos (Cu, Cd, Pb e Hg) nas águas da Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro – Brasil.* XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar - XII COLACMAR. Florianópolis, 15 a 19 de abril de 2007.

PETROBRAS. 2021. *Exploração e Produção de Petróleo e Gás.* Disponível em <<https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/>>. Acesso em 12/03/2021.



PROSUB. 2021. *Programa de Desenvolvimento de Submarinos*. Disponível em <<https://www.marinha.mil.br/prosub/institucional>>. Acesso em 12/03/2021.

RABALAIS, N.N.; DIAZ, R.J.; LEVIN, L.; TURNER, R.E.; GILBERT, D. & ZHANG, J. (2010). *Dynamics and Distribution of Natural and Human-Caused Hypoxia*. *Biogeosciences*, 7: 585–619.

RODRIGUES, S.K.; ABESSA, D.M.S.; RODRIGUES, A.P.C.; SOARES-GOMES, A.; FREITAS, C.B.; SANTELLI, R.E.; FREIRE, A.S.; MACHADO, W. *Sediment quality in a metal-contaminated tropical bay assessed with a multiple lines of evidence approach*. *Environ. Pollut.*, 228, 265-276, 2017.

THE UNITED STATES OF AMERICA. USEPA. United States Environmental Protection Agency. *Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods*. SW-846. Disponível em <<http://www.epa.gov>>. Acesso em 08/02/2021.





## VIII – EFEMÉRIDES HIDROGRÁFICAS

### ATIVAÇÃO DO CENTRO DE INSTRUÇÃO E ADESTRAMENTO ALMIRANTE RADLER DE AQUINO (CIAARA)



A data de 30 de janeiro de 2020 representou uma efeméride para o Sistema de Ensino Naval (SEN) na área de Hidrografia e Navegação. Nesse dia, após um longo e minucioso processo envolvendo estudos e tratativas conduzidos pela Administração Naval, foi realizada a ativação do Centro de Instrução e Adestramento “Almirante Radler de Aquino” (CIAARA), marcando o nascimento dessa Organização Militar de Ensino (OME), subordinada à Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

A cerimônia foi presidida pelo Diretor-Geral de Navegação, Almirante de Esquadra Marcelo Francisco Campos, e contou com a presença do Comandante do Grupamento de Navios Hidroceanográficos, Capitão de Mar e Guerra Marco Antonio Linhares Soares, representando o Diretor de Hidrografia e Navegação. Também prestigiaram a solenidade o Ex-Comandante da Marinha, Almirante de Esquadra Júlio Soares de Moura Neto, o Comandante de Operações Navais, Almirante de Esquadra Leonardo Puntel, o Comandante a Escola Superior de Guerra, Almirante de Esquadra Alípio Jorge Rodrigues da Silva, e os Almirantes de Esquadra Marcos Augusto Leal de Azevedo e Luiz Fernando Palmer Fonseca (Ex-Diretores de Hidrografia e Navegação).



*Ao centro, o Diretor-Geral de Navegação; à sua esquerda, o Comandante do Grupamento de Navios Hidroceanográficos, representando a Diretoria de Hidrografia e Navegação; e, à sua direita, o Comandante empossado.*

O CIAARA foi criado a partir do desmembramento da Superintendência de Ensino da DHN, setor cuja origem remonta a 26 de junho de 1931, data em que se estabeleceu a especialidade acadêmica de Hidrografia para oficiais no Brasil. Posteriormente, em 1933, abriu-se a primeira turma do curso de Especialização em Navegação e Hidrografia para Oficiais, atual Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia para Oficiais (CAHO). Desde então e incansavelmente, esse curso tem sido ministrado ano após ano, além de terem sido incluídos, ao longo das décadas, outros cursos de carreira, cursos especiais e expeditos ao seu Programa de Ensino.

A continuidade e crescimento desse esforços advém da demanda pelo acompanhamento contínuo do avanço das tecnologias relacionadas ao apoio à aplicação do Poder Naval, à Segurança da Navegação e ao atendimento dos diversos projetos nacionais e internacionais de pesquisa de interesse da Marinha e do Brasil, evidenciando o papel científico, formativo e normativo da DHN como Diretoria Especializada (DE).

Tendo em vista a manutenção desse elevado grau de especialização requerido pela nossa DE, bem como o atendimento das tarefas de natureza instrucionais e de apoio ao ensino, a criação do CIAARA contribui, cada vez mais, para que a DHN e o setor DGN exerçam seu papel normativo, de orientação e de desenvolvimento de novas tecnologias, possibilitando o aprimoramento das atividades junto ao Setor Operativo e de Ensino.

Como OME, o CIAARA pode dedicar-se mais inteiramente a seu propósito de fornecer instrução naval nas áreas de conhecimento afetas à DHN, propiciando atendimento ao público interno e externo, bem como promovendo a melhoria dos índices e metas educacionais da Marinha e do Brasil.



*O Comandante empossado, o Capitão de Mar e Guerra PASCHOAL MAURO BRAGA MELLO FILHO, assina o Termo de Ativação.*

Para essa nova OM, foi designado como primeiro Comandante o Capitão de Mar e Guerra Paschoal Mauro Braga Mello Filho, oficial hidrógrafo que possui um amplo currículo, abrangendo Graduação Ciências Navais, Aperfeiçoamento em Hidrografia para Oficiais, Graduação em Direito, Pós-Graduação em Gestão Empresarial e em Docência do Ensino superior, entre outros cursos.

Além desses atributos, o CMG Braga Mello possui uma longa experiência no mar, tendo participado de 15 (quinze) comissões, incluindo embarques no Navio-Escola “Brasil”, no Navio de Apoio Oceanográfico “Ary Rongel” e no Navio Polar “Almirante Maximiano”, do qual foi Imediato. Comandou o Aviso de Instrução “Aspirante Nascimento”, o Navio Hidroceanográfico “Amorim do Valle” e o Navio Hidrográfico “Sirius”. Enobrecem ainda mais o seu currículo as 10 (dez) condecorações às quais já fez juz (Ordem do Mérito, Ordem do Mérito Judiciário Militar e Medalha do Mérito Marinheiro, dentre outras).

Como sua missão, o CIAARA propõe-se a: “ministrar cursos, adestramentos e estágios relacionados com as atividades de hidrografia, oceanografia, meteorologia, navegação e auxílios à navegação, a fim de capacitar pessoal nas áreas de conhecimento de competência da DHN”.

Nesse sentido, por tratar-se, atualmente, de um Centro de Instrução e Adestramento ligado à navegação e hidrografia, nada mais oportuno do que homenagear, como seu patrono, um oficial hidrógrafo de brilhante carreira. Optou-se, assim, pela proeminente figura do Vice-Almirante Francisco Radler de Aquino.



*Vice-Almirante FRANCISCO RADLER DE AQUINO*

Reconhecido pelos seus feitos, o Vice-Almirante Francisco Radler de Aquino foi o criador das Tábuas de Altura e Azimute, também conhecidas como Tábuas Radler de Aquino, que constituíram um significativo avanço na solução do triângulo de posição. Tal feito representou uma conquista intelectual digna da tradição naval brasileira e uma importante contribuição à navegação mundial, permanecendo como um conhecimento válido e aplicável, não obstante o atual desenvolvimento tecnológico.

Nascido nos Estados Unidos, em 23 de janeiro de 1878, tornou-se uma das figuras proeminentes da nossa Marinha de Guerra. Sua trajetória no Brasil teve início em 1891, no Rio de Janeiro, onde aprendeu português e foi admitido na Escola Naval, ingressando como Guarda-Marinha aos 15 anos de idade. Prosseguiu o seu curso com brilhantismo, ocupando sempre a liderança de sua turma.

Em 1906, serviu na Repartição da Carta Marítima e foi nomeado, naquele mesmo ano, Adido Naval da Embaixada Brasileira em Washington, então sob a chefia de Dr. Joaquim Nabuco, diplomata que habilmente colaborou para a aproximação entre Brasil e Estados Unidos.

Pouco depois, realizou a viagem inaugural do encouraçado “Minas Gerais”; comandou o novo encouraçado “Batista das Neves”; e tornou-se Encarregado dos cronômetros da Marinha, no antigo Observatório Astronômico do Morro do Castelo, onde remodelou esse serviço e adquiriu os primeiros cronômetros de torpedeiro para a nossa Marinha.

Foi nomeado Auxiliar de Ensino da Escola de Guerra Naval e Oficial de Ligação entre a Missão Naval Americana e as autoridades Navais Brasileiras, devido ao seu domínio da língua inglesa, bem como sua experiência na embaixada. No exercício de complexas funções como essas, fez jus a repetidos louvores de chefes nacionais e estrangeiros, entre eles, o Contra-Almirante H. F. Bryan e o presidente americano Franklin Delano Roosevelt, com quem estreitara relações.



*Descerramento da Placa de Ativação acompanhado do Ex-Comandante da Marinha, Almirante de Esquadra JULIO SOARES DE MOURA NETO.*

Além disso, participou de outras promissoras comissões como Imediato do Navio-Escola “Benjamin Constant” e comandou o Cruzador “Rio Grande do Sul”, onde realizou os primeiros lançamentos do torpedo Bliss-Leavitt.

Distinguiu-se, também, por seu espírito científico ao criar uma obra original e perdurável no campo da Astronomia e da Navegação. Seus trabalhos sobre Navegação introduziram novas soluções para velhos problemas. Suas tábuas náuticas, notáveis pela precisão e pelas vantagens que ofereciam, não tardaram a repercutir o seu nome no exterior, chamando a atenção dos mais adiantados centros da América e da Europa. Entre suas contribuições, estão o “*Altitude and Azimuth Tables*”, adotado pelo Governo dos Estados Unidos para serem empregadas a bordo dos seus navios, e o sistema “*Aquino’s Newest Sea and Air Navigation*” que se tornou um conhecimento amplamente utilizado na Armada Americana.

Ademais, teve trabalhos publicados em revistas científicas internacionais, como a “*United States Naval Institute Proceedings*” e a “*Nautical Magazine*”, e foi recebido como sócio e membro honorário em sociedades culturais e científicas, tais como: o Instituto de Navegação de Londres, Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro, Instituto Técnico Naval, Instituto Oceanográfico Brasileiro e a Academia Brasileira de Ciências.

Desse modo, é com renovada disposição e compromisso que essa OM surge, sob os auspícios e longa tradição de sua instituição original, a Superintendência de Ensino da DHN, que ao longo de quase um século vem ensinando os caminhos do mar, bem como sob a égide de seu egrégio patrono, cuja extensa biografia abrange trabalhos originais de reconhecido valor, constituindo-se em atestados da sua contribuição para o desenvolvimento da Hidrografia e da Navegação.



## CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA (CHM)

- Em 24 de janeiro de 2020, o Ciclone Subtropical Kurumí foi previsto pelo Serviço Meteorológico Marinho (SMM) formando-se a 375 milhas náuticas do litoral dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo, sendo nomeado pela Marinha de acordo com as regras para identificação de ciclones subtropicais e a lista de nomes estabelecidas na NORMAM-19 (1ª Revisão).
- Em maio de 2020, foi publicada a Portaria nº 79/DHN que definiu a primeira modificação da NORMAM-25/DHN (2ª Revisão). Nessa modificação, foi incluída a utilização da certificação digital no trâmite de documentos entre a Marinha do Brasil e as Entidades Executantes de Levantamentos Hidrográficos, proporcionando economia e agilidade aos processos previstos na referida norma.
- Em 28 de setembro de 2020, iniciou-se a produção da Carta Sinótica em formato digital. Buscando soluções para adaptar seus produtos às novas tecnologias, o CHM realizou desenvolvimentos na área computacional para utilizar o programa *General Meteorological Package* (GEMPAK) no processo de análise da carta sinótica. O software passou a ser utilizado na representação gráfica dos fenômenos meteorológicos em substituição à carta produzida em papel desde a década de 1950.
- Em 28 de setembro de 2020, foi lançada a versão para dispositivos móveis do aplicativo Sistema de Previsão de Correntes de Maré em Águas Rasas (SISCORAR), desenvolvido pela Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica (REMO). Disponível para computadores desde 2018, o SISCORAR é uma ferramenta capaz de prever a intensidade e a direção da corrente gerada pela interação da maré astronômica com a variação de batimetria em regiões de águas rasas. Com diversas melhorias, a versão do aplicativo em dispositivos móveis permite o acesso às informações de maneira mais fácil e interativa.
- Publicação, no Dia do Hidrógrafo, em 28 de setembro, da nova edição da carta náutica 21300 (INT 4196) – Do Cabo Norte ao Cabo Maguari, com a inclusão de um plano na área do Arco Lamoso da Barra Norte, atribuindo maior segurança à navegação na região.
- Em 26 de outubro de 2020, o Ciclone Subtropical Maní foi previsto com ventos sustentados de 35 nós e rajadas de até 45 nós, este ciclone deslocou-se para Sudeste afastando-se do litoral dos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo entre os dias 26 e 27 de outubro de 2020. Foram emitidos avisos especiais para destacar as características deste tipo de ciclone com potencial de degradação de condições ambientais para navegação segura.
- Em novembro de 2020, o CHM conseguiu, pela primeira vez, reduzir a zero a fila de espera de análise de levantamentos hidrográficos executados pela Marinha do Brasil e por Entidades Executantes. Este feito foi alcançado por meio do desenvolvimento de ferramentas de controle que viabilizaram o teletrabalho, o aumento de analistas e da produtividade durante a pandemia.



- Em 5 de dezembro de 2020, ocorreu o lançamento de uma boia-ondógrafo nas proximidades da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), no âmbito do projeto REMO-OBS firmado com a PETROBRAS. Os dados dessa boia serão utilizados para aprimorar as informações prestadas pelo Serviço Meteorológico Marinho em apoio às atividades navais da EACF.
- Em 21 de dezembro de 2020, foi firmado o Acordo de Cooperação entre o CHM e a PETROBRAS para dar continuidade ao projeto Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica (REMO). O acordo visa desenvolver e aperfeiçoar, no CHM, o sistema de assimilação de dados do modelo hidrodinâmico oceânico, a modelagem hidrodinâmica para águas rasas, a modelagem de ondas e um sistema de previsão de dispersão de óleo no mar, visando obter previsões oceanográficas mais acuradas em prol da Defesa Nacional e da Segurança da Navegação.
- O Ciclone Subtropical Oquira foi previsto e acompanhado pelo SMM e se formou no dia 28 de dezembro de 2020, a 430 milhas náuticas do litoral do estado do Rio Grande do Sul, sendo o décimo primeiro ciclone a ser classificado como tempestade subtropical nomeado pela Marinha de acordo com as regras e a lista de nomes estabelecidas na NORMAM-19 (1ª Revisão).

## GRUPAMENTO DE NAVIOS HIDROCEANOGRÁFICOS (GNHo)

- Em 15 de janeiro de 2020, o NPo “Almirante Maximiano” e o NApOc “Ary Rongel” participaram da inauguração das novas instalações da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), evento de grande magnitude no contexto do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR). Na ocasião, o NPo “Almirante Maximiano” recebeu autoridades de alto escalão, como o Sr. Vice-Presidente da República, Antônio Hamilton Martins Mourão, o Ministro da Defesa, Fernando Azevedo e Silva, o Ministro da Infraestrutura, Tarcísio Gomes de Freitas, o Ministro da Ciência, Tecnologia e Inovações, Marcos Cesar Pontes, e o Comandante da Marinha, Almirante de Esquadra Ilques Barbosa Junior.
- Em agosto de 2020, o Aviso de Pesquisa Hidroceanográfico “Aspirante Moura” realizou sua primeira campanha hidrográfica na Marinha do Brasil, para atualização da carta náutica 1507 – Enseada de Macaé e Proximidades, cumprindo evento previsto no Plano de Trabalho de Hidrografia da DHN, de grande relevância para a segurança da comunidade marítima local e de navios que prestam apoio às plataformas da Bacia de Campos.
- Entre os dias 8 de setembro e 18 de novembro de 2020, o NHoF “Almirante Graça Aranha” realizou a comissão “Levantamento Hidrográfico da Barra Norte do Rio Amazonas”. O Navio foi utilizado como Estação Maregráfica Móvel na coleta de dados de profundidade do Arco Lamoso da Barra Norte do Rio Amazonas.



- Em outubro de 2020, a OPERANTAR XXXIX foi marcada pelo voo inaugural, a partir do NPo “Alte Maximiano”, das novas aeronaves UH-17 na Antártica, estabelecendo um novo capítulo das operações aéreas no continente gelado.
- Entre os dias 12 de outubro e 15 de novembro, o NPqHo “Vital de Oliveira” realizou a comissão “Elevação do Rio Grande / PROERG Gás II”, com a missão de realizar coleta de dados para subsidiar futuras requisições brasileiras na área em questão, ressaltando-se os aspectos necessários à construção da Linha de Base Ambiental da ERG, e os padrões gerais e processos potencialmente importantes para a interpretação dos futuros estudos localizados na região.
- Entre 21 de outubro de 2020 e 1º de dezembro de 2020, o NOc “Antares” realizou a Operação PIRATA BR-XX, tendo como objetivo manter a operacionalidade das boias ATLAS/T-FLEX, por meio da inspeção, recolhimento, manutenção e lançamento das mesmas, bem como a coleta de dados oceanográficos na região. Essa Operação visa garantir a contribuição brasileira ao Projeto PIRATA (*Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic*), iniciativa tripartite de instituições científicas do Brasil, Estados Unidos e França.
- No período de 20 de novembro a 15 de dezembro de 2020, o NHo “Taurus” e o AvPqHo “Aspirante Moura”, realizaram o levantamento hidroceanográfico do canal de acesso à Base de Submarinos da Ilha da Madeira, em Itaguaí-RJ, em apoio ao Setor Operativo, utilizando sondagem regular multifeixe e imageamento com sidescan do canal principal, contribuindo para o Plano de Medidas Preventivas que permitiu a visita ao Brasil do submarino nuclear norte-americano “USS VERMONT” (SSN 792).
- Em 7 de dezembro de 2020, o NHo “Cruzeiro do Sul” suspendeu do Rio de Janeiro para manutenção/recolhimento de boia meteoceanográfica ITAGUAÍ, integrante do Programa Nacional de Boias (PNBOIA), localizada nas proximidades da Ilha Grande. Foram realizadas observações batitermográficas, de modo que fosse conduzida calibração do sistema (*Patch Test*), ambos em proveito do adestramento dos Oficiais Hidrógrafos.
- Em 09 de dezembro de 2020, ocorreu o lançamento de 02 boias (01 BMO-BR e 01 AXYS) na baía de Santos, no âmbito do projeto REMO-OBS firmado com a PETROBRAS. Os dados coletados por essas boias serão utilizados no Serviço Meteorológico Marinho.





## IX – ARTIGO ESPECIAL

# A SOCIEDADE BRASILEIRA DE HIDROGRAFIA (SBHidro)

CMG (RM1) Edson Carlos Furtado Magno  
Diretor-Adjunto da SBHidro

### 1. INTRODUÇÃO

A Organização Hidrográfica Internacional (OHI) define a hidrografia como:

*“o ramo das ciências aplicadas, que trata da medição e descrição das características dos mares e áreas costeiras, tendo como objetivo principal a navegação e todas as outras finalidades e atividades marítimas, incluindo, entre outras, atividades costeiras e oceânicas, de investigação, proteção do ambiente e serviços de previsão”.*

Era de se esperar que houvesse no Brasil um grande interesse pela hidrografia, por várias razões, dentre as quais ressaltam-se: nosso país possui um dos mais extensos litorais do mundo; a maior parcela de sua população vive a não mais de 200 Km do litoral; mais de 90% de seu comércio exterior utiliza o transporte aquaviário como principal modal; e está no mar a maior fonte do petróleo brasileiro.

No entanto, vemos exatamente o contrário. Poucos são os brasileiros que têm interesse pela hidrografia, cujo domínio representa um importante ativo estratégico, tanto do ponto de vista econômico quanto militar.

A Sociedade Brasileira de Hidrografia (SBHidro) foi criada justamente para despertar esse interesse na sociedade brasileira, sendo um fórum para todos os envolvidos em atividades relacionadas à hidrografia e disciplinas correlatas, tais como: oceanografia, meteorologia, geologia marinha, entre outras.

Agradecemos a oportunidade oferecida pelo Diretor de Hidrografia e Navegação, Vice-Almirante Edgar Luiz Siqueira Barbosa, de divulgar a SBHidro neste importante e tradicional periódico anual da DHN, que é lançado na data em que se comemora o Dia do Hidrógrafo.

### 2. A HIDROGRAFIA NO BRASIL

A hidrografia no Brasil iniciou-se com o descobrimento do País. Na carta de Pero Vaz de Caminha, encontramos a primeira referência a uma sondagem em águas brasileiras:



*“Neste mesmo dia, a hora de véspera, havemos vista de terra!...  
Mandou lançar o prumo. Acharam vinte e cinco braças. E ao Sol posto, a  
umas seis léguas de terra, lançamos âncora em dezenove braças”.*

Essa fase portuguesa da “hidrografia brasileira” perdurou de 1500 a 1822. As atividades hidrográficas realizadas pelos portugueses foi intensa, afinal a cartografia náutica era essencial para a exploração e defesa eficazes do novo território.

Após tornar-se independente de Portugal, e sem o apoio da coroa portuguesa para as atividades de hidrografia e de cartografia náutica, o Brasil sofreu marcante influência francesa nessa área. Missões francesas foram contratadas com o propósito de dar continuidade às campanhas hidrográficas para o conhecimento e mapeamento das águas brasileiras. São personagens desse período Ibin Reine de Roussin, Louis Marius Barral e os ilustríssimos Tardy de Montravel e Amedée E. B. Mouchez.

A fase francesa manteve influência até 1857, quando se inicia a fase eminentemente brasileira das atividades hidrográficas. Nesse período, destacam-se os trabalhos realizados pelo Capitão-Tenente Joaquim Raimundo de Lamare e pelo Primeiro-Tenente Antonio Luiz von Hoonholtz, o Barão de Tefé. Destacam-se, também, os trabalhos do Capitão de Fragata Manoel Antônio Vital de Oliveira, que, a bordo do late “Paraibano”, entre 1863 e 1864, realizou diversos levantamentos por quase toda a costa brasileira, desde o Rio Grande do Sul até a região Nordeste do País. Em 1867, durante a Guerra do Paraguai, no comando do Couraçado, participa do bombardeio de Curupaiti e Lagoa Pires. Em decorrência de ferimentos do combate veio a falecer.

Em virtude da importância de suas contribuições para a Marinha e para a hidrografia, o Comandante Manoel Antônio Vital de Oliveira foi designado Patrono da Hidrografia e, também em sua homenagem, em 28 de setembro, data do seu nascimento, é comemorado o Dia do Hidrógrafo.

Em 1876, é criada a Repartição Hidrográfica, primeira designação da Diretoria de Hidrografia e Navegação. Em 1931 é criada pela Marinha a especialidade de Hidrografia para oficiais e, em 1935, é publicado o Plano Cartográfico Náutico Brasileiro, concluído em 1975.

Em 1958, são incorporados os Navios Hidrográficos “Sirius” e “Canopus”, planejados e construídos para atividades hidrográficas, sendo as primeiras plataformas a operarem helicópteros na Marinha do Brasil.

Ao longo da fase brasileira, foram e continuam sendo incorporados novos equipamentos e novas técnicas, porém a perseverança dos hidrógrafos permanece a mesma. Os desafios são enfrentados sem temor, honrando continuamente o lema “RESTARÁ SEMPRE MUITO O QUE FAZER...”.

### **3. PROFISSIONAIS DA HIDROGRAFIA**

Os padrões de competência para hidrógrafos são definidos pela *International Hydrographic Organization (IHO)*, *International Federation of Surveyors (FIG)* e *Internacional Cartographic Association (ICA)*.

Globalmente, os profissionais de hidrografia e de cartografia náutica enfrentam desafios sobre a melhor forma de garantir a manutenção dos elevados padrões técnicos e a melhor forma de garantir a continuidade das melhores práticas com base em padrões mínimos de competência no mundo. Com o fito de atingir esses objetivos, as três organizações



hidrográficas internacionais supracitadas (FIG, IHO e ICA) desenvolveram padrões de competência que instituições ou profissionais devem adotar para seus programas de ensino, instrução e adestramento. Esses padrões orientam as competências mínimas requeridas para o profissional hidrógrafo e definem dois níveis de competência: Categoria “A” e Categoria “B”.

O profissional com a formação de Categoria “A” deve ser capaz de exercer atividades no nível gerencial, desenvolvendo especificações para levantamentos hidrográficos e para cartas náuticas, e estabelecendo sistemas de controle e de garantia da qualidade. O profissional com a formação de Categoria “B” deve ser capaz de exercer atividades no nível operacional, conduzindo levantamentos hidrográficos e produzindo cartas náuticas, por meio da compilação de dados existentes em bancos de dados hidrográficos e cartográficos.

No Brasil, não existe a profissão de hidrógrafo ou formação específica nessa área em escolas ou universidades. O Centro de Instrução Almirante Radler de Aquino (CIAARA), da Marinha do Brasil, é a Organização Militar de ensino responsável pela formação de hidrógrafos nas Categoria “A” e “B”, para a própria MB.

Outros profissionais exercem suas atividades relacionadas à hidrografia no Brasil, sem possuírem formação específica na área de hidrografia, tais como: oceanógrafos, engenheiros civis, engenheiros cartógrafos, entre outros.

É essencial que os profissionais que exerçam atividades hidrográficas no Brasil possuam formação no nível das Categorias “A” e “B”, e que, futuramente, a profissão de hidrógrafo seja reconhecida.

#### 4. FEDERAÇÃO INTERNACIONAL DAS SOCIEDADES HIDROGRÁFICAS (IFHS<sup>1</sup>)

A Federação Internacional das Sociedades Hidrográficas é uma parceria única de sociedades hidrográficas nacionais e regionais que, por meio de sua adesão mundial, é capaz de abordar todas as especialidades dentro da hidrografia e disciplinas relacionadas, em todos os níveis de experiência e expertise. Tem uma influência internacional considerável e é respeitada por profissionais e organizações hidrográficas em nível governamental e intergovernamental.

A Federação é reconhecida em todo o mundo por promover o desenvolvimento da hidrografia e da aprendizagem hidrográfica, proporcionando oportunidades incomparáveis para a troca de ideias e práticas. Tem, assim, o propósito de facilitar a promoção internacional da hidrografia, o agendamento de conferências hidrográficas internacionais e a promoção do crescimento de novas sociedades internacionais.

As seguintes sociedades hidrográficas nacionais são membros da IFHS: *Australian Hydrographic Society, Hydrographic Society Benelux, Hydrographic Society Denmark, Francophone Association for Hydrography, German Hydrographic Society, Italian Hydrographic Society, Hydrographic Society of South Africa e The Hydrographic Society UK.*

---

Sigla da denominação dessa instituição em inglês – *International Federation of Hydrographic Societies (IFHS).*



## 5. A SOCIEDADE BRASILEIRA DE HIDROGRAFIA – SBHidro



A ideia da criação de uma sociedade brasileira de hidrografia é antiga. A participação em eventos da Federação Internacional das Sociedades Hidrográficas (IFHS) por oficiais hidrógrafos brasileiros só intensificava o desejo de criarmos uma sociedade brasileira dedicada a essa área de estudos.

Em 21 de novembro de 2018, reuniram-se os dezesseis membros fundadores para criação da Sociedade Brasileira de Hidrografia (SBHidro). Logo após o estabelecimento do estatuto, foi eleita a primeira Diretoria Executiva, e o primeiro Diretor-Presidente foi o Almirante de Esquadra Luiz Fernando Palmer Fonseca, hidrógrafo e ex-Diretor de Hidrografia e Navegação.

A Sociedade Brasileira de Hidrografia é uma entidade civil, com personalidade jurídica de direito privado, sem fins lucrativos, de caráter técnico, científico e cultural, que tem como finalidade fomentar o conhecimento, o emprego e o desenvolvimento da Hidrografia e das ciências correlatas, como elemento fundamental das atividades marítimas, fluviais e lacustres do país.

Para a consecução de seus objetivos, a SBHidro planeja conectar governo, o setor privado e a academia, a fim de promover o avanço da qualidade dos levantamentos hidrográficos e ciências afins, com impactos na melhoria da segurança e eficiência da navegação no País.

Nesse sentido, o lançamento e apresentação da SBHidro ocorreu em 9 de outubro de 2019, concomitantemente com a realização do I Seminário Brasileiro de Hidrografia Portuária (Hidroportos), realizado na Escola de Guerra Naval (EGN), em parceria com o Conselho Nacional de Praticagem (CONAPRA).

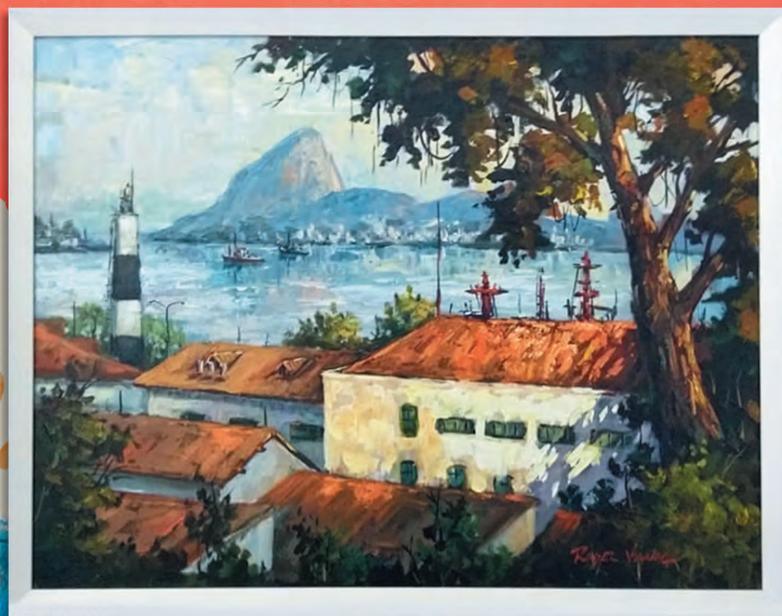
Tendo em vista a referida relevância e atuação dessa entidade, e no intuito de torná-la mais conhecida, o atual Diretor-Presidente da SBHidro, Vice-Almirante Paulo Cesar Dias de Lima, hidrógrafo e ex-Diretor de Hidrografia e Navegação, convida a todos hidrógrafos, hidrógrafos honorários e aqueles que têm interesse em hidrografia a conhecerem a Sociedade Brasileira de Hidrografia e a visitarem o nosso sítio na internet no endereço eletrônico <https://sbhidro.org.br/> ou simplesmente direcionando seu celular para o QR Code.



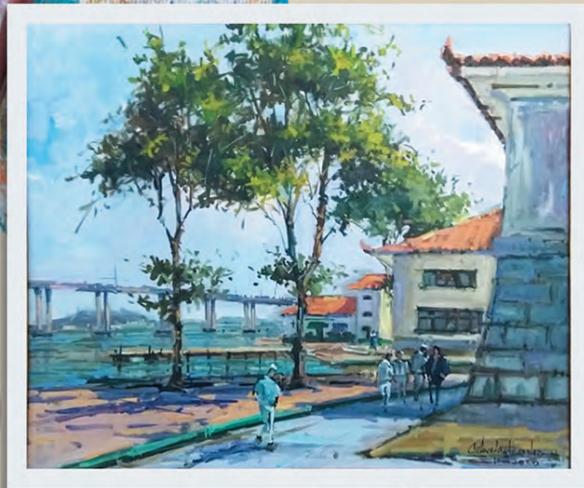
X – MISCELÂNEA

# 17<sup>ª</sup> GINCANA DE PINTURA

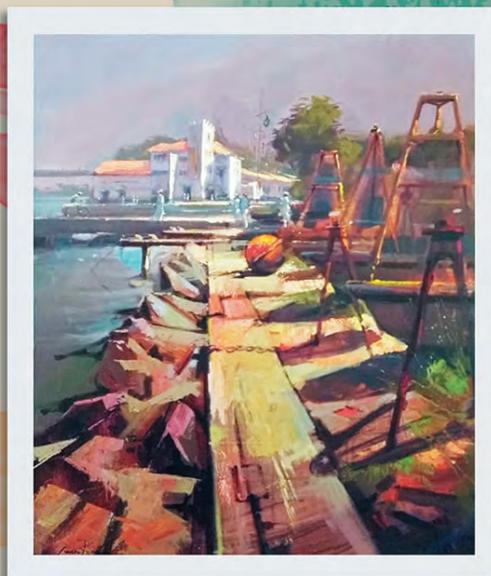
DHN  
2020



1º LUGAR  
SR. ROGERIO VIANA DA SILVA



2º LUGAR  
SRA. MARIA CÂNDIDA BERNARDO FERREIRA



3º LUGAR  
SR. JOSÉ AUGUSTO DE SOUSA RODRIGUES



O resultado da 17ª Gincana de Pintura da DHN está também disponível no link: <https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=pt-br/anais-hidrograficos>  
Ou através do QR Code:



Projeto Gráfico, Editoração Eletrônica,  
Imposicionamento CTP, Impresão e Acabamento:

Departamento Industrial Gráfico da  
Base de Hidrografia da Marinha em Niterói.  
Impresso em 2021.