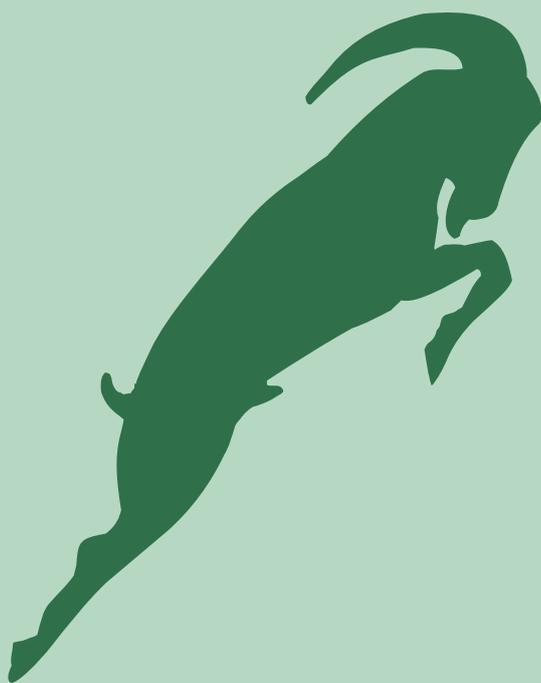




ANAIS HIDROGRÁFICOS

TOMO LXXX



2023

ISSN 0373-9260



MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO

ANAIIS HIDROGRÁFICOS

REVISTA ANUAL DA DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO

TOMO LXXX

BRASIL

Anais Hidrográficos	Rio de Janeiro	T. 80	p. 1-262	2023
---------------------	----------------	-------	----------	------

ANAIS HIDROGRÁFICOS – Publicação anual da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil, cujo propósito é manter os hidrógrafos e a comunidade científica marítima informados sobre as atividades desenvolvidas pela DHN, bem como divulgar, por meio de artigos técnico-científicos, os diversos assuntos conduzidos no âmbito desta Diretoria.

EDIÇÃO: Superintendência de Capacitação de Pessoal e Gestão do Conhecimento.
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, conlaves ou palestras relativas à Hidrografia, Navegação, Sinalização Náutica, Oceanografia, Geologia e Geofísica Marinha e Meteorologia Marinha. As colaborações devem ser entregues em meio digital no editor de texto MS Word for Windows e as imagens enviadas em arquivo separado com resolução de no mínimo 300dpi, acompanhadas dos originais, à Superintendência de Capacitação de Pessoal e Gestão do Conhecimento 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 deve-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
Email: dhn.secom@marinha.mil.br

© Diretoria de Hidrografia e Navegação – Marinha do Brasil. 2024.

A532 Anais Hidrográficos / Diretoria de Hidrografia e Navegação -
Rio de Janeiro: A Diretoria, 2023
t.80, p.1-262: il., graf.

Anual

ISSN 0373-9260

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

CDD 551.46005

APRESENTAÇÃO

É com oceânica alegria que apresento o Tomo LXXX dos Anais Hidrográficos, edição que marca os 90 anos, completados em 2023, desta relevante coletânea de realizações da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e Organizações Militares subordinadas nos campos da Hidrografia, Navegação, Cartografia Náutica, Meteorologia Marinha, Oceanografia, Geologia e Geofísica Marinhas e Auxílios à Navegação. Desde 1933, o periódico mantém-se devoto e apurado ao que propôs na Apresentação do primeiro volume o então Diretor de Navegação da Marinha, Vice-Almirante Heráclito da Graça Aranha, reafirmando anualmente “a justa e ardente preocupação que todos temos pelo desenvolvimento prático de tão importante e inadiável serviço”.

Alinhado a tal compromisso, este número é aberto com dois relatos inspiradores. Primeiramente, narra-se a trajetória do Sr. Richard G. Hendrickson, que dedicou a vida à coleta de dados meteorológicos e cuja iniciativa evidencia a importância da observação da atmosfera para os serviços nacionais de previsão do tempo. Na sequência, detalha-se o bem-sucedido projeto da Marinha do Brasil da lancha balizadora de 20 metros, classe LB-20, que, após quase 30 anos, segue eficaz no desempenho das diversas atividades relacionadas ao estabelecimento e à manutenção dos auxílios à navegação sob responsabilidade de nossa instituição.

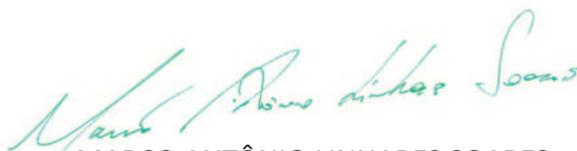
As seções seguintes abordam a produção cartográfica e de outras publicações náuticas desenvolvidas pelo Centro de Hidrografia da Marinha e impressas pela Base de Hidrografia da Marinha em Niterói; o programa de conclaves e intercâmbios, cursos e estágios em instituições extramarinha e cursos regulares dos quais participam nossos militares e servidores civis; as comissões realizadas pelos navios do Grupamento de Navios Hidroceanográficos e dos Centros de Hidrografia e Navegação e pelos Serviços de Sinalização Náutica; e reúnem artigos científicos frutos de recentes contribuições acadêmicas nas diferentes áreas afetas à DHN. Por fim, destacam-se as nossas efemérides de 2023, com menção honrosa à 20ª Conferência da *International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities* (IALA), sediada no Brasil.

Navegando pelas páginas destes Anais Hidrográficos, convido-os a embarcarem nesta fascinante leitura de nossos autores, cujo trabalho árduo e dedicado contribui essencialmente para a segurança da navegação. Recorro, assim, uma vez mais ao célebre Almirante Graça Aranha, na esperança de avivar em todos nós a paixão pelas lides hidrográficas e de nos inspirar a explorar, descobrir e inovar:

“A beleza dos nossos mares, a majestade dos nossos rios, a fascinante vida marítima certamente provocam [...] vontade decisiva para ir ‘fazer hidrografia’, assim afirmando aos que rumam ao Brasil, que tudo está ‘hidrograficamente trabalhado’ pela nossa Marinha, que orgulho terá em cumprir tão bela missão [...].”

Boa leitura!

Niterói, RJ, 28 de setembro de 2024.



MARCO ANTÔNIO LINHARES SOARES

Vice-Almirante

Diretor de Hidrografia e Navegação

SUMÁRIO

06	PRINCIPAIS CARGOS E FUNÇÕES AO FINAL DO ANO DE 2023
11	RICHARD G. HENDRICKSON: UMA VIDA DEDICADA À OBSERVAÇÃO DO TEMPO
17	LB-20, UM PROJETO DE SUCESSO NO MAR
23	I – PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA
24	II – PROGRAMA DE CONCLAVES E INTERCÂMBIOS
26	III – CURSOS E ESTÁGIOS EM INSTITUIÇÕES EXTRAMARINHA
28	IV – CURSOS REGULARES Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais (CAHO) Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia e Navegação (C-Ap-HN) Curso de Aperfeiçoamento de Faloreiro (C-Ap-FR)
33	V – COMISSÕES
93	VI – ARTIGOS CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA ELEVAÇÃO DO RIO GRANDE NO CONTEXTO DO SUBCOMITÊ DE NOMENCLATURA DE FEIÇÕES DO RELEVO SUBMARINO – SCUFN Primeiro-Tenente (T) Lorena da Fonseca Sampaio Primeiro-Tenente (T) Rafael Toscani Gomes da Silveira
101	DESCOMISSONAMENTO DE ESTRUTURAS OFFSHORE NA BAÍA DE GUANABARA, NO RIO DE JANEIRO-RJ Capitão-Tenente (T) Mariana de Castro Michimoto Doutor Newton Narciso Pereira
110	LOCALIZAÇÃO DE FONTES SONORAS SUBMARINAS UTILIZANDO TIME-REVERSAL MIRROR E O MODELO DE RAIOS Capitão-Tenente Richard Barbosa Nobre Capitão de Fragata (EN) Renato Peres Vio
127	MAPEAMENTO DE MARCAS ONDULADAS COMO AUXÍLIO À INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE HIDROGRAFIA E SEGURANÇA DA NAVEGAÇÃO Capitão-Tenente (T) Fernanda Monteiro Passamani
140	PREVISÃO DE NEVOEIRO UTILIZANDO UM MODELO ATMOSFÉRICO DE ALTA RESOLUÇÃO COMO UM SISTEMA OPERACIONAL DE APOIO À DECISÃO Segundo-Tenente (AA) Maria Eduarda Palheiros Vanzan Capitão de Corveta (T) Flávia Rodrigues Pinheiro Capitão de Corveta (T) Alexandre Augusto Lopes Gadelha

156

PROPOSTA DE MODELAGEM MATEMÁTICA PARA INTERSEÇÃO DE ARCOS GEODÉSICOS EM PROVEITO DA REALIDADE S-100

Capitão de Fragata (EN) Ricardo Ramos Freire
Capitão de Fragata (EN) Gilberto de Jesus de Oliveira
Capitão de Corveta (EN) Alex Bolhosa Ferreira
Capitão de Corveta (EN) Amílcar Manguiera Aguiar Junior

165

PROPOSTA DE NOVO LAYOUT DAS INLAND ELECTRONIC NAVIGATIONAL CHART (IENC) BRASILEIRAS

Capitão de Fragata Vitor Bravo Pimentel
Capitão de Corveta (EN) Christopher Florentino
Capitão de Corveta (EN) Rafael Vieira de Moraes
Capitão-Tenente (EN) José Celso Correa Gonçalves Junior

179

RESPOSTA DA VARIABILIDADE DO MODELO DE RAIOS A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS E OCEANOGRÁFICOS: UM ESTUDO DE CASO COM DADOS ACÚSTICOS IN SITU NA REGIÃO DE CABO FRIO

Capitão-Tenente (EN) Marco André Desbrousses Cotta
Capitão de Fragata (T) Marcia Helena Moreira Valente

192

UM MERGULHO NO PASSADO: DADOS DE COLUNA DE ÁGUA REVELAM O CT PARAÍBA

Capitão de Corveta Leonardo Gomes de Araujo

207

USO DO MÉTODO DAS IMAGENS MODIFICADO PARA LOCALIZAÇÃO DA FONTE POR MÉTODOS PASSIVOS EM ÁGUAS ULTRARRASAS USANDO UM ÚNICO HIDROFONE

Capitão de Corveta Wendel Quintana Freitas de Lima
Capitão de Fragata (T) Rogério de Moraes Calazan

219

VALIDAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DE CICLONES TROPICAIS E SUBTROPICAIS NA METAREA V, UTILIZANDO ESTIMATIVAS DE SATÉLITES

Primeiro-Tenente (T) Fellipe Romão Sousa Correia
Primeiro-Tenente Max Rodrigues Baptista

238

CARTA NÁUTICA ELETRÔNICA: O AVANÇO DA ESPECIFICAÇÃO S-57 A S-101.

Capitão de Corveta (EN) Christopher Florentino
Capitão de Corveta (EN) Ana Maria Brandão Mileze
Capitão-Tenente (EN) Juliane Jussara Affonso
Capitão de Corveta (EN) Rafael Vieira de Moraes
Capitão de Mar e Guerra Edson Carlos Furtado Magno

253

VII – EFEMÉRIDES HIDROGRÁFICAS

Grupamento de Navios Hidroceanográficos
Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino
Centro de Hidrografia da Marinha
Serviço de Sinalização Náutica do Leste
Centro de Hidrografia e Navegação do Oeste

258

20ª CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DA IALA

ANAIIS HIDROGRÁFICOS

Publicação anual, produzida e editada 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

Vice-Almirante Marco Antônio Linhares Soares

Presidente do Conselho Técnico

Capitão de Mar e Guerra Dieferson Ramos Pinheiro

Coordenador

Capitão de Mar e Guerra Wagner Luiz Honorato Pereira

Editores

Capitão de Fragata (T) Gisele dos Santos Alves
Capitão de Corveta (T) Carla Luzia de Oliveira Silvano
Capitão-Tenente (RM2-T) Raiane Nogueira Gama
Segundo-Sargento (HN) Jeferson Brião Oliveira
Terceiro-Sargento (FR) Nonato Júnior Monteiro da Silva

Revisão

Revisores Técnicos

Capitão de Mar e Guerra Heraldo Soares Caldeira
Capitão de Fragata Anderson Barbosa da Cruz Peçanha
Capitão de Fragata Bruno Neves Baptista
Capitão de Corveta (T) Rodrigo de Souza Barreto Mathias
Capitão de Corveta (EN) Eduardo Esteves Vale
Capitão de Corveta Marcus Vinicius Mendes
Capitão-Tenente Flávio Alves da Cunha Silva
Capitão-Tenente (T) André Luiz Araujo Damiano
Primeiro-Tenente (T) Kaio Calmon Lacerda
Primeiro-Tenente (EN) Mariane dos Santos Pessanha
Professor Doutor Geraldo Nogueira
Professor Doutor Alexandre Luiz Coelho
Professora Doutora Fabíola Valéria Barreto Teixeira
Professor Mestre Gregório Luiz Galvão Teixeira

Revisora ortográfica:

Primeiro-Tenente (RM2-T) Gabriela Amaral de Rezende

Projeto Gráfico e Edição

Servidor Civil Marcos Mendonça de Moraes
Segundo-Sargento (GR) Amanda Silva Galvão
Cabo (GR) Valter Luiz da Silva Santos
Cabo (GR) Thamiere Francisca Avelino dos Santos
Cabo (GR) Lais Almeida da Silva
Cabo (GR) Mateus Sousa da Silva

Capa

Departamento Industrial Gráfico da BHMN
Servidor Civil Marcos Mendonça de Moraes



Visite os Anais Hidrográficos em:
<https://www.marinha.mil.br/dhn/>

PRINCIPAIS CARGOS E FUNÇÕES AO FINAL DO ANO DE 2023

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO

Diretor

Vice-Almirante
Carlos André Coronha Macedo

Vice-Diretor

Capitão de Mar e Guerra
Paschoal Mauro Braga Mello Filho



CENTRO DE AUXÍLIOS À NAVEGAÇÃO ALMIRANTE MORAES REGO

Diretor

Capitão de Mar e Guerra
Fabio Santana Sobrinho

Vice-Diretor

Capitão de Fragata
Ramon Grosso de Almeida



BASE DE HIDROGRAFIA DA MARINHA EM NITERÓI

Comandante

Capitão de Mar e Guerra
Fernando José Moraes Monteiro

Imediato Interina

Capitão de Corveta (RM3-T)
Gabriela Nery Mendes



CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA

Diretor

Capitão de Mar e Guerra
Paulo Roberto Costa Junior

Vice-Diretora

Capitão de Fragata (T)
Márcia Cristina Silva Esteves



CENTRO DE INSTRUÇÃO E ADESTRAMENTO ALMIRANTE RADLER DE AQUINO

Comandante

Capitão de Mar e Guerra
Dante José de Andrade Alexandre

Imediato

Capitão de Fragata
Rodrigo Felipe Marques do Nascimento



GRUPAMENTOS DE NAVIOS HIDROCEANOGRÁFICOS

Comandante

Capitão de Mar e Guerra
Leonardo Pacheco Vianna

Imediato

Capitão de Mar e Guerra
Rafael Teixeira Cerqueira



NAVIOS SUBORDINADOS AO GNHo

NAVIO POLAR "ALMIRANTE MAXIMIANO"

Comandante

Capitão de Mar e Guerra
Dieferson Ramos Pinheiro

Imediato

Capitão de Fragata
Wallace Fernandes de Lima



NAVIO DE APOIO OCEANOGRÁFICO "ARY RONGEL"

Comandante

Capitão de Mar e Guerra
Marco Aurelio Barros de Almeida

Imediato

Capitão de Fragata
Márcio Morais de Lima



NAVIO OCEANOGRÁFICO “ANTARES”

Comandante

Capitão de Fragata
Eduardo Pereira de Rezende



Imediato

Capitão de Corveta
Bernardo da Silva Oliveira Santos

**NAVIO DE PESQUISA HIDROCEANOGRÁFICO
“VITAL DE OLIVEIRA”**

Comandante

Capitão de Fragata
Leandro dos Santos Novaes



Imediato

Capitão de Fragata
Edno Vieira da Rosa Neto

NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO “CRUZEIRO DO SUL”

Comandante

Capitão de Mar e Guerra
Claudio Luiz Pereira Batista



Imediato

Capitão de Fragata
Anselmo Vinicius de Souza

**NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO FAROLEIRO
“ALMIRANTE GRAÇA ARANHA”**

Comandante

Capitão de Fragata
Renato da Fonseca Lacerda Batista



Imediato

Capitão de Corveta
Rafael Barbosa de Oliveira Torres

**NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO
“AMORIM DO VALLE”**

Comandante

Capitão de Corveta
Rei Santos Araujo



Imediato

Capitão-Tenente
Arytan Adão da Silva

NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO “TAURUS”

Comandante

Capitão de Corveta
Marcos da Rosa Machado Bezerra



Imediato

Capitão de Corveta
Rafael da Silva Fernandes de Oliveira

AVISO DE PESQUISA “ASPIRANTE MOURA”

Comandante

Capitão-Tenente
Leon Cader Drumond Silveira



Imediato

Capitão-Tenente
Tiago Wanderley da Cunha Santos

CENTROS DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO E NAVIOS SUBORDINADOS

**CENTRO DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO
DO NORTE**

Diretor

Capitão de Fragata
Fernando José Matias Nunes



Vice-Diretor

Capitão de Corveta
Leonardo Nogueira de Moraes

NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO “GARNIER SAMPAIO”

Comandante

Capitão de Corveta
Thierry Pires da Silva



Imediato

Capitão-Tenente
Felipe Augusto de Oliveira

**AVISO HIDROCEANOGRÁFICO FLUVIAL
"RIO TOCANTINS"**

Comandante
Capitão-Tenente
Ramon Costa Monteiro



Imediato
Capitão-Tenente
Thiago Oliveira Seabra dos Santos

**NAVIO HIDROGRÁFICO BALIZADOR
"TENENTE CASTELO"**

Comandante
Capitão-Tenente
Kassio Barbosa Mendes de Oliveira



Imediato
Capitão-Tenente
Ramon Renaldo da Silva Linhares

**AVISO HIDROCEANOGRÁFICO FLUVIAL
"RIO XINGU"**

Comandante
Capitão-Tenente
Victor Teles Pimenta



Imediato
Capitão-Tenente
Alessandro Lamonica Castro

**CENTRO DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO
DO NOROESTE**

Diretor
Capitão de Fragata
Jorge Luiz Nascimento de Paula



Vice-Diretor
Capitão de Corveta
Vitor Hugo de Souza

**AVISO HIDROCEANOGRÁFICO FLUVIAL
"RIO NEGRO"**

Comandante
Capitão-Tenente
Ricardo Frutuoso dos Santos



Imediato
Capitão-Tenente
Pedro Guilherme de Barros Hansen

**NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO FLUVIAL
"RIO BRANCO"**

Comandante
Capitão de Corveta
Gustavo Mandarinó Borges de Lima



Imediato
Capitão-Tenente
Herbert Venicius Melo Gomes

**AVISO HIDROCEANOGRÁFICO FLUVIAL
"RIO SOLIMÕES"**

Comandante
Capitão-Tenente
Washington Luiz Woelbert Pinto



Imediato
Capitão-Tenente
Gabriel Barbosa Amaral

**CENTRO DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO
DO OESTE**

Diretor
Capitão de Fragata
Felipe Tangari



Vice-Diretor
Capitão de Corveta
Levi Bittencourt Bastos Junior

**AVISO HIDROCEANOGRÁFICO FLUVIAL
"CARAVELAS"**

Comandante
Capitão-Tenente
Marcello Abraão de Souza Pereira



Imediato
Capitão-Tenente
Luan da Paixão Ribeiro Casimiro

SERVIÇOS DE SINALIZAÇÃO Náutica e Navios Subordinados

SERVIÇO DE SINALIZAÇÃO Náutica DO NORDESTE

Encarregado

Capitão de Corveta
Almir Pimentel Machado Neto

**Ajudante**

Capitão de Corveta
Phelipe da Silva Ferreira Garcia

NAVIO HIDROGRÁFICO BALIZADOR "COMANDANTE MANHÃES"

Comandante

Capitão-Tenente
Thiago Pimentel da Silva

**Imediato**

Capitão-Tenente
Eduardo Cesar Trotta de Moraes

SERVIÇO DE SINALIZAÇÃO Náutica DO LESTE

Encarregado

Capitão de Fragata
Ricardo Magalhães Valois

**Ajudante**

Capitão de Corveta
Julio Vitório dos Santos Ferreira

NAVIO HIDROGRÁFICO BALIZADOR "TENENTE BOANERGES"

Comandante

Capitão-Tenente
Felipe Balod Moniz Sodré

**Imediato**

Capitão-Tenente
Filipe de Lima Teixeira

SERVIÇO DE SINALIZAÇÃO Náutica DO SUL-SUDESTE

Encarregado

Capitão de Corveta
Pablo Araujo Barbosa

**Ajudante**

Capitão-Tenente
Kaique dos Santos Ferreira

NAVIO BALIZADOR "FAROLEIRO MARIO SEIXAS"

Comandante

Capitão-Tenente
Harrisson Nogueira Campos Junior

**Imediato**

Capitão-Tenente
Patrick Venancio

SERVIÇO DE SINALIZAÇÃO Náutica DO SUL

Encarregado

Capitão de Corveta
Felipe Augusto Affonso dos Anjos

**Ajudante**

Capitão-Tenente
João do Amaral Araujo

NAVIO HIDROGRÁFICO BALIZADOR "COMANDANTE VARELLA"

Comandante

Capitão-Tenente
Julio Cesar de Castro Rocha

**Imediato**

Capitão-Tenente
Robson José da Silva Martins

APOIO:



RICHARD G. HENDRICKSON: UMA VIDA DEDICADA À OBSERVAÇÃO DO TEMPO

Capitão de Corveta Marcus Vinicius Mendes



Richard G. Hendrickson fazendo observações meteoceanográficas durante tempestade em 1930. Fonte: <https://www.nytimes.com/2016/01/18/nyregion/richard-g-hendrickson-who-recorded-the-weather-for-85-years-dies-at-103.html>. Acesso em 18 de junho de 2024

A história de Richard G. Hendrickson, conforme relatada no artigo de 2016 do New York Times, ilustra uma contribuição significativa para a meteorologia por meio do trabalho contínuo e dedicado de um único indivíduo. O Senhor Hendrickson, um agricultor aposentado de Bridgehampton, Nova York, dedicou mais de 85 anos de sua vida à coleta de dados meteorológicos. Nascido em 2 de setembro

de 1912, faleceu em 9 de janeiro de 2016, aos 103 anos.

Hendrickson começou sua jornada na observação de dados meteorológicos aos 17 anos, quando foi convidado para ajudar o Serviço Meteorológico dos Estados Unidos na instalação de instrumentos meteorológicos no sítio de sua família. Ele registrava temperaturas, intensidade e direção do vento, precipitação, neve e outros dados



meteorológicos, duas vezes ao dia, contribuindo com informações valiosas para o Programa de Observação do Serviço Nacional de Meteorologia dos Estados Unidos.

A coleta sistemática de dados realizada por Hendrickson apoiou relatórios meteorológicos locais e nacionais, previsões para navegantes, alertas de enchentes, furacões e planos de preparação para emergências. Esses esforços ajudaram a documentar a história meteorológica de Bridgehampton. A dedicação de Hendrickson foi reconhecida em 2014, quando a National Oceanic and Atmospheric Administration instituiu o Prêmio Richard G. Hendrickson, que homenageia observadores meteorológicos voluntários. Hendrickson foi o primeiro ganhador desse prêmio.

As observações eram feitas de forma ininterrupta durante secas, enchentes ou nevoeiros. No ano de 1930, ocorreu um furacão devastador na cidade de Bridgehampton, no qual centenas de pessoas morreram, entretanto, o Sr. Hendrickson manteve a coleta de dados durante o fenômeno. Em outra ocasião, no ano de 2012, na passagem do furacão Sandy, o Sr. Hendrickson manteve a determinação e não interrompeu o seu profícuo trabalho. Nesses eventos severos, o Sr. Hendrickson

diminuiu o intervalo de tempo entre as observações, realizando as coletas a cada uma hora.

A tenacidade de Hendrickson como observador meteorológico voluntário no Programa de Observadores Cooperativos do Serviço Nacional de Meteorologia dos Estados Unidos destaca a importância dos dados coletados por cidadãos comuns nos Estados Unidos na construção de registros meteorológicos detalhados e de longo prazo. Esses dados são fundamentais, não apenas para previsões diárias, mas também para a elaboração de boletins climatológicos que ajudam a entender padrões de diversas variáveis meteorológicas.

A obstinação de Hendrickson ao realizar a coleta de dados por mais de 85 anos fez com que ele fosse uma fonte confiável de informações meteorológicas, sendo procurado por repórteres devido à sua expertise na coleta de dados e conhecimentos sobre diversos padrões meteorológicos locais. Apesar dos avanços tecnológicos, ele preferia utilizar a mesma metodologia que aprendeu ainda jovem, além de relatar suas descobertas por telefone em vez de utilizar sistemas eletrônicos para isso. Seus relatórios manuscritos eram um testemunho de sua paixão e dedicação. Hendrickson também escreveu dois livros sobre suas experiências e os padrões climáticos de sua cidade.



Richard G. Hendrickson. Fonte: <https://www.nytimes.com/2016/01/18/nyregion/richard-g-hendrickson-who-recorded-the-weather-for-85-years-dies-at-103.html>. Acesso em 4 de setembro de 2024



A importância da observação de dados meteorológicos para os serviços nacionais de previsão do tempo.

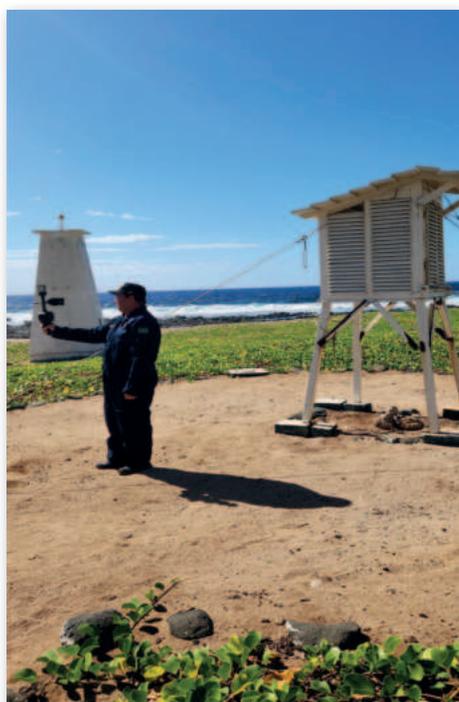
A história de Richard G. Hendrickson leva-nos a refletir sobre a importância da observação de dados meteorológicos para os serviços nacionais de previsão do tempo. A observação do tempo fornece dados, que são utilizados pelos meteorologistas para realizar um diagnóstico da atmosfera, embasando, em conjunto com os modelos de previsão numérica, a previsão meteorológica. Esse processo envolve a coleta sistemática de informações sobre a atmosfera, como temperatura, umidade, pressão, intensidade e direção do vento, entre outros parâmetros. Assim sendo, esses dados são utilizados na análise e interpretação das condições meteorológicas atuais e futuras.

Os meteorologistas dependem de uma rede global de estações meteorológicas, satélites, balões meteorológicos e boias oceânicas para obter observações precisas

e contínuas. Essas observações permitem a entrada de dados para modelos de previsão numérica do tempo que modelam o comportamento da atmosfera, sendo uma ferramenta para a análise operacional realizada pelos previsores meteorologistas durante a confecção de boletins meteorológicos de previsão do tempo.

As previsões meteorológicas são essenciais para a navegação, agricultura, aviação, entre outras. Agricultores usam previsões do tempo para planejar colheitas e proteger suas plantações de condições adversas. Pilotos e controladores de tráfego aéreo dependem de previsões precisas para garantir a segurança dos voos, enquanto os homens do mar usam informações meteorológicas para evitar áreas desfavoráveis à navegação.

Os navios atuam como uma estação meteorológica móvel, operando diversas vezes em áreas com escassez de dados e informações, portanto, as observações feitas a bordo são de grande relevância.



Militar realizando observação na Estação Meteorológica da Ilha da Trindade



Militares a bordo do Navio-Aeródromo Multipropósito "Atlântico" fazendo observações meteorológicas

Os avanços tecnológicos têm melhorado significativamente a precisão das observações meteorológicas. Satélites meteorológicos modernos fornecem imagens detalhadas da atmosfera, permitindo o monitoramento de fenômenos, como tempestades e ciclones, com maior precisão. Sensores remotos e radares também contribuem para a coleta de dados em áreas de difícil acesso. No entanto, a atuação de observadores a bordo contribui para o adensamento das informações ambientais e permite aprimorar a previsão meteorológica.

Nesse contexto, cabe destacar o Manual do Observador Meteorológico (3ª edição), publicação elaborada pela Diretoria de Hidro-

grafia e Navegação para a instrução e adiestramento de meteorologia, a fim de disseminar conhecimentos para a formação do pessoal que guarnece os navios da Marinha do Brasil e as estações meteorológicas costeiras para o correto desempenho de suas funções.

A cooperação internacional por intermédio da troca de informações entre países e organizações meteorológicas fortalece a capacidade global de monitorar e prever o tempo. A Organização Meteorológica Mundial tem envidado esforços com o intuito de facilitar a colaboração global, formando grupos de especialistas de diversos países focados na padronização e melhoria de disseminação de dados e informações.



Militares fazendo a leitura de pluviógrafo e medindo a temperatura no Radiofarol de Paranaguá

Existem diversos programas para ampliar a rede de observação meteoceanográfica ao redor do globo. Abaixo seguem alguns exemplos extraídos do endereço <http://www.goosbrasil.org>:

1- Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic (PIRATA): trata-se de uma rede de observação in situ composta por boias fundeadas planejadas para monitorar uma série de variáveis dos processos de interação oceano atmosfera no oceano Atlântico. O projeto PIRATA é um programa de cooperação multinacional entre o Brasil, França e Estados Unidos. Esses três países dividem as tarefas de implementação e manutenção da rede.

2- Programa Nacional de Boias (PNBOIA): possui o objetivo de disponibilizar, em tempo quase real, dados meteorológicos e oceanográficos à comunidade de interessados, obtidos nas áreas oceânicas de interesse do Brasil. A rede de coleta de dados restringe-se a alguns pontos situados em ilhas e a medições esporádicas

realizadas por navios da Marinha do Brasil e navios mercantes voluntários.

3- GLOSS-BRASIL: exerce um papel importante na determinação das variações no nível do mar para auxiliar as ciências ambientais e para melhorar o planejamento social e econômico. Disponibiliza informações de variação de maré e desvio do nível médio, majoritariamente por correntes oceânicas ou eventos atmosféricos em diversas áreas, como operações portuárias, pesca, aquicultura, exploração de recursos minerais, desenvolvimento costeiro e recreação.

Apesar dos avanços, a observação do tempo enfrenta inúmeros desafios, alterações nos padrões meteorológicos dificultam a previsão de eventos severos. Além disso, a manutenção e gastos em infraestrutura, voltados para a manutenção de estações meteorológicas e satélites, requerem investimentos contínuos. Superar esses desafios é crucial para ampliar a precisão e a confiabilidade das previsões meteorológicas.



Dispositivos flutuantes como derivadores e boias coletam dados que contribuem para um melhor entendimento das dinâmicas atmosféricas e oceânicas, colaborando para previsões mais precisas e eficientes. Os derivadores são projetados para se deslocarem com as correntes oceânicas, fornecendo dados sobre a temperatura e salinidade da água em diferentes profundidades. Por outro lado, as boias monitoram condições atmosféricas e oceanográficas em locais específicos, como a pressão atmosférica, a intensidade e direção do vento, e a altura das ondas.

O trabalho desenvolvido pelo Sr. Richard G. Hendrickson como observador meteorológico voluntário aliado ao seu comprometimento deixa um legado não apenas para a meteorologia, mas também para vários setores da sociedade. Os Oficiais Hidrógrafos e Praças aperfeiçoadas em Meteorologia e em Hidrografia e Navegação devem se inspirar e manter ativas as observações meteoceanográficas, aplicando de forma detalhada as metodologias previstas em publicações, assim como foi a vida do Sr. Hendrickson.



Militar com anemômetro portátil fazendo observações meteorológicas no Farol de Chuí

LB-20, UM PROJETO DE SUCESSO NO MAR

Segundo-Tenente (EN) Marvelúcia Silmara Silva Almeida

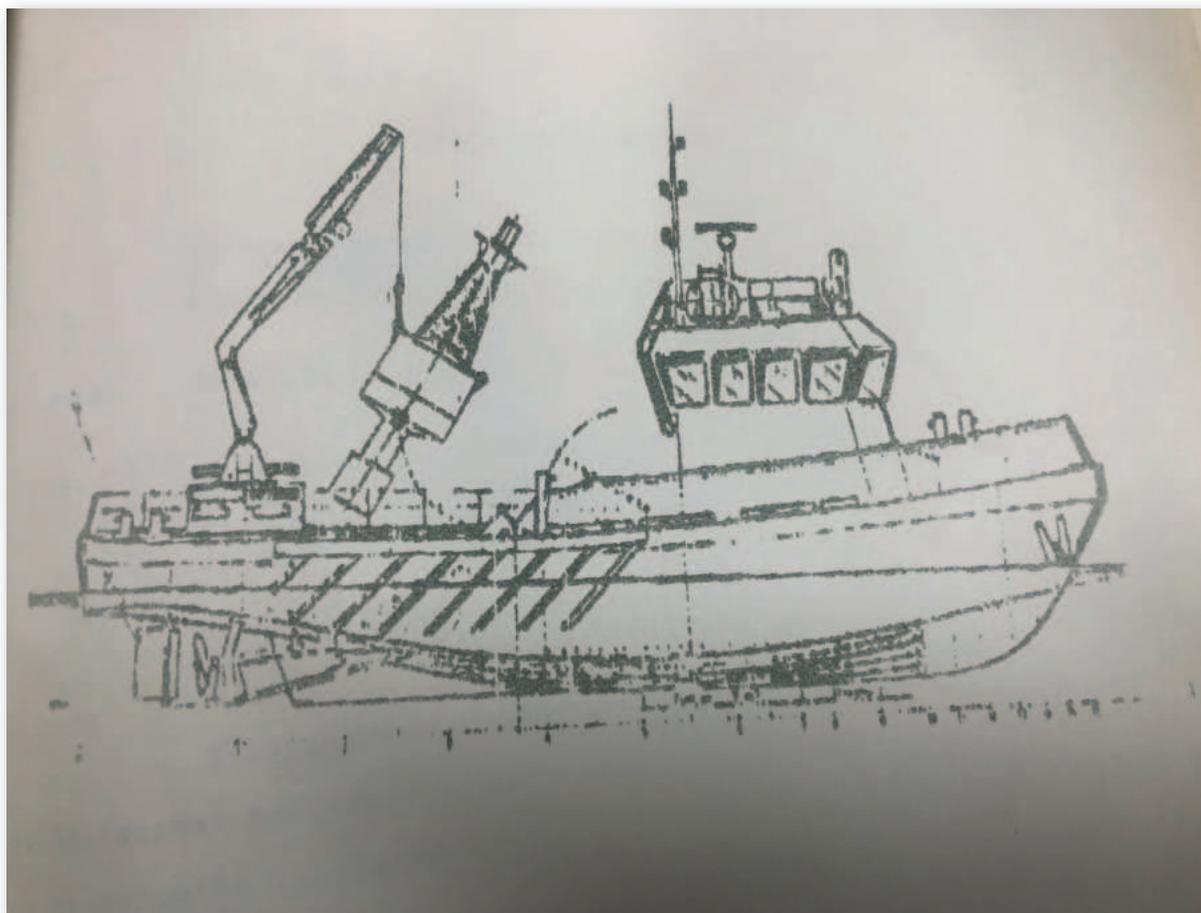
Quando pensamos na Classe LB-20 (lança-balizadora de 20 metros), associamos a uma embarcação versátil, confiável, de boa manobrabilidade e de grande vocação marinheira para atender às diversas tarefas relacionadas ao estabelecimento e manutenção dos Auxílios à Navegação sob responsabilidade de nossa instituição.

Em 28 de dezembro de 1994, a Diretoria de Engenharia Naval (DEN) contratou a Wilson Sons S.A. para realizar a construção de oito Lanchas-Balizadoras (LB) a serem produzidas no estaleiro dessa empresa em Guarujá - SP. Esse contrato resultou de significativa concorrência, da qual houve a participação de diversos estaleiros nacionais.

A proposta do projeto deveria estar alinhada com as especificações da Marinha e representar uma lança-balizadora já existente e testada em serviço de balizamento.

O contexto que antecede a contratação e execução desse projeto é qualificado pela situação em que se encontravam as então atuais lanchas-balizadoras, que em geral eram do tipo LB-15, de madeira, e estavam sediadas em diversos portos do país, mas já com idade avançada.

O projeto e construção da lança foram desenvolvidos de forma a atender a todas as exigências do Lloyd's Register of Shipping para a classificação + 100 A1 Specified Brazilian Coastal Services LMC (without cross).



Desenho Técnico do projeto Lança-Balizadora



A lancha construída pela Wilson Sons é de projeto do Estaleiro Holandês Damen Shipyards, por intermédio de uma parceria iniciada em 1995. O mesmo projeto de lancha-balizadora já existia em serviço na Alemanha, Equador, Líbia, Namíbia e em países do Oriente. Apresenta como dimensões principais 19,8 metros de comprimento, 6 metros de boca e 1,98 metros de calado. Caracteriza-se pela capacidade de içar e arriar boias do tipo BL-1 e material de fundeio, inclusive poitas de até 2,5 toneladas. O guindaste, situado na popa, tem capacidade de 7 toneladas a 1,91 metros. Sua guarnição caracteriza-se como fixa e exclusivamente formada por milítas, sendo seis no total.

A Lancha-Balizadora LB-20 é uma moderna embarcação projetada para operar em águas abrigadas e em águas costeiras. A velocidade máxima mantida é de 10,6 nós, com dois motores de propulsão Cummins de 261kW de potência cada. É empregada na execução de serviços de balizamento, com a finalidade de manter em funcionamento os auxílios à navegação, fixos e flutuantes.

Os dois motores de propulsão acionam hélices de passo fixo através de uma caixa redutora/reversora e uma linha de eixo. O projeto de propulsão foi desenvolvido de forma que a Praça de Máquinas não precise ser guarnecida permanentemente. A partida dos motores é elétrica, e o resfriamento é do tipo fechado, por meio de um keel cooler. Cada linha de eixo possui um pé-de-galinha dotado de hastes com seção hidrodinâmica.

No sistema de resfriamento do motor de propulsão do tipo keel cooler, o líquido de arrefecimento do motor circula através de um sistema de tubulação fora do casco da embarcação sob a linha d'água, utilizando a temperatura mais baixa da água do mar para reduzir a temperatura do líquido de arrefecimento, por

meio da troca de calor antes de ser recirculado através do motor. Esse sistema de refrigeração de circuito fechado apresenta-se vantajoso em relação ao circuito aberto, o qual utiliza trocador de calor, pois o keel cooler não só suprime a necessidade de um trocador de calor interior, redes de água salgada no interior da lancha, bombas e filtros de água salgada, como também a manutenção a eles associadas, além de impedir a acumulação de iodo e areia no circuito, protegendo todo o sistema da corrosão ocasionada pela água salgada e a possível entrada desta no casco. Por esta característica, seu emprego promove uma solução de descarga zero, pois não possui caixa de mar, nem descargas para o mar.



Sistema de resfriamento tipo keel cooler



O projeto de construção dessa classe teve como peculiaridade o fato de o casco ser construído emborcado, a fim de facilitar os processos de solda. Após a construção total do casco, este foi reposicionado para dar continuidade ao restante da construção.



Construção do casco emborcado

A lancha é subdividida em 5 compartimentos estanques e possui uma borda falsa no entorno da parte frontal do convés principal e na popa. À ré da superestrutura, encontra-se um amplo convés para trabalho onde há um porão de carga com um volume de 25 m³. Além disso, na parte de vante deste convés, na linha de centro entre as cavernas 4 e 5, localiza-se um guindaste hidráulico.

Toda essa arquitetura e projeto tornam a LB-20 capaz de executar tarefas como içar e arriar boias e material de fundeio, transportar material técnico de sinalização náutica (baterias, lanternas, etc.), transportar material para reparo em faróis (cimento, areia, alvenaria, treliças de metal, etc.), transportar materiais diversos para guarnições de faróis localizados em áreas de difícil acesso (tambores de óleo, provisões, etc.), apoiar as Capitânicas dos Portos em Operações de Salvamento (SAR), apoiar os Centros de Hidrografia e Navegação em levantamentos hidrográficos e varreduras com sonar de varredura lateral, e realizar abastecimento de faróis.

De acordo com o contrato, a primeira das oito lanchas possuía prazo para entrega de um ano, enquanto a oitava deveria ser prontificada em até três anos. O recurso proveniente da Tarifa de Utilização de Faróis (TUF) foi utilizado pela DHN para custear a construção das referidas lanchas-balizadoras. Em 20 de dezembro de 1995, o estaleiro Wilson Sons entregou à Marinha do Brasil a Lancha-Balizadora Achernar, a primeira da classe. Seguindo o cronograma proposto, de entrega das LB a cada três meses, no final de setembro de 1997, o estaleiro entregou a LB Vega, última das lanchas-balizadoras encomendadas.



Construção da primeira LB



O contrato inicial foi acrescido de mais duas unidades, totalizando dez. Conforme o ambiente característico acerca das demandas de balizamento de sinais flutuantes em cada região do litoral brasileiro, em janeiro de 1995, foi realizada uma proposta de designação de sede para as novas LB, com a seguinte distribuição:

- 1 – LB ACHERNAR - Capitania dos Portos de São Paulo – dezembro de 1995;
- 2 – LB ALDEBARAN - Serviço de Sinalização Náutica do Leste – março de 1996;
- 3 – LB BETELGEUSE - Delegacia da Capitania dos Portos de São Francisco do Sul – junho de 1996;
- 4 – LB CAPELLA - Capitania dos Portos do Espírito Santo – setembro de 1996;
- 5 – LB DENEbola – Serviço de Sinalização Náutica do Norte – dezembro de 1996;
- 6 – LB FORMALHAUT - Capitania dos Portos do Paraná – março de 1997;
- 7 – LB RIGEL - Serviço de Sinalização Náutica do Sul – maio de 1997;
- 8 – LB REGULUS - Serviço de Sinalização Náutica do Norte - junho de 1997
- 9 – LB POLLUX - Centro de Auxílios à Navegação Almirante Moraes Rego –

agosto de 1997; e

10 – LB VEGA – Serviço de Sinalização Náutica do Norte - setembro 1997

Cada LB construída chegou ao seu local de destino navegando por meios próprios e tripulada por militares da DHN, as maiores distâncias percorridas foram as travessias para Rio Grande – RS e Santana – AP.

As características descritas em projeto para a classe LB-20 foram efetivamente verificadas durante o uso das lanchas. A embarcação se mostrou simples e versátil, com atributos para realizar diversas aplicações marítimas relacionadas à sinalização náutica, como inspeções diurnas e noturnas; restabelecimentos de sinais; lançamentos, recolhimentos e rodízios em boias e balizas articuladas; e reparos estruturais e de alvenaria. As dimensões da embarcação possibilitam a aproximação em locais de baixa profundidade e transporte de materiais diversos para faróis em áreas de difícil acesso, permitindo assim, uma melhor execução das fainas mencionadas.

Em 2020, as Lanchas-Balizadoras foram reclassificadas como Avisos Balizadores (AvB) e passaram a ter tripulação fixa.



Docagem do AvB Rigel utilizando roletes infláveis



Das dez lanchas construídas, nove ainda permanecem em atividade; algumas em local diferente da distribuição inicial, mas todas subordinadas a Centros de Hidrografia e Navegação, Serviços de Sinalização Náutica ou Capitania dos Portos. Apenas a LB CAPELLA teve seu processo de baixa realizado pela Capitania dos Portos do Espírito Santo. Atualmente, os Avisos Balizadores da classe LB-20 estão distribuídos da seguinte forma:

- 1 – LB ACHERNAR - Capitania dos Portos de São Paulo;
- 2 – LB ALDEBARAN - Serviço de Sinalização Náutica do Leste;
- 3 – LB BETELGEUSE - Capitania dos Portos de Santa Catarina;
- 4 – LB CAPELLA – Em inatividade;
- 5 – LB DENEbola – Centro de Hidrografia e Navegação do Norte;
- 6 – LB FORMALHAUT – Serviço de Sinalização Náutica do Sul-Sudeste;
- 7 – LB RIGEL - Serviço de Sinalização Náutica do Sul;
- 8 – LB REGULUS - Centro de Hidrografia e Navegação do Norte;
- 9 – LB POLLUX - Centro de Auxílios à Navegação Almirante Moraes Rego; e
- 10 – LB VEGA – Centro de Hidrografia e Navegação do Norte.

No Centro de Auxílios à Navegação Almirante Moraes Rego (CAMR), o AvB

Pollux é empregado em fainas de transporte de material, transporte de pessoal e abastecimento de óleo combustível aos três de um total de cinco faróis guarnecidos sob responsabilidade do CAMR, sendo eles o Farol Rasa, Farol Castelhanos e Farol Macaé. Também é de fundamental importância o apoio dessa embarcação em levantamentos hidrográficos com ecobatímetro multifeixe portátil, procura de objetos submersos com sonar de varredura lateral, atividades de apoio à instrução, adestramento, formação e aperfeiçoamento de faroleiros no Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino (CIAARA) e apoio às Organizações Militares do Complexo Naval da Ponta da Armação (CNPA).

Após quase 30 anos da entrega da primeira lancha, é possível constatar o êxito do projeto e os resultados alcançados, e garantir que os trabalhos realizados com o apoio da classe LB-20 foram e continuarão excelentes, por ser uma LB confiável, segura, boa de mar e totalmente apta às tarefas relacionadas à hidrografia, especialmente aos Auxílios Náuticos. A classe LB-20 contribui para que nosso país tenha uma navegação segura, canais bem balizados, perigos à navegação devidamente identificados e sinais visuais e luminosos orientando o navegante na derrota segura.



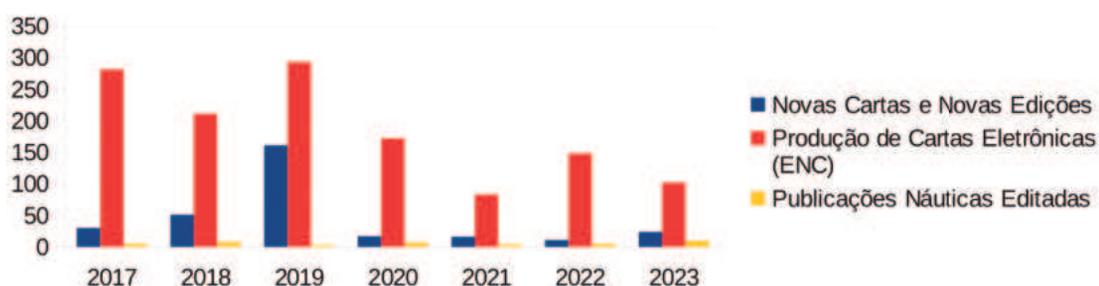
AvB Pollux



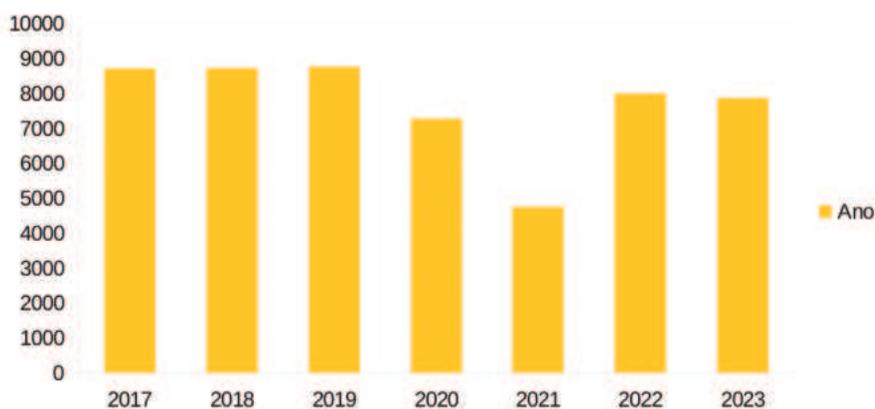
I – PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA

1 – Apresentamos abaixo os dados referentes à produção cartográfica e publicações náuticas do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) impressas pela Base de Hidrografia da Marinha em Niterói (BHMN) incluindo o período de 2017 a 2023:

PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA



CARTAS IMPRESSAS POR DEMANDA



2 – A lista completa das cartas e outras publicações realizadas no ano de 2023 estão disponíveis através do código QR abaixo:



II – PROGRAMA DE CONCLAVES E INTERCÂMBIOS

1 – CONCLAVES

1.1 – GOVERNAMENTAIS NO EXTERIOR

Reuniões da Comissão de Limites da Plataforma Continental (CLPC). Nova Iorque, EUA.

Sessões da Comissão de Limites da Plataforma Continental (CLPC). Nova Iorque, EUA.

Reunião Especial do Comitê Intergovernamental da Hidrovia Paraguai-Paraná (CIH). Buenos Aires, Argentina.

1.2 – NÃO GOVERNAMENTAIS NO EXTERIOR

Reunião do Conselho da Organização Hidrográfica Internacional (COHI). Mônaco, Mônaco.

Reunião da Comissão Hidrográfica do Atlântico Sudoeste (CHAtSO). Evento realizado por videoconferência.

Reunião da Aliança Regional em Oceanografia para o Atlântico Sudoeste Superior e Tropical (OCEATLAN). Evento realizado por videoconferência.

Sessão do *Data Buoy Cooperation Panel* (DBCP). Bali, Indonésia.

World Meteorological Organization (WMO) Standing Committee on Marine Meteorological and Oceanographic Services (SC-MMO) and Expert Team on Maritime Safety (ET-MS) Meeting. Genebra, Suíça.

Reunião do Comitê Financeiro da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), Reunião dos Chefes das Delegações e Sessão da Assembleia da OHI. Mônaco, Mônaco.

Sessão da Assembleia e Sessão do Conselho Executivo da Comissão Oceanográfica Intergovernamental da UNESCO. Paris, França.

Conferência da Comissão Hidrográfica da Meso América e do Mar do Caribe (MACHC). Paramaribo, Suriname.

Reunião do *Inter-Regional Coordination Committee* (IRCC). Tóquio, Japão.

Reunião do *Hydrographic Services and Standards Committee* (HSSC). Helsinque, Finlândia.
Reunião do Conselho da Associação Internacional de Auxílios Marítimos à Navegação e Autoridades de Faróis (IALA). Saint Germain-en-Laye, França.

Reunião do FIG/IHO/ICA *International Board on Standards of Competence for Hydrographic Surveyors and Nautical Cartographers* (IBSC). Tóquio, Japão.



Reunião Interseccional da *International Board on Standards of Competence for Hydrographic Surveyors and Nautical Cartographers* (IBSC). Londres, Reino Unido.

Reunião do *Worldwide ENC Database Working Group* (WENDWG). Aalborg, Dinamarca.

Reunião do *Advisory Board on the Law of the Sea* (ABLOS). Monte Carlo, Mônaco.

Reunião do *GEBCO Subcommittee on Undersea Feature Names* (SCUFN). Wollongong, Austrália.

Reunião do *ENC Working Group (ENCWG) e S-101 Project Team Meeting (S-101PT)*. Evento realizado por videoconferência.

Seção do Comitê Internacional de Intercâmbio de Dados Oceanográficos (IODE) e na Conferência Internacional de Dados Oceanográficos (IODC). Paris, França.

Reunião do *IC-ENC Regional Office Hosts e do International Centre for Electronic Navigational Charts Steering Committee* (IC-ENC) *IC-ENC Steering Committee*. Bristol, Reino Unido.

Treinamento dos Validadores do LA-RENC no *International Centre for Electronic Navigational Charts* (IC-ENC). Taunton, Reino Unido.

Reunião do *World-Wide Navigational Warning Service* (WWNWS). Evento realizado por videoconferência.

Reunião do *Hydrographic Survey Working Group* (HSWG). Lombok, Indonésia.

Reunião do *Inland ENC Harmonization Group* (IEHG). Chicago, EUA.

Sessão do Comitê de Orientação e Acompanhamento da 20ª Conferência Internacional da IALA (*IALA Conference Committee*). Saint Germain-en-Laye, França.

Cerimônia do 107º Aniversário de Criação do Serviço de Oceanografia, Hidrografia e Meteorologia da Armada Nacional da República Oriental do Uruguai. Montevideú, Uruguai.

Empowering Women in Hydrography: IC-ENC secondment opportunity. Taunton, Reino Unido.

Treinamento Glider School 2023. Las Palmas - Ilhas Canárias, Espanha.

Treinamento sobre marés da Comissão Regional da Mesoamérica e Caribe (*MACHC Tides Training*). Punta Leona, Costa Rica.

Conferência sobre a minuta dos Regulamentos Geral e Financeiro da Organização Internacional de Auxílios Marítimos à Navegação. Tóquio, Japão.

Seminário de Encerramento do Bicentenário das Lentes Fresnel – *Closing Seminar Fresnel 2023*. Le Verdon-sur-Mer, França.

Workshop on S-57 to S-101 Training and Conversion. Singapura, Singapura.

1.3 – NÃO GOVERNAMENTAIS NO PAÍS

Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR). Florianópolis, SC.

Semana Nacional de Oceanografia (SNO). Recife, PE.

III – CURSOS E ESTÁGIOS EM INSTITUIÇÕES EXTRAMARINHA

1 – CURSOS

1.1 – PÓS-GRADUAÇÃO

Avaliação Quantitativa da Utilização dos Sonares Interferométricos *EdgeTech 6205S2* e Ping DSP 3DSS para Geração de Produtos Batimétricos;

Mestrado em Geologia e Geofísica, Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ.
Capitão-Tenente Hugo Leonardo Silva Soares

Estudo da Maré Oceânica

Mestrado em Ciências Cartográficas, com Ênfase em Hidrografia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, SP.
Capitão-Tenente Valder Alvaro da Luz Silva

Extração automática de linha de costa, a partir de imagens orbitais, para produção/atualização de produtos cartográficos náuticos

Mestrado em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, SP.
Capitão-Tenente (EN) Edico Ramon de Melo

Emprego de radiossonda de baixo custo acoplada a drone para otimização do modelo numérico WRF na previsão de ciclôgenese

Mestrado em Engenharia em Biosistemas, Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ.
Capitão-Tenente David Christian de Lima Ferreira

Aplicação de *beamforming* em sonares batimétricos de diferença de fase para melhorar a detecção de fundo

Mestrado em Earth Sciences “Ocean Mapping” . Durhan, EUA.
Capitão de Corveta João Celso Silva de Deus

Bathymetric data visualization using extended reality in applied hydrographic operations environments

“*Master Of Science in Spatial and Geographic Information Science*”. Simon Fraser University Burnaby Mountain Campus, Burnaby, Canadá
Capitão de Corveta André Alves Araújo



1.2 – QUALIFICAÇÃO PROFISSIONAL

Meteorologia Aeronáutica. Escola de Especialistas de Aeronáutica. Força Aérea Brasileira. Guaratinguetá, SP.

Terceiro-Sargento (ME) Alice Helena Santos Alves Sayão

Data Analysis and Visualization with METVIEW, Reading, Reino Unido.

Capitão-Tenente (T) Luiz Felipe Neris Cardoso e Terceiro-Sargento (ME) Thaís Guilhon Alves

2 – ESTÁGIOS

Estágio - *Numerical Model Training – COSMO/ICON*. Langen, Alemanha.

Capitão-Tenente (T) Luiz Felipe Neris Cardoso

Implementação Operacional. Cachoeira Paulista, SP.

Terceiro-Sargento (SI) Johnny Wallace de Messias Faria

Processamento de imagens de satélite para aplicações em oceanografia e meteorologia, Cachoeira Paulista, SP.

Capitão-Tenente (T) André Luiz Araújo Damião

Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas, Brasília, DF.

Terceiro-Sargento (HN) Josué Lopes Silva

Verificação Climáticos Estatística e Modelagem Numérica. Cachoeira Paulista, SP.

Primeiro-Tenente (RM2-T) Thainá Castro da Silva



IV – CURSOS REGULARES

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

Oficiais que concluíram o 76º Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais – Turma 2023:



Oficiais-Alunos do Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais

A aula inaugural proferida no início do ano letivo para a referida turma, em 8 de fevereiro de 2023, pelo então Contra-Almirante Marco Antônio Linhares Soares, excepcionalmente, não foi publicada nesta edição dos Anais Hidrográficos, por já estar disponível no Tomo LXXIX da revista, de 2022.

2º Ten	VINICIUS BATISTA DA SILVA
2º Ten	MAX RODRIGUES BAPTISTA
2º Ten	GABRIEL SOUZA VIEIRA
2º Ten	GABRIEL COUTINHO ALVES SANTOS
2º Ten	AURELIEN BENENGUEYE MBATIA (Marinha Nacional de Camarões)
2º Ten	BRENNO MOISES SOUZA SILVA
2º Ten	BERNARDO VILLAS BÔAS DOS SANTOS



TF	DANIEL IVÁN LOZADA PÉREZ (Armada Boliviana)
2º Ten	MATHEUS NOGUEIRA CAIAFA SOARES
2º Ten	FRANCISCO DE ASSIS DOS SANTOS FILHO

1º Colocado: 2º Ten VINICIUS BATISTA DA SILVA, com média final 9,326.

PRÊMIOS ESCOLARES

PRÊMIO “EVOLUÇÃO E APLICAÇÃO”

Concedido pela Diretoria de Ensino da Marinha ao Oficial-Aluno classificado em primeiro lugar no seu curso.

2º Ten	VINICIUS BATISTA DA SILVA	9,326
--------	---------------------------	-------

MEDALHA-PRÊMIO “COMANDANTE VITAL DE OLIVEIRA”

A Medalha-Prêmio Comandante Vital de Oliveira, concedida pela DHN, foi criada em homenagem ao Capitão de Fragata Manoel Antônio Vital de Oliveira, Patrono da Hidrografia da Marinha, e destina-se a agraciar o Oficial que concluir o Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais em primeiro lugar.

2º Ten	VINICIUS BATISTA DA SILVA	9,326
--------	---------------------------	-------

CERTIFICADOS DE DESEMPENHO ESCOLAR, CONCEDIDOS PELO CENTRO DE INSTRUÇÃO E ADESTRAMENTO ALMIRANTE RADLER DE AQUINO:

LÁUREA “VITAL DE OLIVEIRA”

Destina-se a premiar o Oficial do Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais que obtiver a maior média na área de Hidrografia, que abrange as disciplinas de Geodésia, Topografia, Cartografia, Gerenciamento de Dados Hidrográficos, Hidrografia e Levantamento Hidroceanográfico de Fim de Curso, desde que, em nenhuma delas tenha obtido média inferior a nove (9,000):

2º Ten	VINICIUS BATISTA DA SILVA	9,441
--------	---------------------------	-------

**LÁUREA “ALMIRANTE MORAES REGO”**

Destina-se a premiar o Oficial do Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais que obtiver a maior média na área de Auxílios à Navegação e Navegação, que abrange as disciplinas de Auxílios à Navegação e Navegação – Sistemas e Normas, desde que em nenhuma delas tenha obtido média inferior a nove (9,000):

2º Ten	GABRIEL SOUZA VIEIRA	9,100
--------	----------------------	-------

2 – CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (C-Espc-HN)

Militares que concluíram o 61º Curso de Especialização em Hidrografia e Navegação – Turma 2023:

MN-QPA	EDUARDO HERCULANO SANTOS
MN-QPA	JONAS FERREIRA DA SILVA
MN-QPA	LUCAS DA SILVA DE ANDRADE
MN-QPA	AGEU PACHECO CUNHA BARRETO
MN-QPA	MISAEEL FARIA NUNES SANTOS
MN-QPA	AIRTON BARBOSA DOS SANTOS
MN-QPA	CAIO DE OLIVEIRA CAPUCH GONZALES
MN-QPA	JHONATAS LEVI WISNIEWSKI DOS SANTOS

1º Colocado: MN-QPA EDUARDO HERCULANO SANTOS, com média final 9,086.

PRÊMIOS ESCOLARES:**PRÊMIO “INSTRUÇÃO E APLICAÇÃO”:**

Concedido pela Diretoria de Ensino da Marinha ao aluno classificado em primeiro lugar no seu curso.

MN-QPA	EDUARDO HERCULANO SANTOS	9,086
--------	--------------------------	-------

CERTIFICADOS DE DESEMPENHO ESCOLAR, CONCEDIDOS PELO CENTRO DE INSTRUÇÃO E ADESTRAMENTO ALMIRANTE RADLER DE AQUINO:**LÁUREA “OCEANOGRÁFICO”**

Destina-se a premiar o aluno do Curso de Especialização em Hidrografia e Navegação (C-Espc-HN) que obtiver a maior média na área de Geofísica, que abrange as disciplinas de Meteorologia e Oceanografia, desde que em nenhuma delas tenha obtido média inferior a nove (9,000):

MN-QPA	JONAS FERREIRA DA SILVA	9,277
--------	-------------------------	-------



3 – CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO DE FAROLEIRO (C-Espc-FR)

Militares que concluíram o 37º Curso de Especialização de Faroleiro – Turma 2023:

MN-QAP	JOSÉ VITOR MESSIAS
MN-QAP	RODRIGO LEÃO CORRÊA
MN-QAP	JOSÉ MICHAEL BEMBEM DE ANDRADE
MN-QAP	RICARDO SANTOS MACHADO FREITAS

1º Colocado: MN-QAP JOSÉ VITOR MESSIAS, com média final 9,596.

PRÊMIOS ESCOLARES:

PRÊMIO “INSTRUÇÃO E APLICAÇÃO”:

Concedido pela Diretoria de Ensino da Marinha ao aluno classificado em primeiro lugar no seu curso.

MN-QPA	JOSÉ VITOR MESSIAS	9,596
--------	--------------------	-------

CERTIFICADOS DE DESEMPENHO ESCOLAR, CONCEDIDOS PELO CENTRO DE INSTRUÇÃO E ADESTRAMENTO ALMIRANTE RADLER DE AQUINO:

LÁUREA “ALMIRANTE CÂMARA”

Destina-se a premiar o aluno do Curso de Especialização de Faroleiro (C-Espc-FR) que obtiver a maior média na área de Auxílios à Navegação, que abrange as disciplinas de Equipamentos de Auxílios à Navegação, Estruturas de Auxílios à Navegação e Fontes de Energia e Projetos de Auxílios à Navegação, desde que em nenhuma delas tenha obtido média inferior a nove (9,000):

MN-QPA	JOSÉ VITOR MESSIAS	9,486
--------	--------------------	-------

LÁUREA “MESTRE JOÃO DOS SANTOS”

Destina-se a premiar o aluno do Curso de Especialização de Faroleiro (C-Espc-FR) que obtiver a maior média na área de Auxílios à Navegação, que abrange as disciplinas de Auxílios à Navegação, Administração de Auxílios à Navegação, Fainas de Auxílios à Navegação e Manutenção de Auxílios à Navegação de Fim de Curso, desde que em nenhuma delas tenha obtido média inferior a nove (9,000):

MN-QPA	RODRIGO LEÃO CORRÊA	9,816
--------	---------------------	-------



Praças concluintes do Curso de Especialização do HN e FR



IV – COMISSÕES

GRUPAMENTO DE NAVIOS HIDROCEANOGRÁFICOS

NAVIO POLAR "ALMIRANTE MAXIMIANO"



NPo "Almirante Maximiano" na Ilha de Deception em apoio aos projetos BRIOTECH e FIOANTAR

Em 2023, o Navio Polar "Almirante Maximiano" desempenhou um papel fundamental, participando tanto da 2ª Etapa da OPERANTAR XLI quanto da 1ª Etapa da OPERANTAR XLII. Além de oferecer apoio logístico essencial à Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), o navio se destacou ao conduzir pesquisas científicas abrangentes em diversas áreas do conhecimento.

Na 2ª etapa da OPERANTAR XLI, foi realizado o lançamento de 5 boias de deriva em apoio ao projeto REMObs durante as travessias no Estreito de Drake. Esses lançamentos contribuíram significativamente para aprimorar o prognóstico das condições

meteorológicas em tempo real, sendo um importante auxílio à decisão para a travessia.

Além disso, o navio apoiou os projetos BRIOTECH, FIOANTAR E MYCOANTAR 2, permitindo que os pesquisadores coletassem amostras de aves, mamíferos, material botânico e fungos, em diversos pontos de interesse na Antártica. No âmbito dos projetos PROVOCCAR e ECOPELAGOS, foram realizadas 71 Estações Oceanográficas, 34 arrastos verticais da rede LOKI para coleta de imagens de fitoplânctons e zooplânctons, 12 arrastos horizontais com a rede BONGO, biópsias e marcações de cetáceos. O navio também realizou a medição, de forma contínua, das

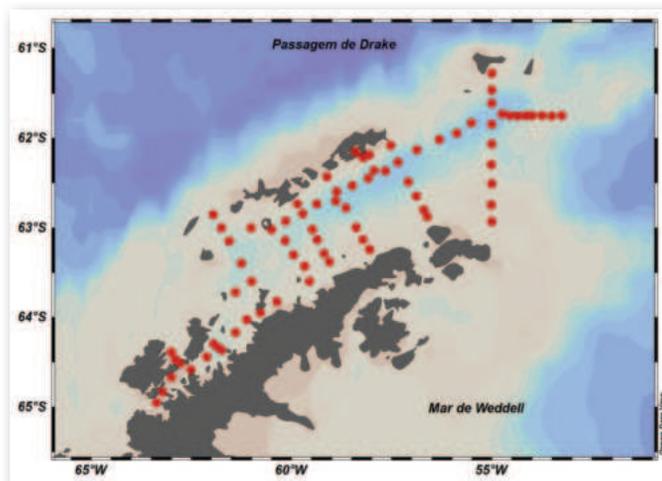
concentrações de CO₂ oceânico, da temperatura e da salinidade da lâmina d'água, por meio do Termossalinógrafo, e adquiriu dados de correntometria, por meio do ADCP de casco, na região de Bransfield, Gerlache e próximo às ilhas Elefante.

A partir de outubro de 2023, teve início a 1ª etapa da OPERANTAR XLII, em que o navio, no âmbito da Meteorologia e Oceanografia, conduziu 15 estações oceanográficas em apoio aos projetos MEPHYSTO e ATMOS. Cada estação, situada na Confluência Brasil-Malvinas, alcançou aproximadamente 1000 metros de profundidade, realizando perfilação vertical de corrente por meio do L-ADCP. O fechamento das garrafas de Niskin ocorreu na profundidade de máxima clorofila (PMC) observada durante a aquisição. Adicionalmente, foram efetuadas coletas de água em superfície, arrasto vertical de fitoplâncton,

arrasto horizontal com rede de microplástico e lançamentos de radiossondas e de UCTD.

Na Antártica, o navio realizou 38 Estações Oceanográficas no Estreito de Bransfield e na Baía do Almirantado, em suporte ao projeto MEPHYSTO. Essas coletas tinham como objetivo investigar processos físico-químicos, visando a uma melhor compreensão do impacto das mudanças ambientais nos ecossistemas dos mares austrais e suas possíveis conexões com a zona costeira do Brasil.

Atendendo às demandas do Centro de Hidrografia da Marinha, em dezembro, o navio lançou a boia meteoceanográfica Spotter V3 na enseada Mackellar, próxima à Estação Peruana Machu Picchu. Além disso, realizou sondagem com o Ecobatímetro Monofeixe SIMBAD EA600, utilizando a frequência de 38 kHz, cobrindo uma extensão total de 900 km², no Estreito de Bransfield.



Estações Oceanográficas na região Antártica



Sondagem



NAVIO DE APOIO OCEANOGRÁFICO “ARY RONGEL”



Navio nas proximidades da Ilha Deception

No período de 2 de janeiro a 12 de abril de 2023, o NApOc “Ary Rongel” realizou a 2ª fase da Operação Antártica (OPERANTAR) XLI. Durante essa fase, o navio prestou apoio logístico à Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), com transferência de carga, gêneros e óleo diesel antártico (ODA), além de ter realizado Levantamento Hidrográfico (LH) no Estreito de Bransfield, correspondendo a uma área total sondada de 1710,93 km².

No decorrer da 2ª etapa da OPERANTAR XLI, o navio prestou apoio logístico à EACF e a diversos projetos de pesquisa do PROANTAR nas Ilhas

Deception, Pinguim e Rei George. Ressalta-se, também, o lançamento de dois acampamentos científicos, sendo um na Ilha de Marambio, no Mar de Weddel, e outro em Livingston.

Após um intenso período de preparação, em 8 de outubro de 2023, por ocasião do início da OPERANTAR XLII, ocorreu o embarque de pesquisadores e alpinistas do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR), além dos militares do Grupo-Base “Austral”, que foram designados para guarnecer a EACF no período de 2023/2024. Nessa mesma data, o navio desatracou e iniciou a 30ª comissão austral consecutiva.



Embarque do Grupo-Base Austral no NApOc "Ary Rongel" para OPERANTAR XLII

No transcurso da 1ª etapa da OPERANTAR XLII, o navio prestou apoio logístico à EACF e a diversos projetos de pesquisa do PROANTAR na Ilha Rei George. Ressalta-se, também, o lançamento de dois acampamentos científicos, sendo um na Ilha James Ross e o outro em Vega, ambos no Mar de Weddel.

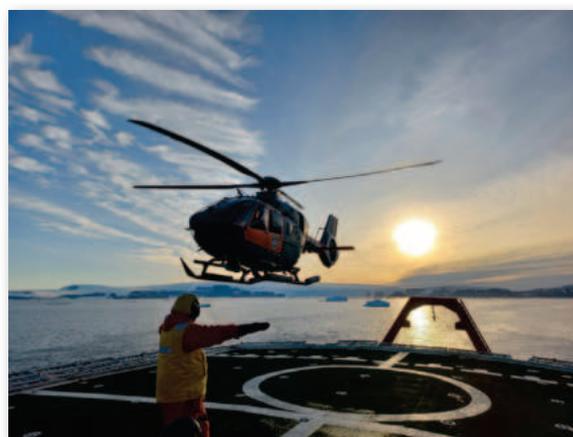
Ao longo da 2ª etapa da OPERANTAR XLI e 1ª etapa da OPERANTAR XLII, em cumprimento ao Plano de Coleta de Dados de Meteorologia e Oceanografia da Diretoria de

Hidrografia e Navegação (PCD-METOC DHN), foi realizada a coleta de dados oceanográficos com o termossalinógrafo e de dados meteorológicos com a Estação Meteorológica Automática, além da elaboração de mensagens SHIP, contribuindo para o incremento do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), com dados da costa sul da América do Sul e da Antártica.

Por ocasião da 1ª etapa da OPERANTAR XLII foi realizado LH ao sul das Ilhas Shetland do Sul, no Estreito de Bransfield, para produção das cartas náuticas 9151 e 9152, no qual foi sondada uma área de 1754,78 Km². Esse LH, em cumprimento ao Plano de Trabalho de Hidrografia da DHN (PTHidro DHN), é uma ação decorrente do compromisso assumido pelo Brasil, como membro da Comissão Hidrográfica na Antártica (Hydrographic Commission on Antarctica – HCA), junto à Organização Hidrográfica Internacional (OHI). Tal compromisso prevê produção e atualização de cartas náuticas em cooperação com serviços hidrográficos de outros países, de forma a contribuir para a segurança da navegação, em áreas de interesse na Antártica.



Embarque de container durante faina logística com a EACF



Operações Aéreas para lançamento de acampamento científico nas ilhas Vega e James Ross



NAVIO OCEANOGRÁFICO "ANTARES"



NOc "Antares"

O Navio Oceanográfico "Antares" realizou, entre os dias 16 de janeiro e 9 de fevereiro de 2023, em apoio ao Projeto SAMOC (South Atlantic Meridional Overturing Circulation), a Comissão SAMOC, do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP). A Comissão teve como objetivo realizar o recolhimento de dois fundeios de Current-and-Pressure-recording Inverted Echo Sounder (C-PIES) e o lançamento de um fundeio de correntômetro e microCAT,

no Canal de Vema, a fim de contribuir para a medição do transporte meridional da massa e calor próximas ao talude continental da América do Sul.

Releva mencionar que o recolhimento de um dos fundeios de C-PIES se deu a cerca de 1.400 MN da costa brasileira, atestando, uma vez mais, a capacidade da DHN, representada pelo NOc "Antares", de atender às demandas de interesse nacional até os limites do entorno estratégico marítimo brasileiro.



NOc "Antares", durante o lançamento do conjunto CTD Rosette

O NOc "Antares" realizou, no período de 10 a 18 de agosto de 2023, a Comissão EXPEDIÇÃO IX (E). A Comissão objetivou efetuar o lançamento de duas boias meteoceanográficas de fundeio na Baía de Campos, no litoral do estado do Rio de Janeiro. Tais boias pertencem ao Programa Nacional de Boias (PNBOIA) e ao Projeto Rede de Modelagem Oceanográfica Observacional (REMObs), que visam contribuir para o desenvolvimento de ciência e tecnologia em oceanografia física, modelagem oceânica, oceanografia observacional e oceanografia operacional com assimilação de dados.

A Comissão contribuiu para a manutenção da rede de observação meteoceanográfica, permitindo, assim, a continuidade da obtenção de dados para os Projetos PNBOIA e REMObs.



Militar lançando dispositivo liberador acústico



NOc "Antares"



O NOc "Antares" realizou, entre os dias 28 de agosto e 1º de setembro de 2023, a Comissão PAISAGEM ACÚSTICA III, em apoio ao projeto Sistema de Previsão do Ambiente Acústico para o Planejamento das Operações Navais (SISPRES) e ao projeto Sistema Tático de Fatores Ambientais (STFA), do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM). A Comissão teve como propósito realizar atividades nas áreas de Oceanografia Física, Oceanografia Química e Biológica e Oceanografia Acústica para a época de inverno, nas proximidades da Baía de Sepetiba.

Por ocasião da Comissão, foram realizadas 20 estações oceanográficas, envolvendo as seguintes modalidades de produção e coleta de dados: perfilagem vertical com conjunto CTD-Rosette; medições contínuas com o termossalinógrafo; coleta de amostras d'água com garrafas de Niskin; observações batitermográficas com o equipamento XBT; medição de interferência bioacústica com ADCP OS 75kHz; lançamento das redes verticais de fitoplâncton e zooplâncton; lançamento do Disco de Secchi; lançamento de fundeio com hidrofones autônomos; lançamento de fonte acústica; e coletas geológicas de amostra de fundo.

O NOc "Antares" realizou, entre os dias 13 de setembro e 16 de outubro de 2023, a Comissão PIRATA BR-XXIII, em apoio ao Projeto Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic (PIRATA), que é



Militares preparando a boia ATLAS para o lançamento

uma iniciativa de instituições científicas do Brasil, Estados Unidos e França. A Comissão contou com a participação de pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e teve como objetivo a manutenção das boias destinadas à coleta de dados meteoceanográficos para o monitoramento do clima no Atlântico Tropical.

O navio realizou o rodízio de duas boias, a aproximadamente 310 MN de Vitória-ES e 350 MN de Salvador-BA.

NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO FAROLEIRO "ALMIRANTE GRAÇA ARANHA"



Navio deixando a Baía de Guanabara para realização da comissão "PROAMAZÔNIA AZUL I"

O Navio Hidroceanográfico Faroleiro "Almirante Graça Aranha" iniciou as atividades hidroceanográficas no ano de 2023 realizando a inspeção e manutenção nos Faróis Guaratiba e Marambaia, além de abastecer com óleo combustível o Farol Macaé, no litoral do Rio de Janeiro, no mês de janeiro.

Entre março e junho, o navio realizou um Período de Docagem de Rotina, na Base Naval do Rio de Janeiro, no qual foi possível a realização de diversos serviços de manutenção e reparos estruturais, dos quais se destacam a substituição de chapas e anodos de sacrifício das obras vivas, manutenções preventivas e corretivas no MCP, nos grupos geradores e no sistema de governo, além da inspeção e tratamento dos tanques de óleo e de aguada.

Em junho, o navio realizou a comissão de Apoio a Instrução IX (APOINST IX), conduzindo a prática de Navegação I para alunos do Curso Especialização de Hidrografia para Praças (C-ESPC-HN), em complemento

às atividades de ensino desenvolvidas pelo Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino (CIAARA).

Em julho, foi conduzido um levantamento hidrográfico nas proximidades do Centro de Educação Física Almirante Adalberto Nunes (CEFAN), no qual foi empregado a lancha hidrográfica orgânica do navio equipada com ecobatímetro monofeixe portátil "EA440". No total foi sondada uma área de 0,015 km², atingindo a ordem de levantamento 1b, em cumprimento a Instrução Especial elaborada pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM).

Em agosto, durante a comissão de abastecimento do Farol Castelhanos, nas proximidades da Ilha Grande, o navio realizou o resgate de um turista argentino que ficou a deriva após ter seu caiaque virado devido ao mau tempo.

Em setembro, o navio realizou a comissão "PROTRINDADE V", em apoio ao

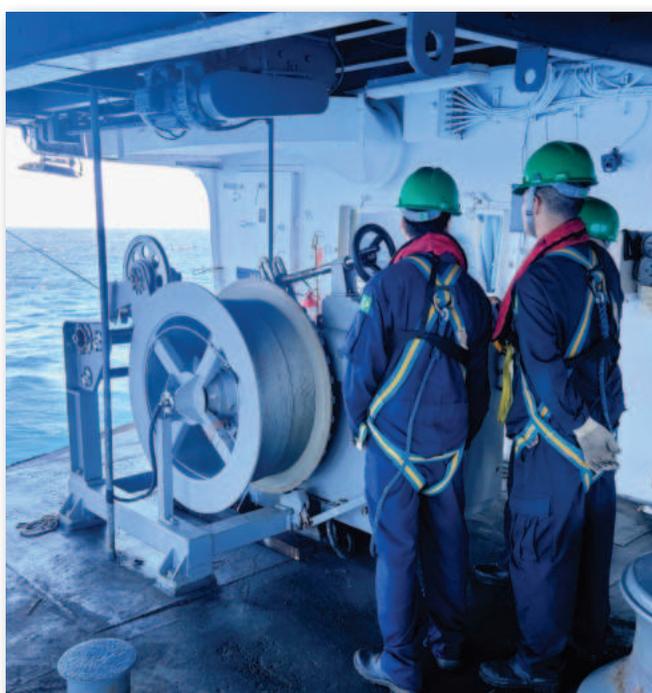


Programa de Pesquisas Científicas na Ilha da Trindade (PROTRINDADE). A comissão contou com a participação de treze pesquisadores de diferentes instituições de ensino e projetos de pesquisa do país, desenvolvendo atividades nas áreas de oceanografia, biologia marinha e geologia. Neste período também foi realizado o lançamento de uma boia ondógrafo “Spotter” nas proximidades do Posto Oceanográfico da Ilha da Trindade (POIT).

Em novembro, o navio realizou a comissão “PROAMAZÔNIA AZUL I”, no litoral da Bahia, contando com o embarque de pesquisadores da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), sendo realizadas onze estações oceanográficas com a coleta de dados ambientais e amostras de água, por meio do conjunto “CTD-Rosette” em profundidades de até 1000m.



Navio fundeado nas proximidades do Farol Castelhanos



Militares do navio operando o guincho durante a realização de estação oceanográfica na comissão “PROAMAZÔNIA AZUL I”



NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO “CRUZEIRO DO SUL”



NHo "Cruzeiro do Sul"

No período compreendido entre 6 de fevereiro e 20 de abril de 2023, o NHo “Cruzeiro do Sul”, também conhecido como “Leão dos Mares”, realizou a comissão “LEPLAC – Margem Equatorial / EXPEDIÇÃO II (E)”, em apoio ao Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira (LEPLAC), totalizando 54 dias de mar e 8.636 milhas náuticas navegadas.

Na comissão, o navio coletou dados de batimetria (ecobatímetro multifeixe) e de sísmica rasa (subbottom profiler – SBP). Cabe ressaltar que foi realizada a sondagem de 2.532 milhas náuticas, totalizando

42.873,24 km², cujos dados contribuirão para a determinação do pé do talude na margem equatorial, em especial nas regiões do Mega Deslizamento Pará-Maranhão e na Cadeia Norte Brasileira.

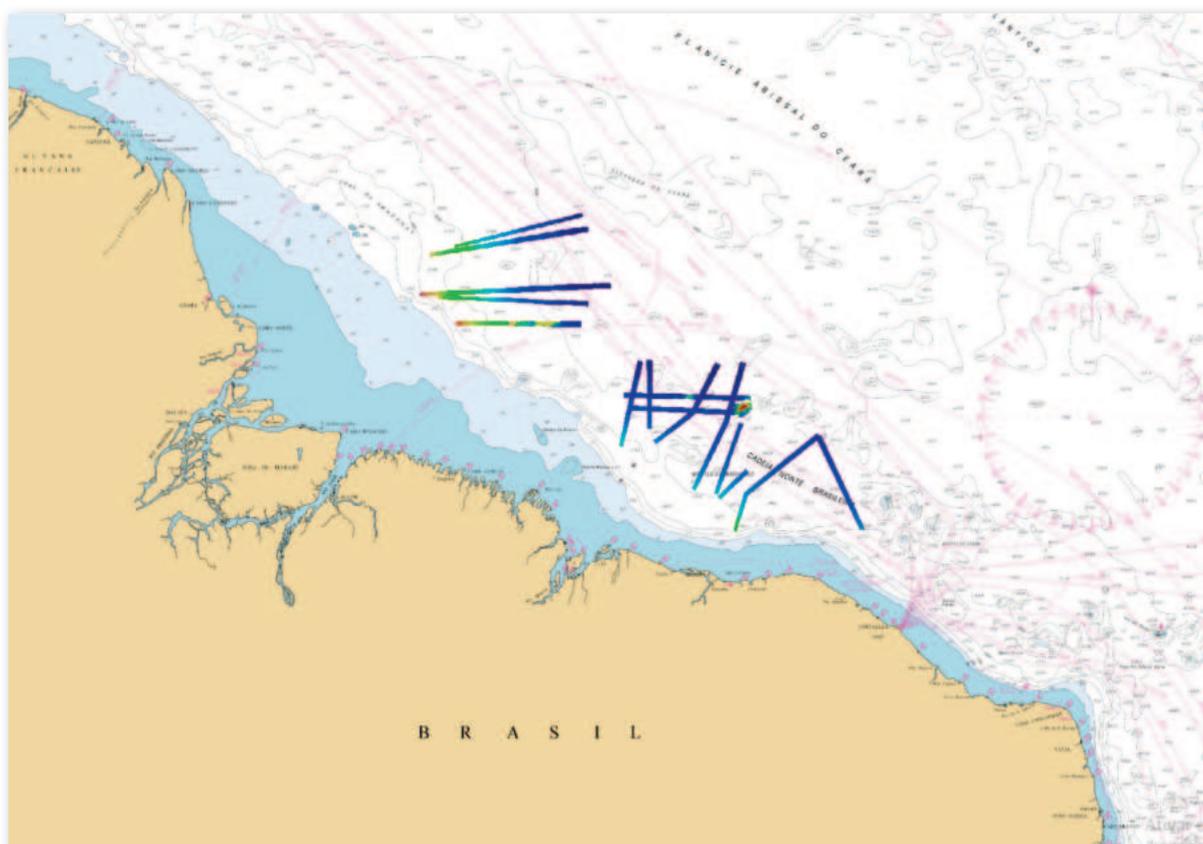
Ademais, durante a comissão, o navio apoiou projetos de instituições brasileiras, contribuindo com o fomento à pesquisa marinha no país e fortalecendo a vertente científica da Amazônia Azul. Ao todo, foram recebidos vinte pesquisadores embarcados, das seguintes instituições: Universidade Federal do Pará (UFPA), Universidade do Estado do Pará (UEPA),



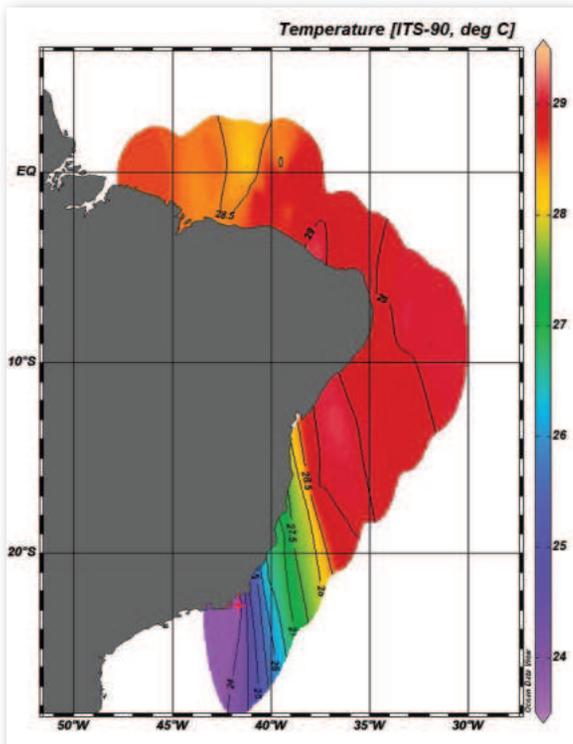
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Universidade Federal do Ceará (UFC), Universidade Federal Fluminense (UFF), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp) e Universidade de São Paulo (USP).

Cabe destacar, ainda, que nesse período, foram coletados dados para a produção de informações ambientais (oceanográficas e meteorológicas), voltados aos setores operativo e de segurança da navegação.

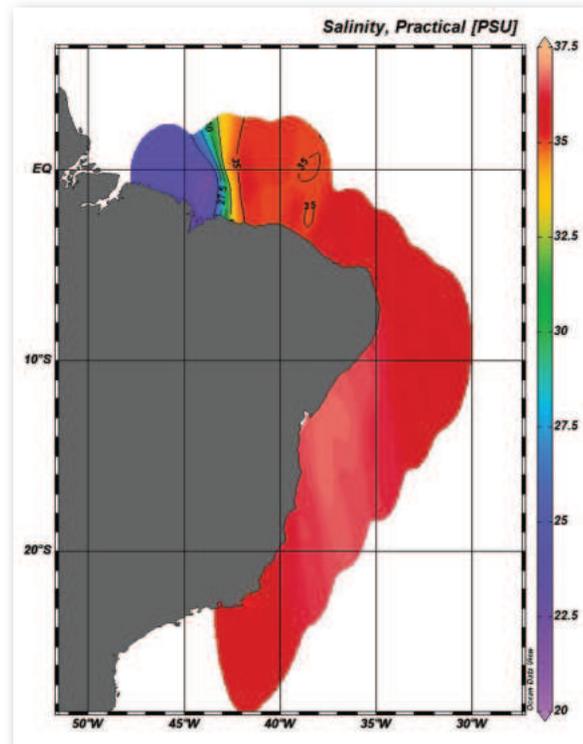
Além disso, por ocasião da atracação nos portos de Natal-RN e de Fortaleza-CE, o navio recebeu visitas de alunos de instituições de ensino, além de grupos locais. Nessas oportunidades, foram proferidas palestras sobre as formas de ingresso na Marinha do Brasil e os visitantes puderam conhecer os principais compartimentos do navio, bem como alguns equipamentos hidroceanográficos.



Áreas de coleta de dados batimétricos e de sísmica rasa, em apoio às atividades da LEPLAC, na Margem Equatorial



Dados coletados por meio do Termosalinógrafo-temperatura



Dados coletados por meio do Termosalinógrafo-salinidade



Parte da área de sondagem com imagem em 3D de um monte submarino



NAVIO DE PESQUISA HIDROCEANOGRÁFICO “VITAL DE OLIVEIRA”



NPqHo "Vital de Oliveira"

O NPqHo "Vital de Oliveira", conhecido como "Polvo Hidrográfico" pela sua vasta gama de equipamentos científicos, é uma moderna plataforma móvel de pesquisa no mar capaz de mapear dados da atmosfera, oceano, solo e subsolo marinhos, possibilitando o atendimento das principais demandas da comunidade científica nacional, um melhor conhecimento das riquezas existentes na Amazônia Azul e a ampliação da presença brasileira no Atlântico Sul e Equatorial.

No ano de 2023, o navio deu continuidade à execução do acordo de cooperação firmado entre a Marinha do Brasil, o

Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI), a Petrobras e o Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), realizando 158 dias de mar, divididos em 4 comissões ao longo do ano, em prol dos partícipes.

Entre os dias 26 de janeiro e 24 de março, foi realizada a Comissão Comitê Gestor I /2023, que proporcionou, além da coleta de dados científicos de interesse do SGB-CPRM e da MB, o apoio à operação de equipamentos específicos, como o conjunto perfilador Sparker-Streamer, em atendimento às demandas da comitiva do MCTI, ampliando, portanto, o espectro de capacidades do navio.



No período entre os dias 27 e 30 março, foi realizado o evento operativo EQMAN I/2023, concebido, prioritariamente, para a qualificação das EQMAN/CRASH do NPo "Almirante Maximiano", NApOc "Ary Rongel" e NHoF "Almirante Graça Aranha". Por oportuno, atendeu-se solicitação do EsqdHU-1 por meio do apoio à requalificação de 4 pilotos daquele Esquadrão.

Na sequência, entre 3 de maio e 18 de julho, o navio realizou a comissão Comitê Gestor II/2023, com a realização de atividades científicas nas áreas marítimas do litoral do Rio Grande do Norte e do Amapá. A comissão proporcionou, além da coleta de dados científicos de interesse do SGB-CPRM, da PETROBRAS e do MCTI, o apoio à operação de equipamentos específicos, como a Tow Cam, da Universidade de São Paulo, ampliando o espectro de capacidades do navio.

O navio realizou o seu Período de Manutenção Atracado (PMA), entre 10 de agosto e 9 de outubro, no qual envidou esforços para as revisões dos sistemas e equipamentos de bordo.

No período de 4 a 7 outubro, o navio realizou a comissão Ciclo Pós-PM, que marcou o retorno do navio ao Setor Operativo. Permitiu criar a necessária confiabilidade nos sistemas revisados, identificar falhas em serviços que já haviam sido finalizados, além de incrementar o adestramento da tripulação nas áreas de hidrografia e oceanografia. Além disso, permitiu realizar testes de vibração cujos parâmetros serão de extrema importância para os próximos períodos de manutenção e avaliação prévia dos serviços que serão realizados.

Após intensa e complexa rotina de manutenções do PMA e realização de Ex-

periência de Máquinas, o H-39 foi aprovado para operações no mar com aeronaves em Vistoria de Segurança de Aviação (VSA) por equipe da DAerM.

Pronto para se fazer ao mar, o Vital de Oliveira realizou a Comissão Comitê Gestor III/2023, entre 1º e 25 de novembro, compreendendo o litoral sudeste, na cordilheira Vitória- Trindade, em atendimento a comitiva representante do MCTI. O navio realizou sondagem com os ecobatímetros multifeixe e aquisição de dados pelo perfilador de subfundo SBP-120. Referente à Oceanografia, foram realizadas 39 estações utilizando o conjunto CTD/Rosette, medições em tempo real com o Termossalinógrafo Sea-Bird SBE-21, observações batitermográficas (XBT) e análise da pressão parcial de CO₂ na superfície do mar.

A Comissão Comitê Gestor IV/2023 foi realizada entre 4 e 21 de dezembro, na Elevação do Rio Grande, em apoio a comitiva representante da PETROBRAS. Foi realizada aquisição batimétrica por meio de ecobatímetro multifeixe, aquisição de dados pelo perfilador de subfundo, estações oceanográficas utilizando o conjunto CTD/Rosette e coletas geológicas com Box Corer e Gravity Corer, além de medições utilizando o magnetômetro.

Nesta última comissão realizada, o "Polvo Hidrográfico" atingiu a expressiva marca de 664 embarques de pesquisadores provenientes de 44 instituições de pesquisa do país e do exterior, além de 1058 dias de mar navegados em 8 anos de operação.

O desempenho bem-sucedido do NPqHo "Vital de Oliveira" ao longo do ano de 2023 na execução das atividades que lhe foram impostas validou todo o seu potencial científico, ratificando-o como moderna plataforma de apoio à pesquisa nacional.



Navio operando com Aeronave



Adestramento de Homem ao Mar



Navio realizando o lançamento da CTD/Rosette



NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO "AMORIM DO VALLE"



NHo "Amorim do Valle"

No período de 15 a 23 de março de 2023, equipe volante chefiada pelo NHo "Amorim do Valle", realizou o geointerferometria no fundeadouro nº 6 da baía de Guanabara, com emprego de Sonar de Varredura Lateral, utilizando a lancha "ACRUX". A tarefa teve como principal atribuição confirmar a posição do ferro perdido pelo NM "SÃO LUIZ", navio envolvido no Fato da Navegação atinente à Ponte Presidente Costa e Silva.

48

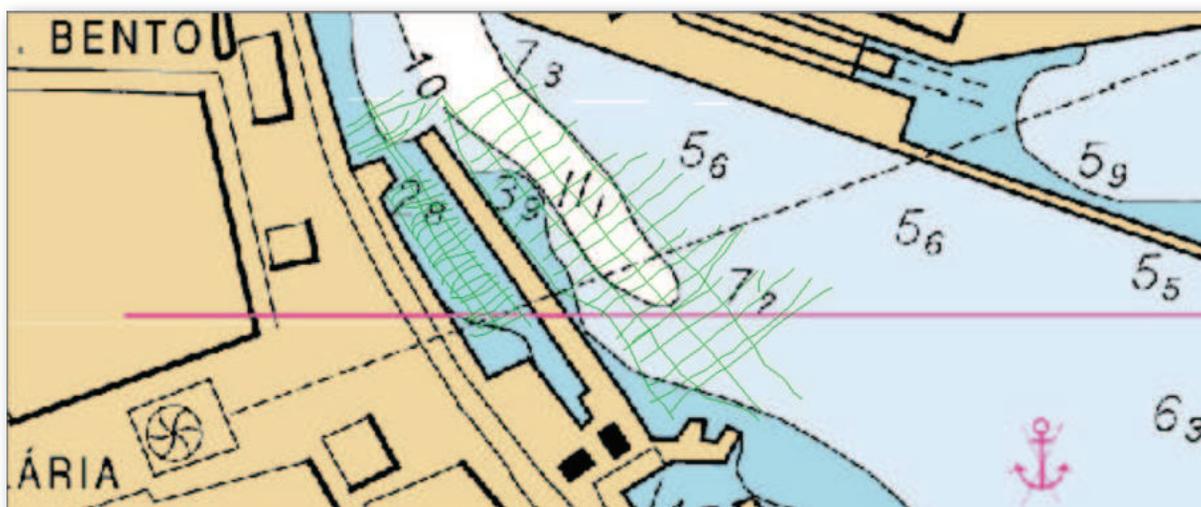
No período 19 de maio a 5 de junho de 2023, equipe volante chefiada pelo NHo "Amorim do Valle", realizou o Levantamento Hidrográfico nas adjacências do Espaço Cultural da Marinha, utilizando a lancha hidrográfica "ACRUX" equipada com o ecobatímetro monofeixe portátil EA-440. As profundidades adquiridas visam notar possíveis alterações, para subsidiar futuras tomadas de decisão quanto à atracação de meios no cais daquele espaço.



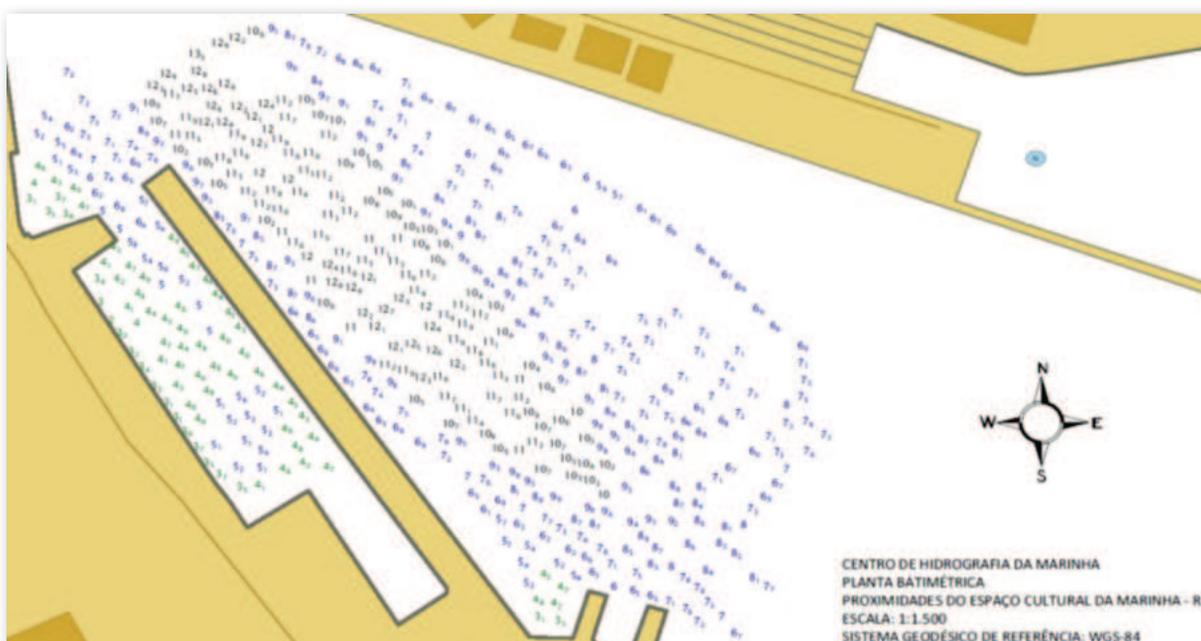
Área onde foi efetuada a varredura visualizada com auxílio do Software Chesapeake SonarWiz5, demarcando-se a posição estimada de contatos



Dispositivo utilizado para rebocar o equipamento



Linhas de sondagem regular e linhas de verificação



Dados de profundidades encontrados na área interna e externa ao cais do Espaço Cultural da Marinha



NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO “TAURUS”



NHo “Taurus”

No período compreendido entre os dias 10 de junho e 21 de novembro de 2023, o NHo “Taurus” realizou a comissão “LH Salvador”, em cumprimento à Instrução Especial (IE) 51213 – LH – 005 -2023, com o objetivo de atualizar a batimetria, feições submarinas e sinais náuticos presentes na região, a fim de criar a Carta Náutica (CN) nº 1111.

Durante a comissão, foram adquiridos dados batimétricos com a utilização do ecobatímetro multifeixe EM-710, em uma área total de 138,1 Km², perfazendo 49 (quarenta e nove) dias de efetiva sondagem.

Os dados maregráficos da estação maregráfica da Capitania dos Portos de Salvador (CPBA) foram fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, além de terem sido obtidos dados do nível do mar por meio de um sensor de pressão posicionado junto a um dispositivo fundeado nas proximidades da boia cardinal sul, ao sul do Banco de Santo Antônio.

Ademais, foram realizados trabalhos de campo na área de geodésia e topografia. Referentes à geodésia, foram realizados 4 (quatro) rastreios estáticos



com receptor GNSS de dupla frequência. Referente à topografia, durante a reocupação da estação maregráfica da CPBA, foi realizado nivelamento geométrico entre a régua maregráfica atinente à ficha de estação maregráfica F-41 40141 – Capitania dos Portos de Salvador (CPBA) e suas erências de nível.

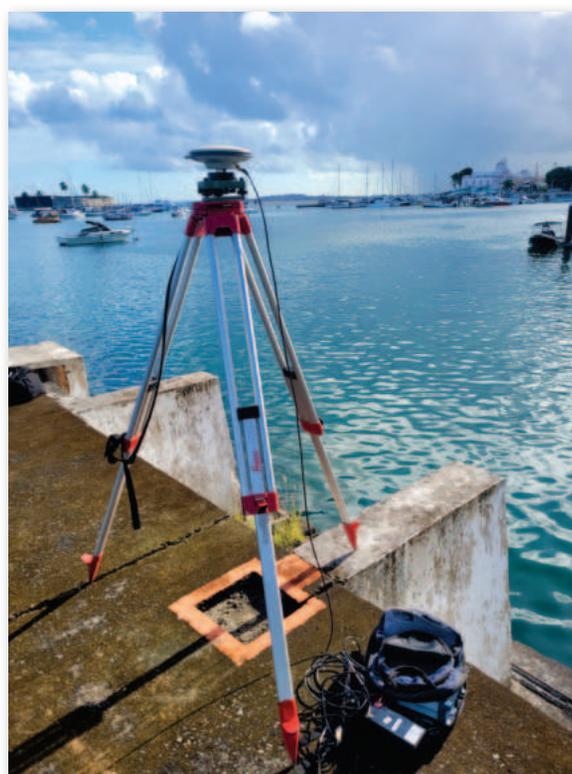
A realização do Levantamento Hidrográfico em lide permitiu a aquisição de elementos que irão subsidiar a criação da CN nº 1111, atendendo ao III Plano Cartográfico Náutico Brasileiro.



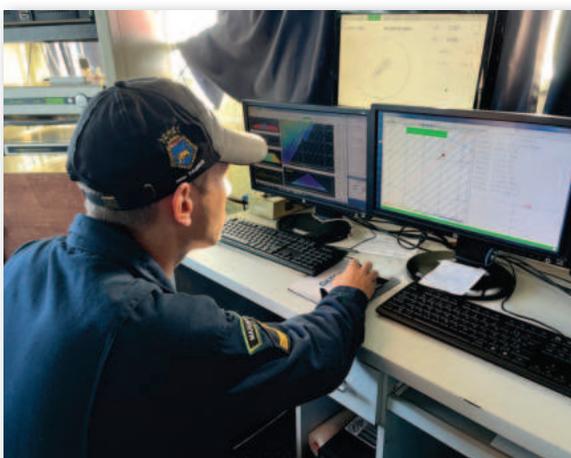
Instalação do Sensor de Pressão



Saída da Baía de Todos os Santos



Rastreio Estático



Aquisição de dados batimétricos



AVISO DE PESQUISA HIDROCEANOGRÁFICO “ASPIRANTE MOURA”



AvPqHo “Aspirante Moura”

Durante o ano de 2023, o AvPqHo “Aspirante Moura” contribuiu para a consecução de demandas de diversas Organizações Militares, servindo como plataforma de pesquisa de dados ambientais, de instrução e de apoio logístico, em cumprimento à sua missão.

Assim, durante o ano, o navio realizou dois Levantamentos Hidrográficos, utilizando ecobatímetro monofeixe, sendo o primeiro nas proximidades do Porto de São Francisco do Sul, na região litorânea

de Santa Catarina, e o segundo na área interna, não navegável, do cais da Base de Submarinos da Ilha da Madeira (BSIM). Em São Francisco do Sul, foi realizada a sondagem de aproximadamente 94 km², com a finalidade de atualizar a batimetria e adquirir elementos para possibilitar a construção da Carta Náutica 1830, em atendimento ao III Plano Cartográfico Náutico Brasileiro. Na BSIM, foram coletados dados batimétricos com o propósito de subsidiar as tarefas da Coordenadoria-Geral do Programa



de Desenvolvimento de Submarino com Propulsão Nuclear (COGESN).

Ademais, o AvPqHo "Aspirante Moura" realizou diversas comissões de Apoio à Instrução (APOINST) do Centro de Instrução Adestramento Almirante Radler de Aquino (CIAARA), servindo como plataforma de apoio logístico e instrucional. Dentre estas, citam-se: práticas de compensação de agulha magnética do Curso de Expedito de Compensação de Agulhas Magnéticas (C-EXP-Ag-Mag/2023) e do Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais; prática de Navegação para o Curso de Especialização em Hidrografia e Navegação para Praças (C-Espc-HN); prática de Oceanografia para o CAHO e para o C-Espc-HN e; o Levantamento Hidroceanográfico de Fim de Curso (LHFC) de 2023. Durante o LHFC, que ocorreu na Baía de Guanabara, foram realizadas, a bordo do navio, atividades práticas de sondagem monofeixe, de sonar de varredura lateral e de amostragem geológica de sedimentos, durante as quais, os alunos do CAHO e do C-Espc-HN, futuros hidrógrafos da Marinha do Brasil, puderam consolidar os conhecimentos obtidos ao longo dos respectivos cursos.

Além disso, o navio prestou apoio ao Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), por ocasião da realização das comissões "Ressurgência V" e "Ressurgência VI", com a aquisição de dados oceanográficos e acústicos a partir do lançamento de CTD, garrafas de Van Dorn, redes de plâncton, amostrador geológico de sedimentos,

ADCP, fontes acústicas e hidrofones, no interior da enseada de Arraial do Cabo e no entorno da Ilha do Cabo Frio. Dessa forma, tais operações contribuíram para a realização de estudos relacionados à Oceanografia Física, Química, Biológica e Acústica em regiões estratégicas para a Marinha do Brasil, os quais subsidiarão o aprimoramento do "Sistema Tático de Dados de Fatores Ambientais" (SFTA) e do "Sistema de Previsão do Ambiente Acústico para o Planejamento das Operações Navais" (SISPRES), além de contribuir para o enriquecimento do "Banco Nacional de Dados Oceanográficos" (BNDO).

Em apoio ao Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), o AvPqHo "Aspirante Moura" foi empregado como plataforma de lançamento e controle de equipamentos autônomos de aquisição de dados hidroceanográficos, quais sejam, um Veículo Autônomo Submarino (AUV) e um Glider, sendo realizados dois lançamentos de cada um dos equipamentos, todos bem sucedidos. Adicionalmente, foi realizado, ainda como apoio àquele Centro, o lançamento de uma boia meteoceanográfica TRIAXYS nas proximidades de Arraial do Cabo-RJ.

Por fim, o navio prestou auxílio, ao Centro de Auxílios à Navegação Almirante Moraes Rego (CAMR), realizando reabastecimentos de óleo diesel marítimo e traslado de pessoal e material ao Radiofarol Rasa e Farol Castelhanos, contribuindo, assim, para a manutenção da operacionalidade destes faróis e, conseqüentemente, para a segurança da navegação nas respectivas áreas.



LH BSIM



Alunos do C-Espc-HN realizando prática de navegação astronômica em comissão de Apoio à Instrução do CIAARA



Alunos do CAHO e Oficiais do AvPqHo "Aspirante Moura" durante o LHFC



Equipe de lançamento e controle do AUV REMUS-100



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



Meios subordinados ao CHN-4

Os meios subordinados ao Centro de Hidrografia e Navegação do Norte (CHN-4) cumpriram todas as comissões previstas no Plano de Trabalho de Hidrografia de 2023. Ao longo do ano, foram percorridas 22.000 milhas náuticas, com cerca de 8.325 Km² de área sondada.

O CHN-4 publicou as novas edições das Cartas Náuticas nº 4023A – Paraná de Santa Rita e a nº 221 – Barra Norte do Rio Amazonas e as Novas Cartas nº 4020 – Da

Ilha do Ituqui a Arapixuna e nº 222 – Do Canal Grande do Curuá à Baía de Macapá e atualizou 5 cartas por meio de 17 partes de bacalhaus. Os trabalhos também incluíram 44 inspeções realizadas, sendo restabelecidos/manutenidos 16 sinais fixos e 13 sinais flutuantes.

Participaram dos levantamentos o NHo “Garnier Sampaio”, o NHIB “Tenente-Castelo”, os AvHoFlu “Rio Tocantins” e o “Rio Xingu”, além do AvB Denébola.



NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO "GARNIER SAMPAIO"



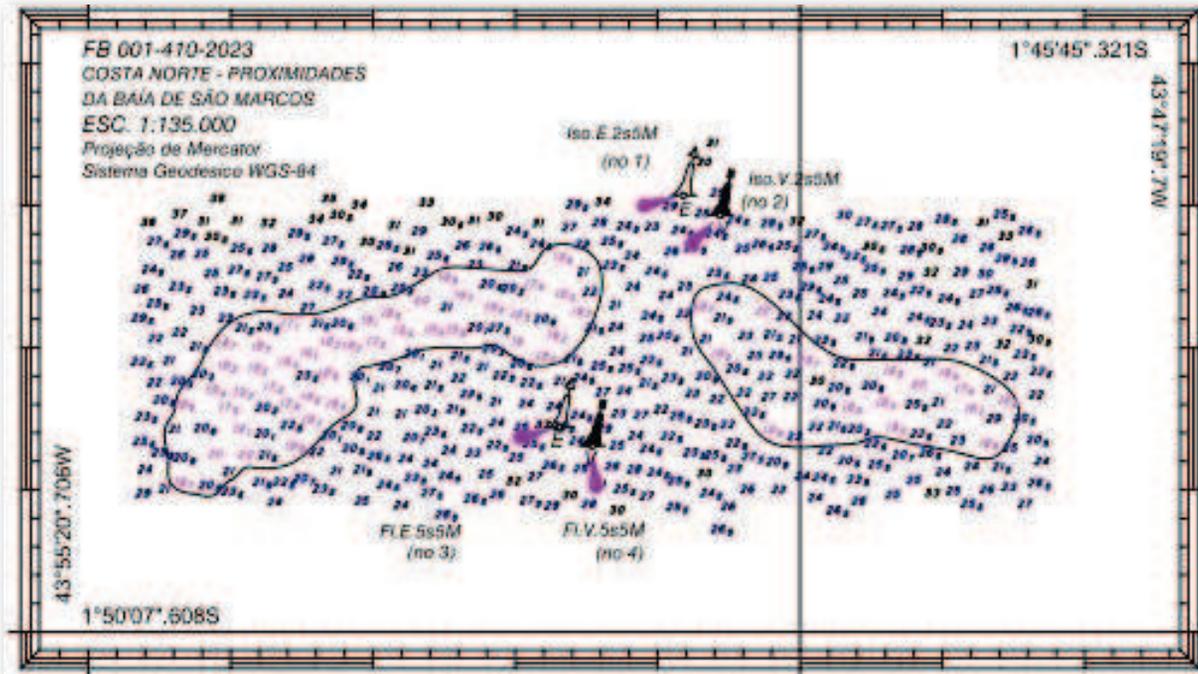
NHo "Garnier Sampaio"

Levantamento Hidrográfico na Baía de São Marcos-MA

O NHo "Garnier Sampaio" e o NHiB "Tenente Castelo" realizaram, entre os dias 13 de abril a 5 de maio de 2023, levantamentos hidrográficos na Baía de São Marcos-MA.

Os levantamentos hidrográficos

coletaram dados importantes para atualização das Cartas 410 – Proximidades da Baía de São Marcos e da Carta 21600 – Da Ilha Maiaú à Tutóia, abrangendo um total de 40 km² de área sondada.



Sondagem realizada com ecobatímetro monofeixe EA-400

Levantamento Hidrográfico no “Portal da Amazônia”

O NHo “Garnier Sampaio” realizou, entre os dias 16 de novembro a 10 de dezembro de 2023, levantamento hidrográfico no Canal Grande do Curuá.

O levantamento hidrográfico coletou dados importantes para atualização das Cartas 202 e 221 atendendo as demandas do setor aquaviário para atualização das profundidades da foz do rio Amazonas.



Levantamento Hidrográfico no “Portal da Amazônia”



NAVIO HIDROGRÁFICO BALIZADOR “TENENTE CASTELO”



NHiB “Tenente Castelo”.

Campanha de conscientização

O NHiB “Tenente Castelo” realizou de 25 de janeiro a 16 de fevereiro campanhas educativas às populações ribeirinhas do rio Amazonas.

Os temas abordados foram: antivandalismo dos sinais náuticos, segurança da navegação, prevenção de acidentes comuns na região, tais como, escarpelamento, afogamento e colisões entre pequenas embarcações e prevenção à poluição hídrica. Ademais, em apoio ao Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT), foram realizadas inspeções nas Instalações Portuárias de Pequeno Porte (IP4)

nas localidades de Mosqueiro, Abaetetuba, Cametá e Santarém, todas no estado do Pará.



Palestra em São Sebastião da Boa Vista-PA



Levantamentos Hidrográficos

O NHiB “Tenente Castelo” efetuou os seguintes levantamentos hidrográficos em 2023:

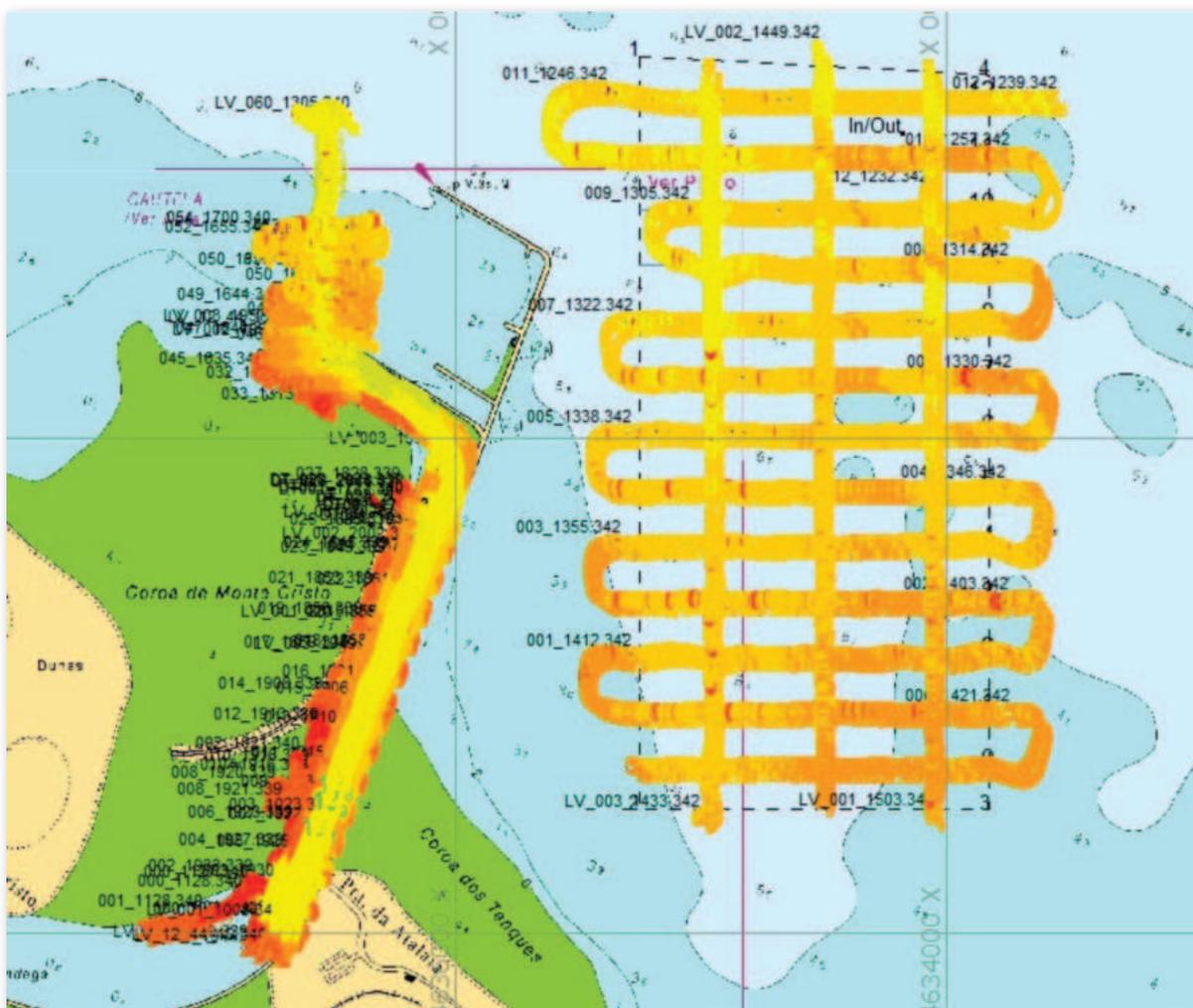
- entre os dias 28 de agosto a 23 de setembro, entre a foz do rio Xingu à Ilha de Ituquara-PA, no rio Amazonas.

- entre os dias 17 de maio a 6 de julho, entre Prainha e Almeirim, no rio Amazonas.

- entre os dias 30 de novembro a 10 de dezembro, no canal de acesso ao porto de Luís Correia-PI. A realização da sondagem batimétrica pelo NHiB “Tenente Castelo”

permitiu a navegação no canal de acesso ao porto de Luís Correia, após a realização de uma dragagem.

Os levantamentos hidrográficos subsidiaram informações para atualização das Cartas Náuticas nº 244, 515, 4101B, 4102A, 4102B, 4103A e 4343B, em vigor, e dados para as próximas novas edições das Cartas Náuticas nº 4014, 4015, 4016, 4017, 4018, 4113, 4114, 4115 e 4349 do III Plano Cartográfico Náutico Brasileiro (III PCNB), com o fito de incrementar a segurança da navegação.



Sondagem realizada em Luís Correia-PI



AVISO HIDROCEANOGRÁFICO FLUVIAL "RIO XINGU"



AvHoFlu "Rio Xingu"

Campanha de conscientização

O AvHoFlu "Rio Xingu" realizou entre os dias 6 e 27 de março de 2023 campanhas educativas às populações ribeirinhas do rio Amazonas.

Os temas abordados foram: antivan-dalismo dos sinais náuticos, segurança da navegação, prevenção de acidentes comuns na região, tais como, escalpelamento, afo-

gamento e colisões entre pequenas embarcações e prevenção à poluição hídrica. Ademais, em apoio ao Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT), foram realizadas inspeções nas Instalações Portuárias de Pequeno Porte (IP4) nas localidades de Mosqueiro, Abaetetuba, Cameté e Santarém, todas no estado do Pará.



Levantamentos Hidrográficos

O AvHoFlu “Rio Xingu”, subordinado ao Centro de Hidrografia e Navegação do Norte, efetuou os seguintes levantamentos hidrográficos em 2023:

- entre os dias 19 de abril a 2 de junho de 2023, com apoio do AvB Denébola, levantamento hidrográfico monofeixe de Mocajuba-PA à foz do rio Tocantins.

- entre os dias 26 de junho a 11 de agosto de 2023, com apoio do AvB Denébola, levantamento hidrográfico monofeixe, entre a foz do rio Tocantins e o município de Barcarena-PA.

- entre os dias 6 de novembro a 22 de dezembro de 2023, levantamento hidrográfico monofeixe entre Almeirim-PA à foz do rio Jari.

Os levantamentos hidrográficos subsidiaram informações para atualização das Cartas Náuticas nº 304, 305, 321, 4101B, 4102A, 4211, 4361, 4362 e 4363, em vigor, e dados para as próximas novas edições das Cartas Náuticas nº 4014, 4015, 4016, 4115, 4511 do III PCNB, com o fito de incrementar a segurança da navegação.



AVISO HIDROCEANOGRÁFICO FLUVIAL “RIO TOCANTINS”



AvHoFlu “Rio Tocantins”

Sondagem monofeixe nas proximidades da Ilha do Marajó

O AvHoFlu “Rio Tocantins”, com apoio do AvB Denébola, efetuou, entre os dias 10 de fevereiro a 16 de abril de 2023, levantamentos hidrográficos nos rios Pará, Amazonas e região dos estreitos, na Ilha do Marajó (PA).

Os levantamentos hidrográficos tiveram como fim a incrementação da segurança da navegação e aquisição de dados para as próximas novas edições das Cartas Náuticas nº 4347, 4348, 4349, 4350, 4114 e 4113, constantes no III Plano Cartográfico Náutico Brasileiro.

Campanha de conscientização

O AvHoFlu “Rio Tocantins” efetuou, nos períodos de 24 de abril a 15 de maio e de 5 de junho a 6 de julho de 2023, campanhas educativas às populações ribeirinhas com os temas sobre antivandalismo dos sinais náuticos, segurança da navegação, prevenção de acidentes comuns na região, tais como, escarpelamento, afogamento e colisões entre

pequenas embarcações e prevenção à poluição hídrica. Ademais, em apoio ao Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT), foram realizadas inspeções nas Instalações Portuárias de Pequeno Porte (IP4) nas localidades de Mosqueiro, Abaetetuba, Cametá, Monte Alegre e Santarém, todas no estado do Pará.



AVISO BALIZADOR DENÉBOLA

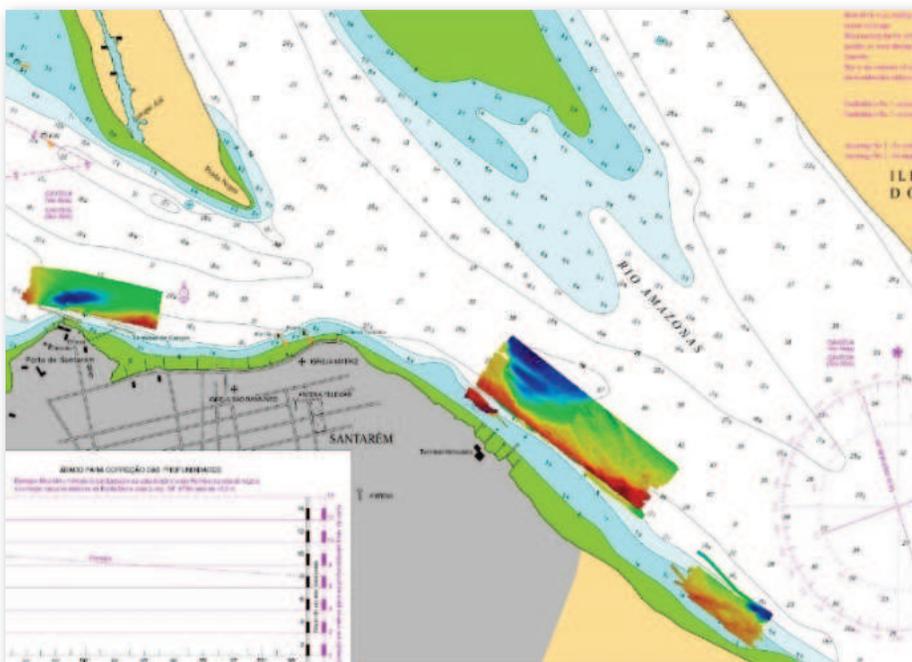


AvB Denébola

Sondagem MULTIFEIXE no rio Amazonas

O AvB Denébola efetuou, entre os dias 15 de junho a 2 de julho de 2023, levantamento hidrográfico multifeixe nos trechos críticos entre Juruti-PA e Santarém-PA, no rio Amazonas.

Esse levantamento com dados de multifeixe subsidiou informações para atualização das Cartas Náuticas nº 4020A e 4103B; a publicação da nova edição da Carta Náutica nº 4020 e forneceu dados para construção da próxima nova edição da Carta Náutica nº 4541 do III PCNB, com o fito de incrementar a segurança da navegação.



Área levantada com multifeixe EM2040P

Reconstrução dos Faróis Taipu e Caeté

No período de 4 a 14 de abril de 2023, o Centro de Hidrografia e Navegação do Norte realizou a reconstrução do farol Taipu e no período de 1 a 11 de agosto de 2023, a reconstrução do farol Caeté. Estes feitos contribuíram para o incremento da

segurança da navegação para o navegante que demanda do oceano em direção à região de Bragança e o canal do Espadarte, principal acesso à Baía do Marajó para os navios que operam nos portos de Belém e de Vila do Conde.



Reconstrução do Farol Taipu



Reconstrução do Farol Caeté



CENTRO DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO DO OESTE (CHN-6)

AVISO HIDROCEANOGRÁFICO FLUVIAL “CARAVELAS”



AvHoFlu "Caravelas" navegando no Rio Paraguai

Levantamento Hidrográfico – Cáceres

No período de 23 de janeiro a 3 de março, o AvHoFlu “Caravelas” realizou o Levantamento Hidrográfico (LH) Cáceres, na região do Tramo Norte do Rio Paraguai, compreendido entre Ladário-MS e Cáceres-MT. Os dados adquiridos serviram como subsídios

para a atualização cartográfica de 39 Cartas Náuticas, além de proporcionar a adequação dos auxílios à navegação condizente aos aspectos atuais da região, que sofre alterações significativas devido à dinâmica sazonal da bacia do rio Paraguai.



Levantamento Hidrográfico – Sondope

Durante o período de 24 de abril a 16 de junho o AvHoFlu “Caravelas” realizou a Comissão hidrográfica “SONDOPE 2023”, fruto de um acordo bilateral entre os governos do Brasil e do Paraguai. Tal acordo visa contribuir para a realização de serviços hidrográficos, sobretudo nas áreas cartografadas no trecho exclusivamente paraguaio da Hidrovia Paraguai-Paraná (HPP).

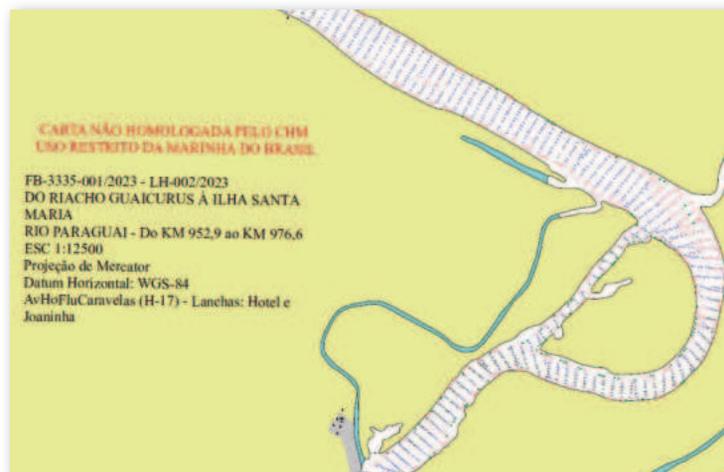
Em águas nacionais e estrangeiras, entre as cidades de Porto Murtinho no Brasil e Assunção no Paraguai, foram coletados dados geoespaciais para a atualização/construção de 10 cartas náuticas, previstas no III

Plano Cartográfico Náutico Brasileiro, totalizando 129,6 Km² de área sondada.

Além de contribuir para a segurança da navegação e salvaguarda da vida humana no rio, a SONDOPE ainda promove o estreitamento de laços e integração com o país vizinho. Ademais, durante o período em que esteve atracado em Assunção, o AvHoFlu “Caravelas” recebeu a visita do Embaixador do Brasil no Paraguai, do Adido Naval no Paraguai e autoridades da Armada e do Governo Paraguaio, as quais puderam observar de perto a importante missão desempenhada pelo navio.



Visita do Embaixador do Brasil no Paraguai e autoridades paraguaias ao AvHoFlu "Caravelas" durante a estadia no Porto de Assunção, Paraguai



Folha de Bordo produzida durante o LH SONDOPE.

Estabelecimento das Réguas da Estação Fluviométrica em Forte Coimbra-MS – ADECOM

Em proveito da comissão ADECOM, no período de 4 a 8 de julho de 2023, o AvHoFlu “Caravelas” estabeleceu novas réguas da Estação Fluviométrica em Forte Coimbra-MS, localizada no Pelotão Especial de Fronteira de Forte de Coimbra, a fim de permitir leituras

diárias do nível do rio, para a divulgação dos dados e preservação da sua série histórica, sendo estes dados imprescindíveis para realização de Levantamentos Hidrográficos. Tais ações contribuem para o incremento da segurança da navegação na Hidrovia Paraguai-Paraná.



Levantamento Hidrográfico – Murtinho

Em cumprimento ao Plano de Trabalho de Hidrografia (PTHidro), durante os meses de agosto e setembro, o AvHoFlu “Caravelas” realizou o Levantamento Hidrográfico (LH) Murtinho. Após 32 dias de comissão,

foram coletados dados geoespaciais no trecho entre Ladário-MS e Porto Murtinho-MS, que subsidiaram a atualização cartográfica das Cartas Náuticas 3355, 3356, 3357, 3358, 3360 e 3362, totalizando uma área de 58,3 Km².



Lancha Hidrográfica Hotel realizando coleta de dados hidrográficos



LANCHA BALIZADORA DE ÁGUAS INTERIORES (LBAI) PIRACEMA

Comissão Tamengo

No período de 21 a 30 junho, a Lancha Balizadora de Águas Interiores Piracema realizou a Comissão Tamengo 2023, resultado de um acordo estabelecido em 2013 entre a Marinha do Brasil e a Armada da Bolívia, sendo realizada a cada dois anos. Seu principal objetivo é obter dados batimétricos essenciais para atualizar documentos náuticos no Canal do Tamengo e na Lagoa Cáceres, além de realizar a manutenção dos auxílios à navegação na região.

Em proveito da comissão, militares da Armada Boliviana embarcaram nas lanchas de sondagem, para realizar a aquisição batimétrica, bem como puderam acompanhar o processamento dos dados e a metodologia para confecção das Folhas de

Bordo, ambos realizados nas dependências do CHN-6. Todos os dados ambientais coletados durante a comissão foram disponibilizados ao Serviço Nacional de Hidrografia Naval da Bolívia, possibilitando a atualização da Carta Náutica H-2100 “Canal Tamengo”, de responsabilidade daquela Organização Militar boliviana.

A Comissão Tamengo não apenas contribui para o aumento da confiança mútua, mas também fomenta o intercâmbio de conhecimentos e fortalece os laços de amizade e cooperação entre as duas Marinhas. Essa parceria é crucial para melhorar a interoperabilidade entre as Forças Navais, promovendo a segurança e eficiência da navegação.



LBAI Piracema no Canal Tamengo



Intercâmbio de conhecimento nas dependências do CHN-6

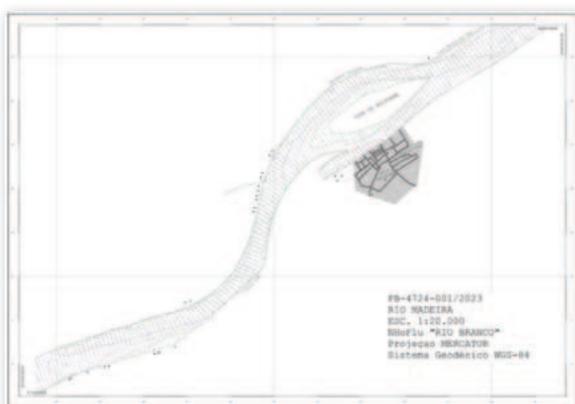


CENTRO DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO DO NOROESTE (CHN-9)

NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO FLUVIAL "RIO BRANCO"



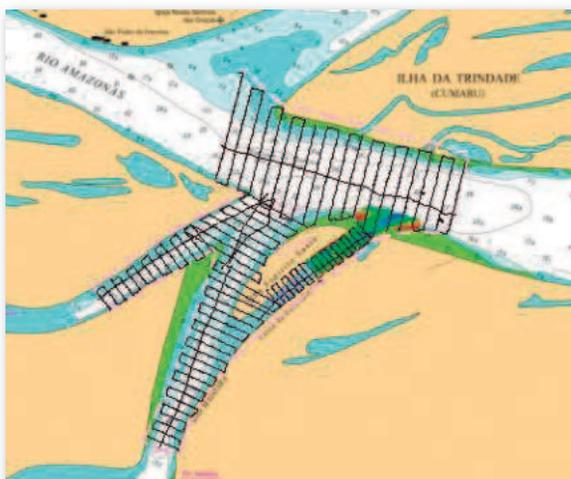
NHoflu "Rio Branco"



Levantamento Hidrográfico Madeira II

LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO MADEIRA II

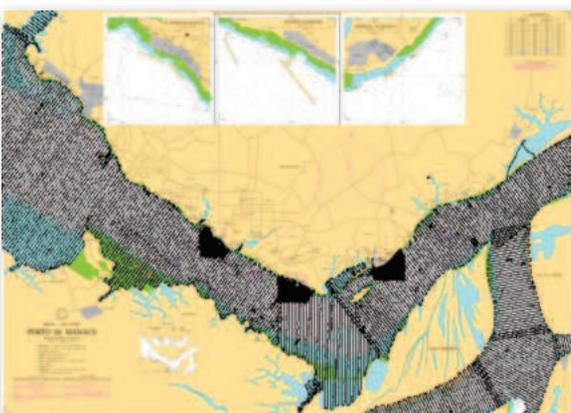
No período de 1 a 27MAR2023, foi realizado o levantamento hidrográfico monofeixe na calha do rio Madeira, no trecho compreendido entre Novo Aripuanã e o Porto Itapemina, com o propósito de gerar subsídios para a atualização das cartas náuticas nº 4724, 4725 e 4726, totalizando 126,04 km² de área sondada e perfazendo um total de 27 dias de mar.



Comissão PRO AMAZÔNIA AZUL I

PRO AMAZÔNIA AZUL I

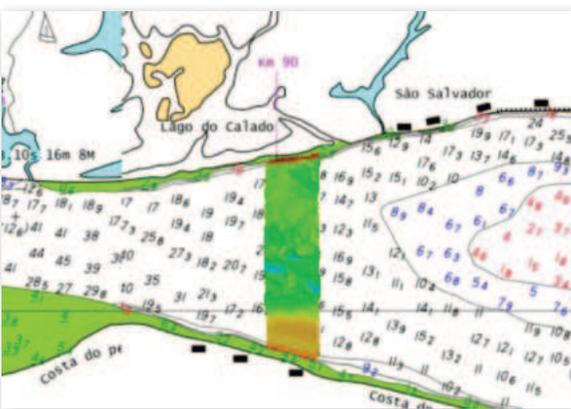
No período de 16 a 30 de maio de 2023 foi realizada a Comissão PRO AMAZÔNIA AZUL I, em atendimento ao PRO AMAZÔNIA AZUL da SECIRM. Esse levantamento teve como propósito apoiar a pesquisa da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) com a aquisição de dados de batimetria monofeixe, multifeixe e direção e intensidade da corrente do rio por ADCP de modo a ampliar o entendimento das modificações hidrogeomorfológicas na região da Passagem do Tabocal e foz do rio Madeira. Em proveito, também foi realizada a compensação da agulha magnética do navio. No total, foram computados 15 dias de mar e 54 Km² de área sondada.



Levantamento Hidrográfico Amazonas I

LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO AMAZONAS I

No período de 4 de julho a 12 de agosto de 2023, foi realizado o levantamento hidrográfico monofeixe do Porto de Manaus, no trecho compreendido entre a foz do rio Tarumã-Açu, no Rio Negro, até a Costa Puraquequara, no Rio Amazonas, abrangendo também o trecho da foz do Rio Solimões. Essa comissão teve como propósito gerar subsídios para a atualização da carta náutica nº 4032A e respectivos planos, totalizando 188 Km² de área sondada e perfazendo 40 dias de mar.



Comissão PRO AMAZÔNIA AZUL II

PRO AMAZÔNIA AZUL II

No período de 24 de agosto a 5 de setembro de 2023, foi realizada a Comissão PRO AMAZÔNIA AZUL II, em atendimento ao PRO AMAZÔNIA AZUL da SECIRM. Esse levantamento teve como propósito apoiar o 19º Curso Internacional de Medição em Grandes Rios, realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA), por meio da sondagem multifeixe da calha do rio Solimões em trecho localizado a jusante de Manacapuru-AM, totalizando 2,6 Km² de área sondada, perfazendo um total de 12 dias de mar.



Levantamento Hidrográfico Madeira-Amazonas (trechos críticos)

LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO MADEIRA /AMAZONAS (TRECHOS CRÍTICOS)

No período de 5 de setembro a 18 de novembro de 2023, foi realizado levantamento hidrográfico monofeixe em trechos críticos à navegação compreendidos, no rio Madeira, entre Porto Velho-RO e no rio Amazonas, entre a Passagem do Tabocal e Itacoatiara-AM. Essa comissão teve como objetivo gerar subsídios para atualização das cartas náuticas 4031 e 4032 do rio Amazonas e das cartas 4711 à 4753 do rio Madeira, em trechos específicos que oferecem riscos aos navegantes, especialmente no contexto da seca extrema que assolou a região amazônica. No total, foram computados pouco mais de 581 Km² de área sondada ao longo de 75 dias de mar nessa comissão.

PRO AMAZÔNIA AZUL III

No período de 28 de novembro a 14 de dezembro de 2023 foi realizada a Comissão PRO AMAZÔNIA AZUL III, em atendimento ao PRO AMAZÔNIA AZUL da SECIRM. Esse levantamento teve como propósito apoiar a pesquisa da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) na aquisição de dados de batimetria monofeixe e direção e intensidade da corrente por ADCP, de modo a esclarecer a dinâmica das modificações hidrogeomorfológicas na região da foz do rio Japurá e sua confluência com o rio Solimões, totalizando 34 Km² de área sondada e perfazendo um total de 15 dias de mar.



Comissão Pro Amazônia III



AVISO HIDROCEANOGRÁFICO FLUVIAL "RIO NEGRO"



AvHoFlu "Rio Negro"



Levantamento Hidrográfico Madeira I

LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO MADEIRA I

No período de 16 de janeiro a 14 de fevereiro de 2023, foi realizado levantamento hidrográfico monofeixe no rio Madeira, no trecho compreendido entre Vila Belmonte-AM e a Enseada do Manivão-AM, a fim de gerar subsídios para a atualização das cartas náuticas 4727, 4728 e 4729. Nesta comissão, foram adquiridos dados de 35MN da calha do rio, totalizando uma área de 139,42 km² sondados e perfazendo 30 dias de mar.



Levantamento hidrográfico nos rios Amazonas e Madeira - trecho compreendido entre Itacoatiara (AM) e Novo Remanso (AM)

LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO “TRECHO CRÍTICO AMAZONAS”

No período de 18 de agosto a 8 de setembro de 2023, foi realizado levantamento hidrográfico monofeixe nos rios Amazonas e Madeira, no trecho compreendido entre Itacoatiara-AM e Novo Remanso-AM, em atendimento à Capitania Fluvial da Amazônia Ocidental e à Associação Brasileira dos Armadores de Cabotagem, gerando subsídios para atualização da carta náutica 4030. Nesta comissão, foram adquiridos dados de 50MN da calha do rio, totalizando uma área de 315,6 km² sondados eperfazendo 21,5 dias de mar.



Farolex Amazonas II

FAROLEX AMAZONAS II

No período de 20 a 29 de outubro de 2023, foi realizada a manutenção do Farolite Porto Equador, localizado no rio Amazonas entre Itacoatiara-AM e Parintins-AM. A comissão teve como propósito a manutenção do Índice de Eficácia do Comando do 9º Distrito Naval e atender as demandas de caráter emergencial da estiagem no Estado e o baixo nível dos rios.



Levantamento Hidrográfico Solimões II

LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO SOLIMÕES II

No período de 1 de novembro a 15 de dezembro de 2023, foi realizado levantamento hidrográfico monofeixe no rio Solimões, no trecho compreendido entre a Ilha Tarará-AM e Ilha Caeté-AM, a fim de gerar subsídios para a construção das cartas náuticas 4065 e 4066. Nessa comissão, foram adquiridos dados de 95MN da calha do rio, totalizando uma área de 589,56 km² sondados eperfazendo 45 dias de mar.



Levantamento Hidrográfico negro I

LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO NEGRO I

Nos períodos de 14 e 17 de agosto, 10 a 30 de setembro e 17 a 23 de dezembro de 2023, foi realizado levantamento hidrográfico monofeixe no rio Negro, no trecho compreendido entre Novo Airão-AM e as proximidades da foz do rio Unini, a fim de gerar subsídios para a construção das cartas náuticas 4653, 4654 e 4655. Nesta comissão, foram adquiridos dados de 95MN da calha do rio, totalizando uma área de 517,83 km² sondados e percorrendo 31 dias de mar.

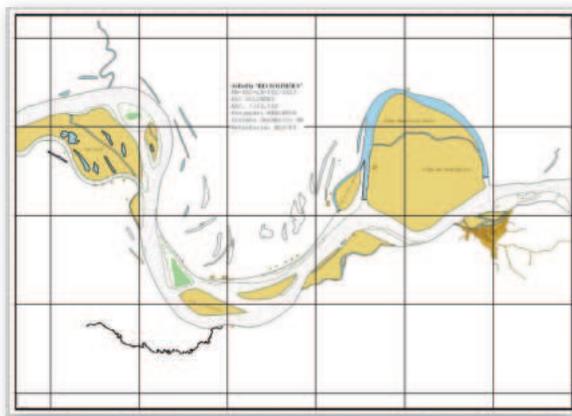


AVISO HIDROCEANOGRÁFICO FLUVIAL "RIO SOLIMÕES"



AvHoFlu "Rio Solimões"

LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO SOLIMÕES I



Levantamento Hidrográfico Solimões I

No período de 16 de fevereiro a 6 de abril de 2023 foi realizado levantamento hidrográfico monofeixe na calha do Rio Solimões, com o intuito de atualizar as cartas náuticas nº 4063 e 4064 e, em proveito, realizou manutenção dos faroletes Manacapuru e Barro Alto, localizados no rio Solimões. Nessa comissão foram adquiridos dados de 77,2 milhas náuticas da calha principal do rio, totalizando uma área de 320,11 km² sondados, perfazendo 50 dias de mar.



Levantamento Hidrográfico Rio Negro II

LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO NEGRO II

No período de 19 de junho a 11 de setembro 2023, foi realizado levantamento hidrográfico monofeixe na calha do Rio Negro, com o intuito de atualizar as cartas náuticas nº 4656, 4657, 4658, 4659 e 4660. Nessa comissão, foram adquiridos dados de 135 milhas náuticas da calha principal do rio, totalizando uma área de 1.085,00 km² sondados, perfazendo 85 dias de mar.



Sinalização emergencial e manutenção de auxílio à navegação

SINALIZAÇÃO EMERGENCIAL E FAROLEX AMAZONAS I

Nos períodos de 3 a 23 de outubro de 2023 e 27 de outubro a 15 de novembro de 2023, durante a seca histórica do rio Amazonas, o navio estabeleceu, de forma provisória, sinais nos trechos críticos na foz do rio Madeira e realizou manutenção dos Faroletes Jacaré e Moronas no rio Amazonas, contribuindo para a segurança da navegação.



SERVIÇO DE SINALIZAÇÃO NáUTICA DO LESTE (SSN-2)

NAVIO HIDROGRÁFICO BALIZADOR “TENENTE BOANERGES”

No período de 25 de janeiro a 2 de fevereiro de 2023, na área de jurisdição do Comando do 2º Distrito Naval, o Navio Hidrográfico Balizador “Tenente Boanerges”, meio subordinado ao Serviço de Sinalização Náutica do Leste, realizou a comissão ABROLHOS I.

Tal comissão teve como propósito apoiar o Rádio Farol de Abrolhos, localizado na Ilha de Santa Bárbara, cujos lampejos, aliados a outros equipamentos de auxílios à navegação, não apenas sinalizam os perigos à navegação na área do Arquipélago de Abrolhos, mas também remontam sua relevância histórica, que desde o ano de 1862 trazem segurança aos que navegam naquelas águas.

Durante a comissão, foi realizado o reabastecimento da Ilha de Santa Bárbara com combustível, uma vez que a energia elétrica da ilha é produzida por meio de um grupo motor-gerador, além

de sobressalentes de sinalização náutica e materiais diversos. Em proveito, foram realizados adestramentos sobre o Plano de Emergência Individual (PEI) e o Plano de Emergência de Navio para Poluição por Óleo (PENPO) aos militares da guarnição do Rádio Farol e do navio.



NHiB "Tenente Boanerges"



Faina de transferência de óleo combustível para a Ilha de Santa Bárbara



Radio Farol de Abrolhos- Ilha de Santa Bárbara



SERVIÇO DE SINALIZAÇÃO NÁUTICA DO NORDESTE (SSN-3)

NAVIO HIDROGRÁFICO BALIZADOR "COMANDANTE MANHÃES"



NHiB "Comandante Manhães"

O NHiB "Comandante Manhães" tem a missão de apoiar nas tarefas de implementação, operação, manutenção, instalação ou desativação e fiscalização de sinais de auxílios à navegação de responsabilidade do Serviço de Sinalização Náutica do Nordeste

(SSN-3), a fim de contribuir para a segurança da navegação na área do 3º Distrito Naval. Além das referidas fainas nos auxílios à navegação, ainda presta apoio às atividades de pesquisa e logística na Estação Científica do Arquipélago São Pedro e São Paulo (ECASPSP).



Manutenção do Farol de São Pedro e São Paulo



Verificação da situação da lanterna do Farol Fernando de Noronha

Entre os dias 10 e 23 de março de 2023, o navio realizou uma comissão em apoio à ECASPSP e no Arquipélago Fernando de Noronha, concluindo diversas atividades. As principais ações incluíram

a manutenção do Farol Arquipélago São Pedro e São Paulo, a substituição do píer da ECASPSP, a pintura das instalações da ECASPSP e a manutenção preventiva do Farol Fernando de Noronha e do Farol Rata.



Marégrafo instalado no píer do Comando do 3º Distrito Naval



Entre os dias 19 e 30 de junho de 2023, foi instalada, pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) com apoio do Serviço de Sinalização Náutica do Nordeste (SSN-3), uma Estação Maregráfica Permanente no

Pier do Comando do 3º Distrito Naval. A referida estação visa fornecer dados precisos e contínuos sobre o monitoramento das variações do nível do mar nas proximidades do Porto de Natal-RN.



Lançamento de boia encarnada na bacia de manobra



Lançamento de boia verde na bacia de manobra



Montagem do dispositivo na água no Terminal Saleiro de Areia Branca



Reboque do dispositivo para o local de lançamento

Entre 24 de agosto e 10 de novembro de 2023, foram lançadas duas boias de sinalização náutica na bacia de manobra próxima ao Complexo Naval da Base Naval de Natal (CNBNN). Esse balizamento tem como objetivo estabelecer uma delimitação de área de manobra para os navios, com o intuito de gerenciar e reduzir os riscos associados à navegação no rio Potengi.

Em 19 de outubro de 2023, a bordo do NHIB "Comandante Manhães", nas proximidades da cidade de Areia Branca–RN, foi realizado o lançamento da boia com sistema

anemométrico-meteocenográfico para medição de potencial eólico offshore e variáveis oceânicas do SENAI-RN.

A parceria entre a Marinha do Brasil, por meio do SSN-3 e o SENAI-RN se destacou pela transferência de conhecimento e pela criação de redes de contatos duradouros, principalmente no âmbito das ciências marinhas. Além disso, teve um impacto significativo no avanço da pesquisa e desenvolvimento, bem como no apoio à indústria de energia eólica, trazendo benefícios para a região.



SERVIÇO DE SINALIZAÇÃO NÁUTICA DO SUL (SSN-5)

NAVIO HIDROGRÁFICO BALIZADOR "COMANDANTE VARELLA"

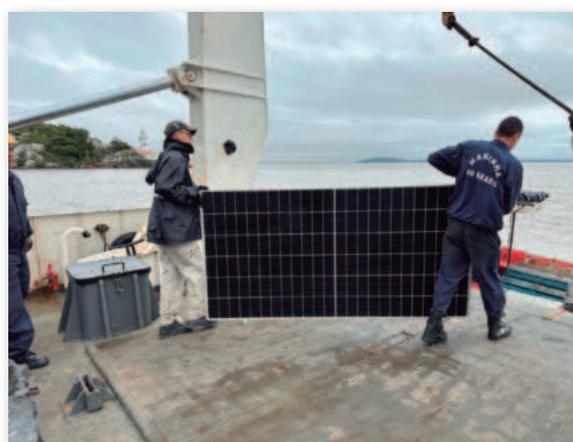
Apoio a farol

Entre os dias 22 de agosto a 3 de setembro, o NHIB "Comandante Varella", realizou inspeção do balizamento, transporte de material e pessoal para o Farol Itapuã da Lagoa, a fim de contribuir para a instalação dos painéis solares que proporcionarão ao Farol maior autonomia de energia elétrica.

O Farol de Itapuã da Lagoa é de responsabilidade do Serviço de Sinalização Náutica do Sul e que, por ser um marco divisório entre as águas do Rio Guaíba e da Lagoa dos Patos, é um importante ponto de sinalização para os pescadores e navegadores que passam por aquelas águas.



Apoio ao Farol de Itapuã da Lagoa



Apoio ao Farol de Itapuã da Lagoa

Restabelecimento de Sinal Náutico

No mês de abril de 2023 o NHiB "Comandante Varella" realizou inspeção na estrutura do Farolete Álvaro Alberto e reestabeleceu o seu sinal náutico que se encontrava inoperante.

Esse importante farolete está situado na Lagoa dos Patos e sinaliza o casco soçobrado do antigo Navio Oceanográfico "Almirante Álvaro Alberto" que naufragou naquela região no ano de 1992.



Reestabelecimento de Sinal Náutico



Farolete "Álvaro Alberto"



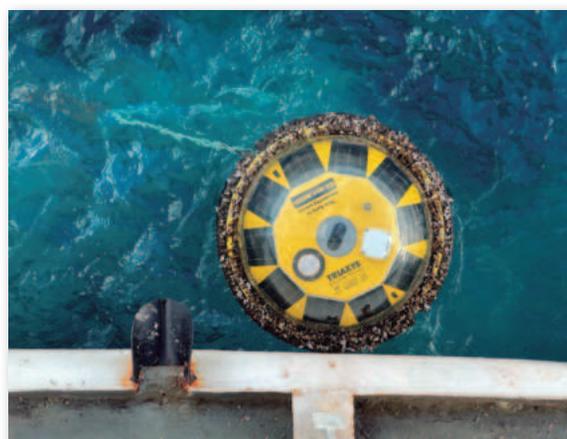
Recolhimento de Boia

Em apoio ao Programa Nacional de Boias (PNBOIA), o navio recolheu uma boia ondográfica que estava à deriva, nas proximidades de Rio Grande-RS, para posterior lançamento em seu local de origem para efeito de monitoramento e previsão do tempo, assim como os fenômenos meteorológicos e oceanográficos e regimes

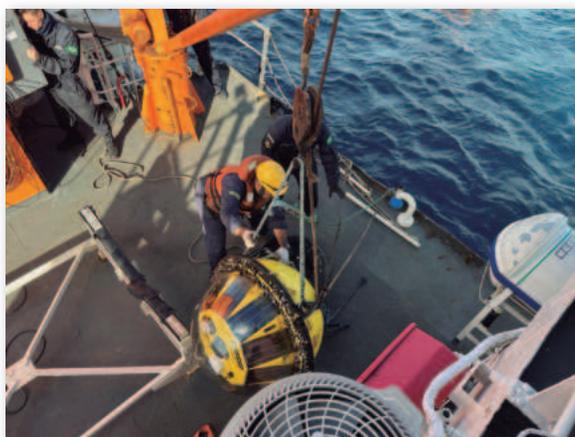
climáticos observados no Brasil. O PNBOIA é parte fundamental da Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica (REMO), que tem por objetivo o desenvolvimento da ciência e tecnologia em oceanografia física, modelagem oceânica, oceanografia observacional e oceanografia operacional com assimilação de dados.



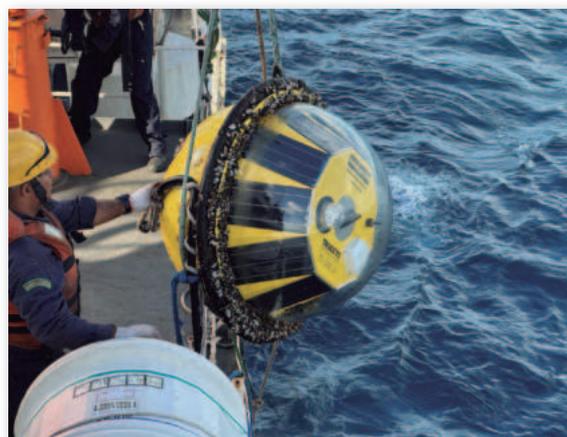
NHiB "Comandante Varela"



Recolhimento de boia ondográfica nas proximidades de Rio Grande-RS



Recolhimento de boia ondográfica nas proximidades de Rio Grande-RS



Recolhimento de boia ondográfica nas proximidades de Rio Grande-RS



SERVIÇO DE SINALIZAÇÃO NÁUTICA DO SUL-SUDESTE (SSN-8)

NAVIO BALIZADOR “FAROLEIRO MÁRIO SEIXAS”



NB “Faroleiro Mário Seixas”

Apoio à Sinalização Náutica em Santos-SP e São Sebastião-SP:

No período de 13 de março a 6 de abril de 2023, o NB “Faroleiro Mário Seixas” realizou inspeções e manutenções nos sinais náuticos no litoral dos estados do Paraná e São Paulo, com ênfase nas áreas de responsabilidade da Capitania dos Portos

de São Paulo (CPSP) e da Delegacia da Capitania dos Portos em São Sebastião (DelS-Sebastiao). Na ocasião, o navio apoiou com transporte de material e assistência técnica de militares especializados em realizar as manutenções, tais como, substituição de



painéis solares, troca de lanternas, reformas estruturais e outros serviços. Foram visitados os auxílios à navegação na Laje de Santos, na Ilha de Alcatrazes, na Laje da Conceição, na Pedra do Corvo, além de verificar a situação operacional diurno e noturno dos balizamentos dos canais de acesso aos portos de Santos-SP e São Sebastião-SP. Dessa forma, as manutenções realizadas elevaram consideravelmente o nível de segurança da navegação em uma das regiões com maior fluxo de embarcações do país.



Laje de Santos

Apoio à manutenção do Farol Conchas:

O NB “Faroleiro Mário Seixas” realizou nos períodos de 8 a 21 de abril, 25 a 28 de abril e 2 a 5 de maio de 2023 apoio para manutenção do Farol Conchas, localizado na Ilha do Mel-PR. Devido ao elevado grau de deterioração das chapas de aço, foi necessária a substituição de algumas peças que compõe a escada de acesso interno do Farol. Construído em 1870, a manutenção desse auxílio à navegação é vital para a segurança da navegação das embarcações que trafegam pelo litoral paranaense.



Manutenção das chapas de aço

Inspeção nos auxílios à navegação da área de jurisdição da Capitania Fluvial do Rio Paraná

Foi realizado no período de 7 a 12 de junho de 2023 uma inspeção nos auxílios à navegação da área de jurisdição da Capitania Fluvial do Rio Paraná (CFRP), sediada em Foz do Iguaçu-PR, onde foi constatado o bom estado de conservação das boias de

sinalização. Na ocasião, foi observado que o balizamento da região vem sendo revitalizado com a supervisão do DNIT e empresa contratada para propor ao usuário maior segurança durante a navegação na Hidrovia Tietê-Paraná.

Instalação do DGNSS no Radiofarol Paranaguá:

No período de 6 a 26 de outubro de 2023 foi instalado com o apoio de um engenheiro da empresa Kongsberg uma estação referência DGNSS (Differential Global Navigation Satellite System), que tem o propósito de determinar um alto grau de precisão de posicionamento do GPS, usando técnicas de levantamento convencionais. Dessa forma, elevou-se significativamente a segurança da navegação para as embarcações que navegam nas proximidades do canal de acesso ao Porto de Paranaguá. Na mesma ocasião, o SSN-8 recebeu a equipe técnica volante de militares do Centro de Auxílios à Navegação Almirante Moraes Rego (CAMR) para efetuar a bienal manutenção do Radiofarol Paranaguá, onde foram realizadas manutenções preventivas na torre de irradiação de 42 m e nos mastros de comunicação de 18 m, além da manutenção do NDB200B da estação rádio e seus equipamentos.



DGNSS instalado no Radiofarol de Paranaguá-PR

Inspeção nos sinais náuticos na área de jurisdição da Capitania Fluvial do Tietê-Paraná:

Foi realizado no período de 6 a 10 de novembro de 2023 uma inspeção nos auxílios à navegação da área de jurisdição da Capitania Fluvial do Tietê-Paraná (CFTP), sediada em Barra Bonita-SP, onde foi constatado o bom estado de conservação das boias de sinalização. Além disso, a

representação de militares do SSN-8 participou de uma reunião com os representantes do Departamento Hidroviário do Estado de São Paulo (DH), órgão responsável pela sinalização náutica da região, onde foram discutidas melhorias a serem implantadas no balizamento da Hidrovia Tietê-Paraná.

VI – ARTIGOS CIENTÍFICOS

CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA ELEVAÇÃO DO RIO GRANDE NO CONTEXTO DO SUBCOMITÊ DE NOMENCLATURA DE FEIÇÕES DO RELEVO SUBMARINO – SCUFN

Primeiro-Tenente (T) Lorena da Fonseca Sampaio¹

Primeiro-Tenente (T) Rafael Toscani Gomes da Silveira²

RESUMO

Este trabalho aborda as formas de relevo submarino da Elevação do Rio Grande (ERG) submetidas ao Subcomitê de Nomenclatura de Feições do Relevo Submarino (SCUFN) da GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Foram oficializadas vinte feições submarinas, a partir da utilização de dados batimétricos do projeto LEPLAC (Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira). Dentre as principais feições, destacam-se: ERG; ERG Leste; ERG Oeste; Canal Vema; Terraço Vema e Lineamento Cruzeiro do Sul. A correta utilização da toponímia submarina e o reconhecimento internacional do relevo da ERG contribuem para a caracterização da fisiografia da margem continental brasileira, auxiliando a segurança da navegação, o fortalecimento da mentalidade marítima e a melhoria na gestão dos recursos marinhos.

¹Oficial do Quadro Técnico graduada em Geologia (UFRJ). Mestrado em Geologia (UFRJ), servindo presentemente no Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Email: lorena.sampaio@marinha.mil.br

²Oficial do Quadro Técnico graduado em Geologia (UnB). Doutorado em Geologia (UnB), servindo presentemente no Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Email: toscani@marinha.mil.br



Palavras-chave: Relevo submarino. SCUFN. Toponímia submarina. Elevação do Rio Grande.

ABSTRACT

This paper discusses the submarine relief features of the Rio Grande Rise (ERG) that were submitted to the Sub-Committee on Undersea Feature Names (SCUFN) of GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) by the Directorate of Hydrography and Navigation (DHN). In total, twenty submarine features related to the ERG were approved by SCUFN, mainly utilizing bathymetric data from LEPLAC (Brazilian Continental Shelf Survey) project. Notable features include: Rio Grande Rise; East Rio Grande Rise; West Rio Grande Rise; Vema Channel; Vema Terrace and Cruzeiro do Sul Rift. Finally, it is worth noting that the correct nomenclature and international recognition of these features significantly contribute to characterizing the Brazilian continental margin and its physiography, promoting navigational safety and enhancing maritime mindset and marine resource management.

Keywords: undersea feature; SCUFN; submarine toponymy; Rio Grande Rise.

1. INTRODUÇÃO

A Elevação do Rio Grande (ERG) é a maior feição topográfica submarina existente na porção oeste do Oceano Atlântico Sul, abrangendo uma área de aproximadamente 400 mil km² e cuja profundidade varia de 500 a 4000 m (Santos, 2022). Sua importância no contexto geológico regional da Margem Oriental/Meridional do Brasil reside, dentre outros fatores, na contribuição para a delimitação da zona oceânica de interesse para a extensão da plataforma continental brasileira.

A incorporação da ERG na Submissão Parcial Revista Brasileira depositada em 2018 a partir do Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira (LEPLAC) junto à Comissão de Limites da Plataforma Continental das Nações Unidas (CLPC) representa um expressivo aumento de área marinha à Amazônia Azul brasileira, ampliando as oportunidades de desenvolvimento científico no que tange à pesquisa no mar, bem como as possibilidades de desenvolvimento econômico nacional.

Desde 1987, o Brasil desenvolve o LEPLAC, por intermédio da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), com o propósito de estabelecer o Limite Exterior da Plataforma Continental Brasileira (no seu enfoque jurídico), conforme estabelecido pela Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (UNCLOS, 1983); isto significa determinar a área marítima, além das duzentas milhas náuticas, na qual o Brasil exerce direitos de soberania para a exploração e o aproveitamento dos recursos naturais do leito e subsolo marinhos. Com os milhares de quilômetros de dados de batimetria monofeixe e multifeixe, adquiridos durante as duas fases do LEPLAC, foi possível conhecer a morfologia do fundo marinho da margem continental; sendo possível mapear e nomear diversas novas feições submarinas; assim como antigas feições puderam ter a sua forma e a sua extensão mais bem definidas.

Nesse contexto, a caracterização dessa área marítima por meio de novos levantamentos hidrográficos para fins cartográficos representa um exercício natural dos direitos de soberania brasileiros. Ademais, a correta utilização da nomenclatura das feições do relevo submarino é fundamental para auxiliar na caracterização e na compreensão da fisiografia submarina, tanto no contexto nacional quanto internacional. Tal prática pode desempenhar um papel significativo enquanto sociedade, servindo como uma ferramenta



que correlaciona o ambiente marinho à cultura, tradição e características de uma região ou povo, fortalecendo, assim, a noção de pertencimento da região em questão.

Nos últimos 18 anos, a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) tem participado ativamente do Subcomitê sobre Nomenclatura de Feições do Relevo Submarino (SCUFN) do Projeto GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans), ocupando, atualmente, uma cadeira como membro efetivo. No âmbito do SCUFN, a DHN colabora tanto com o envio de propostas de nomes para feições do relevo submarino, a partir de novos levantamentos realizados ao longo da Margem Continental Brasileira, quanto na discussão de questões relacionadas ao relevo submarino nos oceanos de todo o mundo, além de participar dos trabalhos de tradução e confecção de documentos normativos da Organização Hidrográfica Internacional (OHI) na língua portuguesa.

Deste modo, o presente trabalho aborda a caracterização da Elevação do Rio Grande a partir da nomeação e descrição das feições do relevo submarino que a povoam. Até o momento, 20 feições do relevo submarino foram submetidas e aprovadas pelo SCUFN relativas a esta notável feição do relevo submarino presente na Margem Continental Brasileira.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A criação do Subcomitê sobre Nomenclatura de Feições do Relevo Submarino da GEBCO em 1975 foi uma resposta à necessidade de estabelecer uma política uniforme para a padronização de nomes geográficos de feições submarinas presentes em todos os oceanos. Tal iniciativa visava garantir que tais nomes fossem consistentemente e corretamente utilizados em

mapas, cartas náuticas e trabalhos científicos. No contexto do Brasil, Jinno (1998) consolidou, pela primeira vez, a partir de três mapas batimétricos regionais, as diversas toponímias do fundo marinho da margem continental brasileira, encontradas em fontes diferentes, de modo a verificar as inconsistências existentes.

Para propor um nome de feição submarina ao SCUFN, é essencial a avaliação da quantidade e qualidade dos dados batimétricos disponíveis sobre a feição submarina em questão. Além disso, é importante consultar o Gazetteer da GEBCO para confirmar se a feição já possui um nome atribuído. Dados de altimetria de satélite não são considerados para esse fim.

Após essa verificação, é recomendado seguir as diretrizes estabelecidas na Publicação B-6 (Padronização dos Nomes das Formas/Feições do Relevo Submarino - IHO Publication B6, 2019) da Organização Hidrográfica Internacional/Comissão Oceanográfica Intergovernamental (OHI/COI), incluindo o preenchimento do Formulário de Proposta de Nome para a Feição Submarina. Por fim, para prosseguir com a submissão do nome proposto, é necessário obter autorização da Autoridade Nacional em Nomes Geográficos do país relevante. No caso do Brasil, o formulário preenchido pode ser enviado diretamente à OHI ou à COI para análise pelos membros do SCUFN (Sampaio & Alberoni, 2022).

Na região da Elevação do Rio Grande, as feições do relevo submarino submetidas ao SCUFN foram baseadas, majoritariamente, em dados batimétricos adquiridos em prol do projeto LEPLAC, os quais foram complementados por informações de domínio público, levantamentos hidrográficos nacionais e dados fornecidos por instituições internacionais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Elevação do Rio Grande é uma feição geomorfológica positiva, localizada na região oceânica adjacente aos estados brasileiros do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a uma distância de aproximadamente

Cruzeiro do sul; 5) Terraço Vema; e 6) Canal Vema, os quais serão mais bem detalhados. Os dados que estão ausentes na tabela tratam de feições historicamente conhecidas, que foram aprovadas por trâmites anteriores à criação do SCUFN e, por isso, sem rastreamento de informações adicionais.

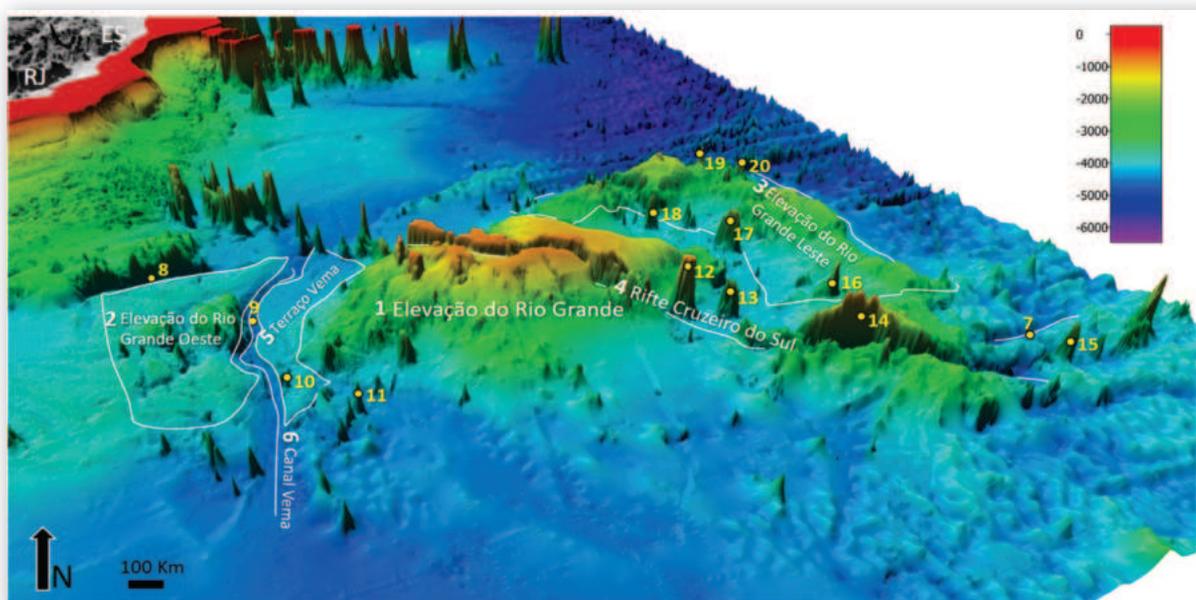


Figura 1 – Modelo digital de terreno da porção Oriental/Meridional da Margem Continental Brasileira. Feições do relevo submarino da ERG oficializadas, atualmente, junto ao SCUFN: 1-Elevação Do Rio Grande; 2-Elevação do Rio Grande Oeste; 3-Elevação do Rio Grande Leste; 4-Rifte Cruzeiro do Sul; 5-Terraço Vema; 6-Canal Vema; 7-Canal Hunter; 8-Canal de São Paulo; 9-Colina Vital de Oliveira; 10-Colina Lupicínio; 11-Gaúcho; 12-Guyot Sirius; 13-Montanha Vital de Oliveira; 14-Cadeia Konstantinov; 15-Montanha Ribas; 16-Montanha Northfleet; 17-Montanha Griep; 18-Montanha Della Fávera; 19-Guyot Sirius; 20-Montanha Hackspacher

1000 km da linha de costa, entre as bacias oceânicas do Brasil e da Argentina. A ERG é caracterizada, ainda, por uma grande quantidade de feições secundárias, como montanhas ou cadeias de montanhas submarinas, guyots, colinas, canais, terraços, entre outros (figura 1).

Foram identificadas e nomeadas 20 feições do relevo submarino na região da ERG que podem ter suas principais características visualizadas na tabela 1, com destaque para as feições: 1) Elevação do Rio Grande; 2) Elevação do Rio Grande Oeste; 3) Elevação do Rio Grande Leste; 4) Lineamento

A ERG foi formalizada junto ao SCUFN como uma feição do tipo “rise”, ou “Maciço/Elevação”, por atender à definição correspondente estabelecida na Publicação B-6, isto é, “Extensa elevação ou alto que em geral ascende suavemente a partir do relevo circundante”. Tal estrutura, consiste em uma protuberância elíptica que se eleva a cerca de 4000 m do fundo marinho e foi afetada por um episódio magmático no Eoceno, dando origem a guyots e montes submarinos, responsáveis pelas altas elevações que alcançam cerca de 500 m de profundidade (Gamboa & Rabinowitz, 1984; Graça, 2018; Santos 2022; Alberoni et al, 2019).



As feições ERG Leste e ERG Oeste (itens 2, 3, na figura 1), também foram classificadas como rise junto ao SCUFN no ano de 2011, com profundidades variando de 1.966 m a 4.866 m. Apresentam tendência norte-sul sendo paralela a orientação do espalhamento do Atlântico Sul (Gamboa & Rabinowitz 1984; Santos 2022). A ERG Oeste é conectada morfologicamente à porção central da ERG pelo Canal Vema, que se estende por 600 km com profundidades que variam de 4.650 m a 4.880 m (item 6, na figura 1). A feição do tipo “canal” é definida pela publicação B-6 da OHI/COI como “Uma depressão de forma sinuosa e alongada, geralmente localizada sobre uma planície de declive suave ou num leque”.

Na região da ERG central, posicionado imediatamente adjacente ao Canal Vema, foi possível identificar uma extensa área aplainada, a qual foi identificada como uma feição do tipo “terraço”, nomeada como Terraço Vema (item 5, na figura 1). O Terraço Vema apresenta morfologia plana, extensões que variam de 140 a 570 km, e profundidade média de 4.300 m (Jeck, 2023). Segundo a OHI, a feição do tipo “terraço” refere-se à “Região aplanada ou de declive suave, geralmente alongada e estreita, limitada de um lado por um forte declive descendente e, de outro lado, por um forte declive ascendente”.

A feição mais notável presente na ERG é o Rifte Cruzeiro do Sul (item 4, na figura 1), que foi caracterizado e catalogado como uma feição do tipo “rifte”, a qual é definida pela OHI como “Depressão alongada, limitada por duas ou mais falhas, formada numa rutura ou separação de dois elementos anteriormente

unidos”. O Rifte Cruzeiro do Sul atravessa inteiramente a porção central da ERG na direção NW-SE, com extensão aproximada de 1.200 km e com depocentros parcialmente preenchidos por sedimentos (Mohriak et al., 2010; Graça, 2018). Dentre todas as feições mencionadas, esta é a única que apresenta conotação genética, relacionada ao termo genérico “rifte”, o qual não é um termo puramente descritivo como “Elevação”, “canal”, “terraço” ou “monte submarino”. Os termos que apresentam conotação genética, ao serem propostos ao SCUFN, requerem informações relativas a evidências geológicas e/ou geofísicas, bem como dados batimétricos. O Rifte Cruzeiro do Sul é uma feição geológica amplamente estudada no contexto da separação dos continentes sul-americano e africano, e é interpretada como uma região de cisalhamento localmente afetada por intrusões ígneas e movimentos transcorrentes, formada como resultado de um processo de rifteamento abortado durante o rearranjo de placas tectônicas (Mohriak et al, 2010; Galvão e de Castro, 2017).

Vale lembrar que a ERG apresenta diversos montes, colinas e cadeias submarinas. Alguns alcançam profundidades inferiores a 500 m, como a dorsal Konstantinov, enquanto outros ultrapassam 3000 m de relevo total, como o guyot Sirius (monte submarino que apresenta um topo relativamente suave e aplanado/plano). Outros montes submarinos possuem orientações proeminentes no sentido N-S ou NW-SE, indicando possível gênese relacionada aos eventos tectônicos e magmáticos de formação da ERG Leste ou do Rifte Cruzeiro do Sul, respectivamente.



Tabela 1 – Feições do relevo submarino da Elevação do Rio Grande aprovadas no SCUFN

Id	Nome	Feição	Feição (inglês)	Encontro	Proposto em:	Descoberto em:	Prof. Min	Prof. Max	Relevo	Dimensão (km)
1	Rio Grande	Maciço/Elevação	Rise	x	x	x	x	x	x	x
2	Rio Grande Oeste Oeste	Maciço/Elevação	Rise	SCUFN-24	2011	x	2900	4866	1966	460 x 300
3	Rio Grande Leste	Maciço/Elevação	Rise	SCUFN-24	2011	x	1696	5305	3609	630 x 701
4	Cruzeiro do Sul	Rifte	Rift	SCUFN-24	2011	x	630	5300	4670	1200
5	Vema	Canal Submarino	Seachannel	SCUFN-10	x	x	x	x	x	x
6	Vema	Terraço	Terrace	SCUFN-34.1	2020	1966	2787	4872	2085	140 x 570
7	Hunter	Canal Submarino	Channel	x	x	x	x	x	x	x
8	São Paulo	Escarpa	Escarpment	SCUFN-26	2013	x	2294	4572	2278	391
9	Vital de Oliveira	Colina	Hill	SCUFN-32	2019	2017	4403	4834	431	4.5 x 10
10	Lupicínio	Colina	Hill	SCUFN-34.3	2021	2021	3521	4360	839	9.5 x 8.5
11	Gáucho	Monte Submarino	Seamount	SCUFN-34.3	2021	1971	2690	4350	1660	25 x 25
12	Sírius	Guyot	Guyot	SCUFN-23	2010	1974	740	4000	3260	22 x 13
13	Vital de Oliveira	Monte Submarino	Seamount	SCUFN-34.3	2021	2021	1705	4000	2295	55 x 30
14	Konstantinov	Dorsal/Cadeia	Ridge	SCUFN-12	1984	1982	497	3600	3103	x
15	Ribas	Monte Submarino	Seamount	SCUFN-34.3	2021	1971	1785	4100	2315	20 x 40
16	Northfleet	Monte Submarino	Seamount	SCUFN-34.3	2021	1969	1645	3600	1955	70 x 45
17	Griep	Monte Submarino	Seamount	SCUFN-32	2019	2012	1430	3600	2170	47 x 25
18	Della Fávera	Monte Submarino	Seamount	SCUFN-34.3	2021	1961	1781	3900	2119	35 x 35
19	Hackspacher	Monte Submarino	Seamount	SCUFN-36	2023	2012	1570	3000	1430	40 x 20
20	Suguio	Guyot	Guyot	SCUFN-36	2023	2011	1085	2500	1415	30 x 15

Para informações adicionais, os nomes geográficos do relevo submarino da Elevação do Rio Grande podem ser acessados na página do Gazetteer da GEBCO, por meio do endereço <https://www.ngdc.noaa.gov/gazetteer>

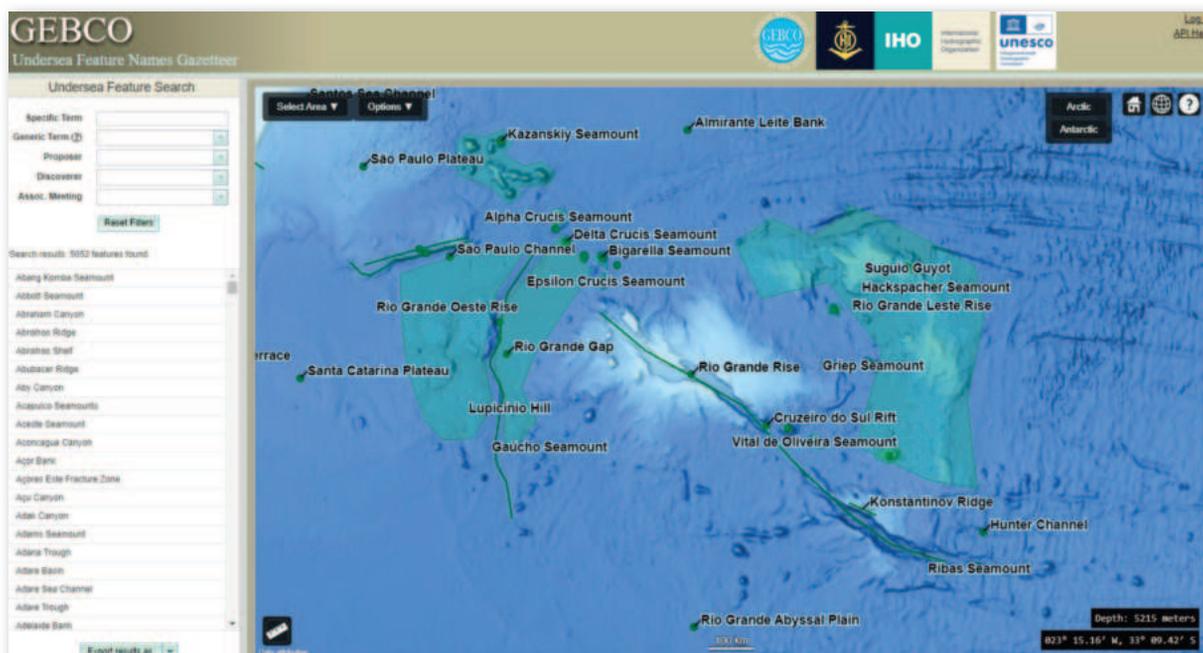


Figura 2 – Zoom da página do Gazetteer da GEBCO para acesso à toponímia do relevo submarino da Elevação do Rio Grande. Extrato da porção Oriental/Meridional da margem continental brasileira

4. CONCLUSÕES

É de grande relevância para o trabalho desenvolvido pela DHN junto ao SCUFN que os nomes oficialmente aprovados sejam, de fato, utilizados no desenvolvimento de estudos científicos e consequente publicação de artigos e mapas, além do uso em cartas náuticas nacionais e internacionais e quaisquer outros meios em que seja necessário referenciar o relevo da Elevação do Rio Grande.

Os resultados apresentados neste trabalho contribuem para um maior reconhecimento internacional das feições submarinas, desempenhando um papel crucial na caracterização da margem continental brasileira, especialmente no que diz respeito à ERG: região que figura no cenário atual como uma das novas fronteiras do conhecimento científico.

Ademais, o trabalho realizado pela DHN em colaboração com o SCUFN tem como objetivo incentivar profissionais,

pesquisadores e instituições a submeterem novas propostas de feições submarinas na Margem Continental Brasileira. Essa iniciativa visa promover a navegação segura sobre o fundo marinho, tornando-o cada vez mais conhecido, mapeado e nomeado, de forma análoga ao que ocorre na porção emersa do continente.

Ao caracterizar as feições do relevo submarino na ERG e atribuir nomes alinhados à padronização internacional estabelecida pelo SCUFN, a DHN contribui para ampliação do conhecimento científico sobre a ERG e para a gestão dos recursos marinhos dessa área marítima.

No âmbito da vertente de Soberania da Amazônia Azul, os nomes das feições submarinas da ERG promovem a associação desta região oceânica com a identidade do povo brasileiro por meio da noção geral de pertencimento de uma região e do estímulo ao fortalecimento da mentalidade marítima na nossa sociedade.



5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GALVÃO, I.L.G. DE CASTRO, D.L., 2017. Contribution of global potential field data to the tectonic reconstruction of the Rio Grande Rise in the South Atlantic. *Marine and Petroleum Geology*, 86, 932-949.

GAMBOA, L. A. P. & RABINOWITZ, P. D. The evolution of the Rio Grande rise in the southwest Atlantic Ocean. *Marine Geology, Elsevier*, v. 58, n. 1-2, p. 35–58, 1984.

GRAÇA M.C. A formação da Elevação do Rio Grande e sua correlação com a evolução da Margem Continental Sudeste Brasileira. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro: UERJ, 2018.

IHO. International Hydrographic Organizations. B-6- Standardization Of Undersea Feature Names. Guidelines. Proposal Form. Terminology. Bathymetric Publication, n. 6. Edition 4.2.0, 2019. Disponível em: < https://iho.int/uploads/user/pubs/bathy/B-6_e4%20%200_Eng_Por_versao-final_17Dec2020.pdf >. Acesso em: 01 mar. 2024.

JECK I.K. Platô de Santa Catarina, Canal Vema e Terraço Vema; evolução morfológica, dinâmica sedimentar e circulação oceânica. Tese de doutorado. Niterói: UFF, 2023.

JINNO, K. Toponímia Submarina Brasileira. PETROBRAS/E&P/GEREX/GECON. Relatório interno. Rio de Janeiro, Brazil. 15 p. 1998.

MOHRIAK, W. U., NÓBREGA, M., ODEGARD, M. E., GOMES, B. S., & DICKSON, W. G. Geological and geophysical interpretation of the Rio Grande Rise, south-eastern Brazilian margin: extensional tectonics and drifting of continental and oceanic crusts. *Petroleum Geoscience*, 16(3), 231-245, 2010.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. GEBCO – Undersea Feature Names Gazetteer, 2021. Disponível em: <<https://www.ngdc.noaa.gov/gazetteer/>>. Acesso em: 23 fev. 2022.

SAMPAIO, L. F. & ALBERONI, A. A. Nomes Geográficos das Formas de Relevo Submarino na Margem Continental Brasileira. *R. Bras. Geografia*, Rio de Janeiro, v. 67, n. 1, p. 92- 104, 2022.

SANTOS, F. C. Estudo multi-geofísico da Elevação do Rio Grande com enfoque na modelagem gravimétrica 2D do embasamento da porção oeste. Projeto Final de Graduação. Niterói: UFF, 2022.

UNCLOS. United Nations Convention on the Law of the Sea. New York: United Nations, 1983. 224 p.





DESCOMISSIONAMENTO DE ESTRUTURAS OFFSHORE NA BAÍA DE GUANABARA, NO RIO DE JANEIRO-RJ

*Capitão-Tenente (T) Mariana de Castro
Michimoto¹
Doutor Newton Narciso Pereira²*

RESUMO

O estudo visa delinear e estabelecer padrões e procedimentos para a retirada de cascos soçobrados na Baía de Guanabara, no Rio de Janeiro-RJ. Pretende-se analisar as retiradas dos seis cascos descomissionados nessa região e estabelecer procedimentos que possam ser adotados por outros portos e terminais brasileiros para a desobstrução de suas vias navegáveis, com isso, impactando diretamente no fluxo do comércio interno e externo brasileiro. Entre maio e novembro de 2023, foram realizadas operações de limpeza da Baía de Guanabara, com a retirada dos cascos soçobrados, programada pela Autoridade Portuária (PortosRio) e pela Capitania dos Portos do Rio de Janeiro (CPRJ), conforme portaria nº 24/CPRJ, de 27 de janeiro de 2023. Esse documento teve por objetivo descrever quais seriam os cascos que impactavam a navegação no Canal de São Lourenço, e foram fruto de mapeamento realizado pela Universidade Federal Fluminense (UFF).

¹Oficial do Quadro Técnico graduada em Ciências Náuticas (EFOMM/RJ). Pós-graduada em Engenharia de Produção (UFF). Mestre do Programa de Dinâmica dos Oceanos e da Terra, com ênfase em Hidrografia (UFF). Doutoranda do Programa de Modelagem Industrial (UFF), servindo presentemente no Centro de Auxílios à Navegação Almirante Moraes Rego (CAMR). Email: marimichimoto@hotmail.com

²Professor Adjunto da Universidade Federal Fluminense (UFF) Tecnólogo Fluvial (Faculdade de Tecnologia de Jahu). Engenheiro de Produção (Universidade de Guarulhos). Mestre e doutor (Escola Politécnica-USP). Pós-doutorado em Engenharia Naval e Oceânica, atualmente lotado na Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica (UFF-Volta Redonda). Email: newtonpereira@id.uff.br



e CPRJ. Conhecer e aplicar os procedimentos normatizados corretamente contribui para o sucesso de operações que demandam riscos iminentes à poluição hídrica, segurança da navegação e à vida humana.

Palavras-chave: Descomissionamento, remoção, vias navegáveis.

ABSTRACT

The study aims to outline and establish standards and procedures for the removal of wrecks in Guanabara Bay, in Rio de Janeiro-RJ. It is intended to analyze the removal of the six decommissioned wrecks in this region and establish procedures that can be adopted by other Brazilian ports and private terminals to unblock their waterways, thereby directly impacting the flow of Brazilian internal and external trade. Between May and November 2023, cleaning operations were carried out in Guanabara Bay, with the removal of wrecks, scheduled by the Port Authority (PortosRio) and the Harbour Authority of Rio de Janeiro (Capitania dos Portos do Rio de Janeiro-CPRJ), according to ordinance no. 24/CPRJ, dated January 27, 2023. This document aimed to describe which wrecks would be more prejudicial to navigation in the São Lourenço Channel, and were the result of mapping carried out by the Universidade Federal Fluminense (UFF) and CPRJ. Knowing and applying standardized procedures correctly contributes to the success of operations that require imminent risks to water pollution, navigation safety and human life at sea.

Keywords: Decommissioning, removal, waterways.

1. INTRODUÇÃO

É sabido que a propriedade dos bens afundados, submersos, encalhados ou perdidos

em Áreas Jurisdicionais Brasileiras (AJB) permanecem na propriedade de seus donos originais até que eles declarem seu perdimento e transcorra o prazo de cinco anos. Esses bens também podem passar para a propriedade da União, após declaração de seus donos, considerando perdido o bem; e após decorridos cinco anos do afundamento ou encalhe.

Segundo o inciso 2.1.3, das Normas da Autoridade Marítima para Assistência e Salvamento, pesquisa, Exploração, Remoção e Demolição de Coisas e Bens (NORMAM-221/DPC), quando as coisas ou bens constituírem ou vierem a constituir perigo, obstáculo à navegação ou ameaça de danos a terceiros ou ao meio ambiente, o Distrito Naval da área poderá determinar ao responsável pelas coisas ou bens submersos ou encalhados em águas sob jurisdição nacional a sua remoção ou demolição, no todo ou em parte, por intimação pessoal ou por edital, quando paradeiro ignorado do responsável.

Todavia, os Comandos dos Distritos Navais (ComDN) podem autorizar os serviços de remoção de embarcações ou demais bens afundados de suas áreas de jurisdição (AJ), em prol da segurança da navegação e prevenção de poluição hídrica. Compete ao Comando do 1º Distrito Naval (Com 1ºDN) autorizar a exploração, remoção ou demolição, no todo ou em parte, de coisas ou bens afundados, submersos, encalhados e perdidos em águas sob jurisdição nacional, em terrenos de Marinha e seus acrescidos e em terrenos marginais, em decorrência de sinistro, alijamento ou fortuna do mar que não tenham passado ao domínio da União; além de coordenar, controlar e fiscalizar as operações e atividades de pesquisa, exploração, remoção e demolição de coisas ou bens afundados, submersos, encalhados e perdidos em águas sob jurisdição nacional, em terrenos de marinha e seus acrescidos e em terrenos marginais, em decorrência de sinistro, alijamento ou fortuna do mar.



Nesse sentido, a CPRJ, responsável pela AJ da Baía de Guanabara, de acordo com as Normas e Procedimentos das Capitânicas dos Portos do Rio de Janeiro (NPCP/2022), estabeleceu, em 2012, o perdimento das embarcações no Canal de São Lourenço. Uma vez que esses cascos foram declarados perdidos, foram leiloados e vendidos para empresas, as quais retiraram parte do material, deixando grande volume a remover. Essa situação se agravou ao longo dos anos e impactou a navegação no Canal de Acesso ao Canal de São Lourenço

e imediações de importantes Terminais de Uso Privados nessa região, como Terminal da Brasco-Base Niterói; Base da Baker Hughes – Terminais Caximbau e Bardela, por exemplo (Figura 1).

2. LEGISLAÇÃO PERTINENTE E METODOLOGIA EMPREGADA

Para tanto, foram empregados os procedimentos na AJ da CPRJ, a saber: NORMAM-221/DPC e Lei nº 7542/1986 (Figuras 2 e 3).

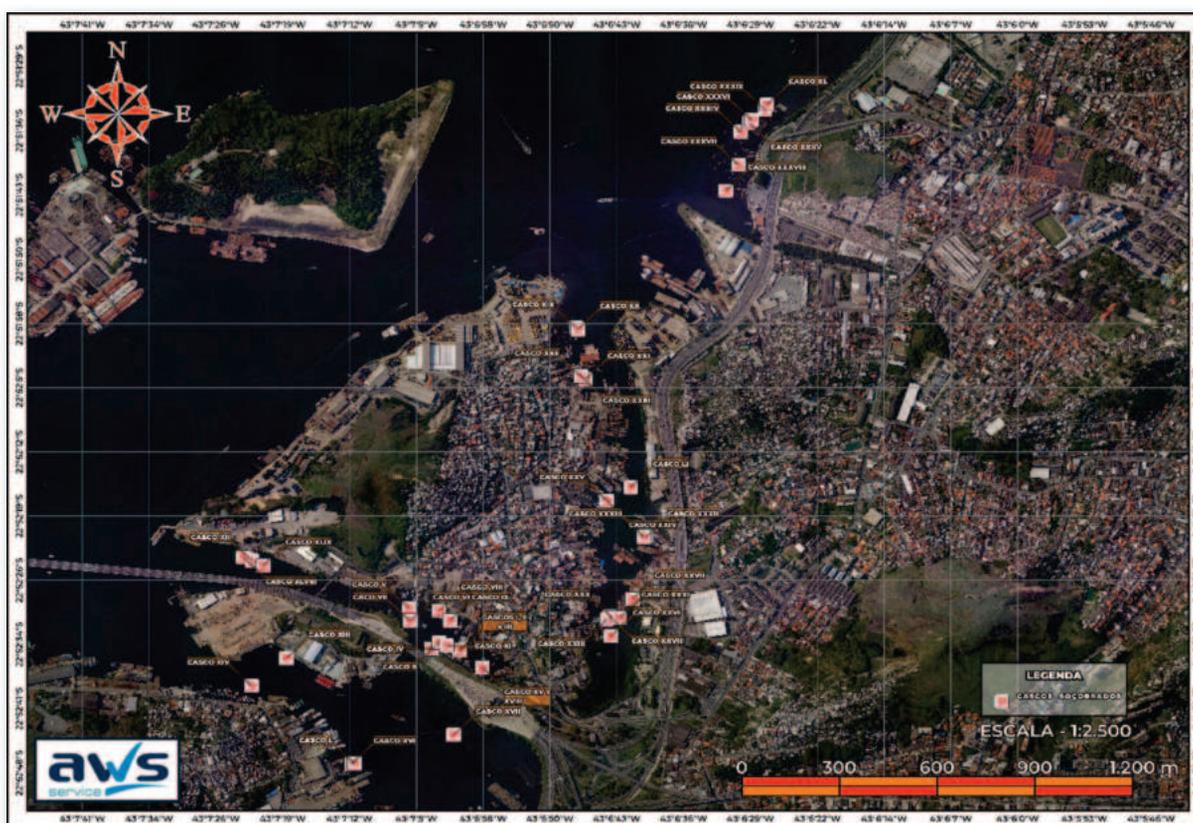


Figura 1 – Mapeamento dos 51 cascos soçobrados no Canal de São Lourenço. Fonte: AWS Service (2023)



Figura 2 – NORMAM-221/DPC. Fonte: www.dpc.mil.br. Acesso em: 8 de fevereiro de 2024

Em 2021, a Universidade Federal Fluminense (UFF) realizou um mapeamento, com apoio de embarcação da CPRJ, e delineou 61 cascos. Em 2022, foi realizado outro mapeamento, por meio dos mesmos representantes, mais recente, e subsidiou o total de 51 cascos a serem retirados. Acredita-se que essa diferença de quantitativo se deu por vandalismo em relação ao material proveniente dos cascos, que se encontravam ao lume d'água ou assentamento dos destroços no leito marítimo, por meio de material lamoso presente nos compartimentos desses cascos, à mercê do tempo total ou parcialmente submerso.

No mapeamento, que contou com sobrevoo e embarcações de apoio, foram estabelecidos procedimentos seguros para operação de demolição in loco e içamento de 6, dos 51 cascos mapeados que se encontravam soçobrados nas proximidades do Cais da Brasco, localizado na Ilha da Conceição – Niterói-RJ. Registra-se que os cascos se

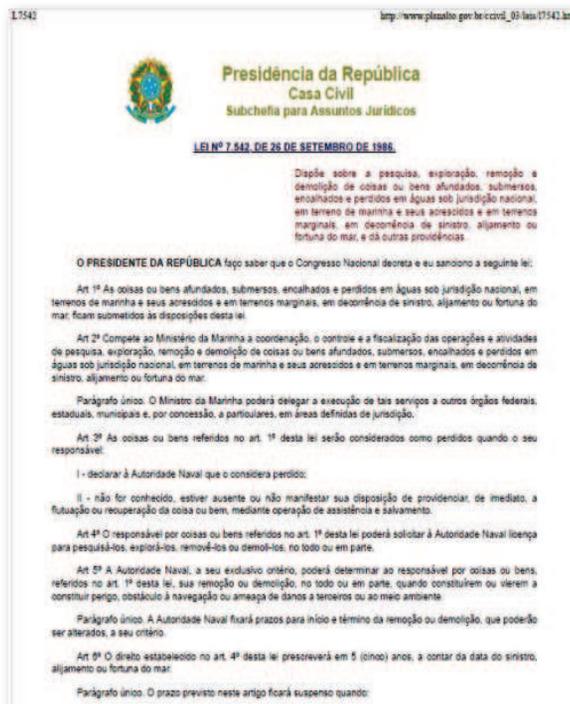


Figura 3 – Lei nº7542/1986. Fonte: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7542.htm Acesso em: 8 de fevereiro de 2024

encontravam totalmente sem funcionalidade. Foram contemplados condicionantes ambientais, padronização dos equipamentos de retroescavadeiras, bombas de sucção, procedimentos com mergulhadores, bem como de embarcações de apoio para que a operação de demolição/içamento fosse realizada com segurança. Além disso, carta náutica e batimetria foram avaliadas de forma a garantir a segurança da operação. É importante mencionar que foi a primeira vez no Brasil em que a aplicação dos requisitos da demolição e remoção contidos nas Normas da Autoridade Marítima para Assistência e Salvamento, Pesquisa, Exploração, Remoção e Demolição de Coisas e Bens (Brasil, NORMAM-221/DPC, 2023) foram cumpridos integralmente.

Nesse sentido, houve a necessidade de cumprir procedimentos de apresentação de Plano de Salvamento, elaborado por um *Salvage Master*. Faz-se importante mencionar que uma empresa de *Salvage Master*



possui *know-how* para realizar o salvamento e remoção de um bem. No caso em questão, a empresa escolhida para elaborar os planos foi uma empresa de engenharia que é credenciada na Capitania dos Portos, a *AWS Service*. O plano contou com a apresentação do fato gerador da assistência; em relação à embarcação, por exemplo, situação de propulsão; do sistema de governo; sistema de energia, aparelho de fundear e suspender; e outros; aspectos relacionados à carga, como natureza da carga; manufaturados; máquinas; petróleo e seus derivados e outros; em relação ao local do sinistro, tença, profundidade, gradiente, se área abrigada ou desabrigada; e em relação às condições meteoceanográficas.

Foi empregada uma força-tarefa para garantir que a retirada fosse realizada de modo seguro com o apoio da PortosRio; representante da SEENEMAR (Secretaria de Energia e Economia do Mar do Governo do Estado do RJ) e a *AWS Service*, empresa de *Salvage Master* que desenvolveu o plano de salvatagem, o qual foi submetido à análise da CPRJ e posterior aprovação do Com1ºDN.

Ressalta-se que o plano elaborado pelo *Salvage Master* apresentou memorial descritivo contendo cronograma e motivação da retirada; metodologia; pessoal envolvido; engenheiros; parecer de órgão ambiental competente; cálculos de desencalhe e

posterior reboque até o cais de descomissionamento; além de análise de riscos à vida humana, meio ambiente e à segurança da navegação, bem como medidas mitigatórias e de contingência em caso de algum sinistro durante a operação de descomissionamento dos cascos. A tramitação cartorial está descrita na figura 4.

Os materiais e métodos empregados nas operações foram balsa; retroescavadeira; duas motosserras à gasolina; dois compressores de alta potência; uma bomba de dragagem a diesel; uma bomba de esgoto de alta potência elétrica e uma picadeira elétrica. Além disso, mergulhadores e a Companhia Municipal de Limpeza Urbana de Niterói (CLIN) apoiaram a destinação dos destroços. Os materiais foram depositados no Cais da Brasco – Base Niterói-RJ, e seguiram com destino ao Cais da empresa Equipemar, onde o material foi descartado.

Foram estabelecidos condicionantes para interromper a operação em caso de mau tempo. As condicionantes ambientais estabelecidas foram de vento inferior a 15 nós e corrente inferior a 1 nó. As operações se deram em condições propícias às retiradas e, na ocasião, não houve visibilidade reduzida que as impactasse, embora a turbidez da água na região do Canal de São Lourenço dificultasse a operação dos mergulhadores submersos.

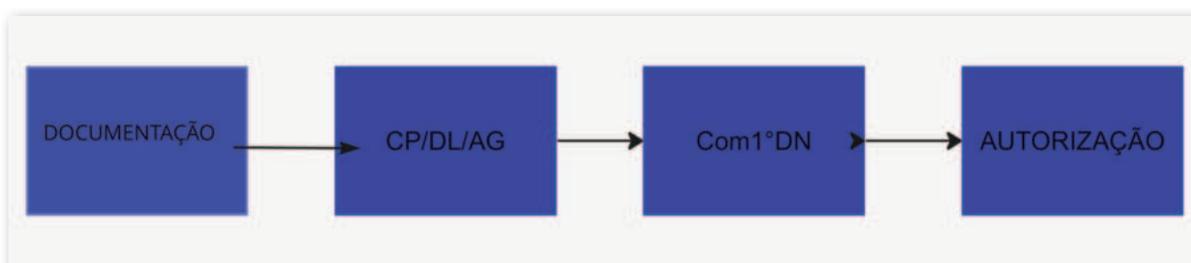


Figura 4 – Tramitação cartorial. Fonte: Capitão-Tenente (T) Mariana de Castro Michimoto - Elaboração própria

3. PERSPECTIVAS FUTURAS E RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS

Segundo a Prefeitura de Niterói, há a previsão de dragagem do Canal de São Lourenço com execução do projeto básico de engenharia, que será executado pelo “Consórcio Fluminense”, vencedor da licitação, formado pelas empresas “DTA Engenharia Ltda” e “SK Infraestrutura Ltda”, e terá investimento de cerca de R\$ 138 milhões, por parte da Prefeitura de Niterói, e previsão de término em até 15 meses. O projeto de dragagem terá o objetivo de elevar o calado das embarcações de 7 para 11 metros, retirando restos remanescentes de cascos depositados no leito marinho.

O Canal de São Lourenço é uma importante via de acesso ao Porto de Niterói ao Terminal Pesqueiro, com 6 milhas náuticas de distância da boca da Barra do Rio de Janeiro, iniciando-se ao sul da Ilha do Mocanguê, estendendo-se por 1400

metros, com largura de 70 metros, onde existem dois importantes terminais, o NITPORT e o NITSHORE, de acordo com a Capitania dos Portos (2022).

Ressalta-se que em se tratando de uma futura dragagem de aprofundamento e estabelecimento de novos parâmetros operacionais, bem como de sinalização náutica apropriada para implementar a nova geometria do canal, há a necessidade de homologá-los em NPCP, após resultados satisfatórios de simulações do tipo “Real-Time”, em simuladores do tipo “Full Mission” para o novo navio-tipo estabelecido (Figura 5), conforme prevê a Autoridade Marítima (Brasil, NORMAM-303/DPC, 2023) e *report* no 121 da *The World Association for Waterborne Transport Infrastructure* (PIANC, 2014). Além disso, no projeto detalhado, pode-se validar, desenvolver e aperfeiçoar o projeto conceitual dos parâmetros operacionais estabelecidos pelo projetista, por ocasião da elaboração do projeto básico de dragagem.



Figura 5 – Exemplo de um simulador do tipo “Full Mission”, da Universidade de São Paulo. Fonte: elaboração própria, 2023 - simulação de manobras no Terminal BANIT, na Ilha da Conceição Niterói-RJ



Nesse processo, a manobrabilidade do navio-tipo, custos operacionais e avaliação de risco baseada nas ferramentas de análise de risco da *International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities* (IALA), como a *Simplified IALA Risk Assessment Method* (SIRA), a *International Maritime Organization* (IMO), a *Formal Safety Assessment* (FSA), visam mitigar risco de encalhe ou abalroamento e podem ser empregadas (IALA, 2022 e IMO, 2018). Com isso, objetivando a viabilidade da nova via navegável aos novos parâmetros do navio de projeto e sinalização náutica adequada, fomentando a economia da região e da indústria *offshore*.

Adicionalmente, simuladores voltados para resultados eficientes de um planejamento náutico portuário, ou seja, quando suas atividades estão relacionadas à engenharia, devem ter seus modelos

físico-matemáticos aprovados por comunidade científica, por meio de *papers*, considerando o centro de simulação o qual se deseja realizar as manobras simuladas. Salienta-se ainda que simulações realizadas em simuladores credenciados apenas para treinamento de marítimos ou práticos não devem ter seus resultados utilizados para elaboração de relatórios finais de corridas de simulações por ocasião do planejamento de uma nova geometria de canal (ITTC, 2021).

A seguir, as Figuras 6, 7, e 8 ilustram as operações que culminaram na retirada de 6 dos 51 cascos mapeados.

A Figura 6 mostra a condição em que as embarcações se encontravam durante a etapa de mapeamento aéreo para definição das estratégias de remoção. Observa-se o elevado estado de degradação do casco, bem como a condição submersa da embarcação à esquerda. Isso mostra a real necessidade de



Figura 6 – Duas embarcações parcialmente submersas localizadas junto ao Canal de São Lourenço. Fonte: AWS Service, 2023

liberação deste trecho do canal, que causava impactos à navegação, bem como atracação de embarcações de pesca junto ao terminal. É importante considerar que em função do elevado estado de degradação destas embarcações, durante a atividade de remoção e içamento, os detritos podem se espalhar na coluna d'água. Deste modo, a utilização de barreiras de contenção impedem que o

material de disperse na coluna d'água, bem como que resíduos sólidos e eventualmente oleosos também se espalhem no mar. A Figura 7 demonstra a ação empregada. Outra etapa importante se refere à posterior destinação dos materiais constitutivos das embarcações removidas. A Figura 8 mostra o processo de segregação do material para destinação final.



Figura 7 – Utilização de barreiras de contenção impedem que o material de disperse na coluna d'água, bem como que resíduos sólidos e eventualmente oleosos também se espalhem no mar, nas proximidades do Cais da Equipemar, Niterói-RJ. Fonte: AWS Service, 2023



Figura 8 – Apoio da empresa Clin, da Prefeitura de Niterói, que apoiou no desmantelamento e destinação das estruturas. Fonte: AWS Service, 2023



4. CONCLUSÃO

Por fim, conhecer e saber aplicar os procedimentos normatizados corretamente contribui para o sucesso de operações que demandam riscos iminentes à poluição hídrica, segurança da navegação e à vida humana. A força-tarefa estabelecida, sob coordenação do Com1ºDN, para a retirada dos cascos soçobrados no Canal de São Lourenço, nas proximidades da cidade de Niterói-RJ, foi um grande avanço para a desobstrução dessa importante via

navegável. Isso mostra que, para uma ação desta natureza, é necessário contar com o princípio de multiagentes envolvidos em prol de uma causa ambiental, social e econômica. Faz-se importante mencionar que essa ação contribuiu para fomentar a economia do mar, por meio do protagonismo do Com1ºDN/CPRJ na condução da primeira grande operação de remoção em nosso país. Espera-se que este estudo de caso seja divulgado e aplicado, bem como toda a metodologia apresentada, a fim de contribuir para operações seguras e eficientes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, Normas da Autoridade Marítima para Assistência e Salvamento, pesquisa, Exploração, Remoção e Demolição de Coisas e Bens – NORMAM-221/DPC (2023);

BRASIL, Normas da Autoridade Marítima para Obras e Atividades Afins em Águas sob Jurisdição Brasileira – NORMAM-221/DPC;

BRASIL. Lei nº 7542/1986, de 26 de setembro de 1986. Dispõe sobre a pesquisa, exploração, remoção e demolição de coisas ou bens afundados, submersos, encalhados e perdidos em águas sob jurisdição nacional, em terreno de marinha e seus acrescidos e em terrenos marginais, em decorrência de sinistro, alijamento ou fortuna do mar, e dá outras providências.

CAPITANIA DOS PORTOS DO RIO DE JANEIRO, Normas e Procedimentos das Capitânicas dos Portos do Rio de Janeiro (NPCP/2022);

IALA, G1138 THE USE OF THE SIMPLIFIED IALA RISK ASSESSMENT METHOD (SIRA), Edition 2.0, December, 2022;

IMO, REVISED GUIDELINES FOR FORMAL SAFETY ASSESSMENT (FSA) FOR USE IN THE IMO RULE-MAKING PROCESS, MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2, 9 April 2018;

ITTC, INTERNATIONAL TOWING TANK CONFERENCE, Validation of Manoeuvring Simulation Models (2021);

PIANC, “Approach Channels – A guide for desing: Final rep. Of the joint Working Group PIANC and IAPH in cooperation with IMPA and IALA” (2014); e

PREFEITURA DE NITERÓI, Disponível em: <http://niteroi.rj.gov.br/2023/09/18/prefeitura-de-niteroi-assina-contrato-para-dragagem-do-canal-de-sao-lourenco/> Acessado em 19MAR2024.



LOCALIZAÇÃO DE FONTES SONORAS SUBMARINAS UTILIZANDO TIME-REVERSAL MIRROR E O MODELO DE RAIOS

*Capitão-Tenente Richard Barbosa Nobre¹
Capitão de Fragata (EN) Renato Peres Vio²*

RESUMO

Este estudo investiga o desempenho de um espelho de inversão temporal passivo combinado com a teoria de raios na localização de fontes sonoras submarinas. É desenvolvido um algoritmo com base nos modelos físicos e matemáticos e empregando métodos de processamento de sinais, de acordo com o princípio de reciprocidade do campo sonoro. O modelo de traçado de raios TRACEO foi utilizado para determinar a resposta impulsiva entre uma fonte sonora e um ponto do campo. O sinal transmitido é reconstruído ao realizar a convolução entre a resposta impulsiva do canal e os sinais recebidos pelo arranjo de hidrofones, invertidos no tempo. A posição com o máximo valor de correlação do sinal reconstruído é assumida como a localização da fonte. A eficácia do algoritmo foi testada com dados simulados e dados coletados durante o experimento CALCOM'10, avaliando sua eficácia e potencial de aplicação em sistemas de tempo real.

Palavras-chave: Localização. Fonte sonora submarina. Teoria de raios. Inversão temporal.

¹Oficial do Corpo da Armada, Graduado em Ciências Navais pela Escola Naval. Aperfeiçoado no Curso de Aperfeiçoamento em Superfície para oficiais. Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Acústica Submarina (PPGAS) do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM).

²Graduação em Engenharia Elétrica pela UNESP, mestrado em Engenharia Elétrica pela USP e doutorado em Engineering Acoustics pela NPS – US Navy, atualmente é militar do Corpo de Engenheiros da Marinha do Brasil, servindo no Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM).



ABSTRACT

This study investigates the performance of a passive time-reversal mirror combined with ray theory in localizing underwater sound sources. An algorithm is developed based on physical and mathematical models and employing signal processing methods, according to the reciprocity principle of the sound field. The ray tracing model TRACEO was used to determine the impulse response between a sound source and a field point. The transmitted signal is reconstructed by performing convolution between the channel impulse response and the signals received by the hydrophone array, time-reversed. The position with the maximum correlation of the reconstructed signal is assumed as the source location. The effectiveness of the algorithm was tested with simulated data and data collected during the CALCOM'10 experiment, assessing its efficiency and potential application in real-time systems.

Keywords: Localization. Underwater sound source. Ray theory. Time-reversal.

1. INTRODUÇÃO

A localização de fontes sonoras no meio submarino apresenta desafios complexos relacionados à propagação do som neste ambiente, como o desvio dos sensores causado pelas correntes oceânicas, a propagação fora da linha de visada resultante dos efeitos de múltiplos caminhos e o ruído ambiental. Entre os métodos de localização de fontes sonoras submarinas, os mais comuns são o método de triangulação e a técnica de formação de feixes acústicos.

O método de triangulação é baseado na diferença de tempo de chegada (TDOA, *time difference of arrival*), que calcula a diferença de tempo entre a chegada do som de uma fonte sonora em diferentes estações de medição e, em seguida, reverte esse cálculo para determinar a posição da fonte sonora (WU, 2010). No entanto, é necessário manter uma rigorosa sincronização de tempo entre as estações de medição, e a propagação do som no ambiente marinho pode resultar em fenômenos de refração e reflexão que podem introduzir erros de localização se apenas a diferença de tempo de chegada for considerada.

A técnica de formação de feixes acústicos é comumente utilizada em sistemas sonar, radares e comunicações. O método de adição de atraso (*delay-and-sum*) é uma técnica de formação de feixes frequentemente utilizada que pode melhorar a qualidade do sinal medido ou reduzir o ruído do sinal, tornando-o eficaz na localização de fontes sonoras mesmo quando o sinal acústico se degrada ao se propagar por longas distâncias no oceano (VALENCIA-PALMA, 2019). No entanto, a heterogeneidade do meio marinho pode causar distorções no processo de propagação do som, impedindo que os feixes se concentrem no alvo. Tanto a técnica de formação de feixes quanto o método de triangulação são suscetíveis aos efeitos de múltiplos caminhos em ambientes marinhos complexos, resultando na sobreposição de formas de onda e afetando significativamente a interpretação correta do sinal (FERGUSON, 1989). Além disso, os arranjos de sensores usados na técnica de formação de feixes geralmente são grandes e, portanto, mais caros para serem usados em aplicações de monitoramento passivo de fontes sonoras.

A técnica de localização passiva tem sido uma das direções de desenvolvimento essenciais na evolução da tecnologia de sonar. Se o equipamento de sonar puder fornecer dados de distância e profundidade, mesmo que sejam estimativas grosseiras, isso melhorará



consideravelmente a velocidade de convergência dos cálculos de software de armas em sistemas de combate. Além disso, também aumentaria a precisão da resolução de cálculos de movimento, melhorando, assim, a capacidade de ataque e segurança de embarcações.

Mais recentemente, o método de espelho de inversão temporal (TRM, *time-reversal mirror*), começou a ser aplicado na localização de fontes sonoras submarinas. O conceito por trás do método de TRM é reverter a série temporal dos sinais recebidos no receptor e transmiti-los de volta para a fonte sonora, permitindo que o receptor focalize a fonte sonora e elimine reflexões. O conceito de TRM se baseia no teorema da reciprocidade e na conjugação de fase, proveniente da ótica. O teorema da reciprocidade afirma que a luz refletida de longe seguirá o mesmo caminho de volta ao ponto de origem. Zel'dovich et al. (1985) basearam-se no teorema da reciprocidade para calcular a função do caminho ótico da propagação da luz, demonstrando características de retrofoco e determinando a posição da fonte de luz.

O som se propaga no oceano com uma atenuação muito pequena, sendo negligenciável para frequências abaixo de 1 kHz; a taxa de atenuação para ondas sonoras de 5 kHz em água do mar a 20 °C e 1 atmosfera de pressão é de aproximadamente 0,24 dB/km (DOONAN, 2003). Portanto, se o sinal de pressão acústica $P(r, t)$ recebido for invertido no tempo, o resultado $P(r, -t)$ também é uma solução para a equação linear de ondas. Jackson & Dowling (1991) realizaram experimentos de localização de fontes sonoras em ambientes marinhos reais, demonstrando a viabilidade do método de conjugação de fase para a localização de fontes sonoras submarinas. A inversão temporal consiste em inverter o sinal de pressão acústica $P(r, t)$ no tempo, o que fisicamente implica inverter a ordem temporal; enquanto a conjugação de fase envolve inverter o sinal de parte imaginária de um número complexo, implicando inverter a fase. Portanto, a inversão temporal no domínio do tempo é equivalente à conjugação de fase no domínio da frequência. A conjugação de fase também é aplicada em ultrassom (Prada, 1991).

A inversão temporal é uma maneira de lidar com o problema dos múltiplos caminhos de propagação, reduzindo a interferência entre os sinais e tornando a localização da fonte sonora mais precisa (DOWLING, 2005). Suas propriedades concentram a energia na posição da fonte sonora; portanto, é possível posicionar a fonte sonora considerando o local de energia máxima. O método de TRM pode ser dividido em ativo e passivo. O TRM ativo envolve o recebimento do sinal acústico por um arranjo de hidrofones, a inversão temporal do sinal e a retransmissão, seguido pelo recebimento do sinal por outro arranjo de hidrofones para determinar a posição da fonte sonora. Por outro lado, o TRM passivo utiliza o sinal acústico recebido e invertido temporalmente por um arranjo de hidrofones para calcular o campo de pressão acústica na área selecionada, identificando o máximo de pressão acústica como a posição da fonte sonora.

Existem essencialmente cinco tipos de modelos (soluções computacionais para a equação de onda) para descrever a propagação do som no mar: modelo espectral ou "Fast Field Program" (FFP), modos normais (NM), modelo de raios, modelo de equação parabólica (PE) e soluções de diferenças finitas (FD), ou elementos finitos (FE) da equação de onda (JENSEN, 2011). O modelo de raios é mais adequado para frequências sonoras mais altas (>1 kHz), sendo empregado na modelagem do ambiente para utilização do algoritmo de localização proposto neste estudo.



2. PRINCÍPIO DE RECIPROCIDADE DO CAMPO SONORO

A simetria da função de Green é um resultado do princípio geral de reciprocidade da acústica linear. Sejam $G_\omega(r, r_1)$ e $G_\omega(r, r_2)$ duas funções de pressão de Green que satisfazem as equações diferenciais:

$$\rho(r)\nabla \cdot [\rho^{-1}(r)\nabla G_\omega(r, r_1)] + k^2 G_\omega(r, r_1) = -\delta(r - r_1)$$

$$\rho(r)\nabla \cdot [\rho^{-1}(r)\nabla G_\omega(r, r_2)] + k^2 G_\omega(r, r_2) = -\delta(r - r_2)$$

Multiplicando a primeira equação por $G_\omega(r, r_2)$ e a segunda por $G_\omega(r, r_1)$, e subtraindo as duas, seguido pela integração sobre um volume V , obtemos:

$$\frac{G_\omega(r_1, r_2)}{\rho(r_1)} - \frac{G_\omega(r_2, r_1)}{\rho(r_2)} = \int_{V'} \{G_\omega(r', r_2)\nabla \cdot [\rho^{-1}(r')\nabla G_\omega(r', r_1)] - G_\omega(r', r_1)\nabla \cdot [\rho^{-1}(r')\nabla G_\omega(r', r_2)]\} dV'$$

Usando integração por partes na forma da identidade de Green:

$$\int_V g\nabla \cdot f dV = - \int_V (\nabla g) \cdot f dV + \oint_S gf \cdot n dS$$

Com $f = \rho^{-1}\nabla G_\omega$, pode-se alterar a integral de volume para uma integral de superfície sobre a superfície S' do volume V' :

$$\frac{G_\omega(r_1, r_2)}{\rho(r_1)} - \frac{G_\omega(r_2, r_1)}{\rho(r_2)} = \int_{S'} \left\{ G_\omega(r', r_2)\rho^{-1}(r') \frac{\partial G_\omega(r', r_1)}{\partial n} - G_\omega(r', r_1)\rho^{-1}(r') \frac{\partial G_\omega(r', r_2)}{\partial n} \right\} dS'$$

Assim, a função de Green satisfaz a relação de reciprocidade:

$$\rho(r_2)G_\omega(r_1, r_2) = \rho(r_1)G_\omega(r_2, r_1)$$

se existir uma fronteira S' onde G_ω satisfaz as condições de contorno da fórmula:

$$\frac{\partial G_\omega(r', r)}{\partial n} - \eta(r')G_\omega(r', r) = 0$$

Onde $\eta(r')$ é um fator arbitrário.

As condições de contorno incluem tanto a condição de contorno de Dirichlet (onde $\eta(r') = \omega$), quanto a condição de contorno de Neumann (onde $\eta(r') = 0$).



A partir da função de Green, pode-se observar que o campo sonoro gerado por uma fonte depende apenas das posições relativas entre a fonte e o ponto de recepção. Se a fonte for colocada no ponto de recepção e vice-versa, o resultado será o mesmo. Isso é conhecido como o princípio de reciprocidade do campo sonoro (Jensen, 2011). Este princípio é uma característica de acústica linear, e indica a reversibilidade da propagação do campo sonoro entre dois pontos.

3. MODELO DE PROPAGAÇÃO DE RAIOS E PROBLEMAS NO CÁLCULO DO CAMPO SONORO

O modelo de propagação de raios representa o trajeto percorrido pelas ondas sonoras como a distância percorrida pelas linhas de raio; o tempo experimentado pelas trajetórias das ondas sonoras como o tempo de propagação das linhas de raio; e a energia transportada pelas trajetórias das ondas sonoras como a energia acústica propagada. A acústica de raios possui duas equações fundamentais: a equação de trajetória e a equação de intensidade. Quando a variação do índice de refração do meio é pequena em relação à escala de comprimento de onda, a acústica de raios pode ser aproximadamente expressa pelas seguintes equações:

$$(\nabla\tau)^2 = \left(\frac{c_0}{c}\right)^2 = k^2 \qquad (\nabla\tau)^2 + \frac{2}{A}\nabla A \cdot \nabla\tau = 0$$

Onde $A=A(x,y,z)$ é a amplitude da pressão sonora e $\tau=\tau(x,y,z)$ é a função de fase (ambos dependentes das coordenadas espaciais), e k é o número de onda.

Ao calcular o campo sonoro, é possível realizar simplificações adequadas, considerando as características do canal de múltiplos caminhos (JUNYING, 1992): (1) as trajetórias sonoras emitidas pela fonte sonora são periódicas; (2) a fonte sonora e os pontos de recepção possuem reciprocidade; (3) os parâmetros do campo sonoro são determinados pelos parâmetros das trajetórias de autorraios.

O modelo de raios, como uma aproximação para a equação de onda, é uma das interpretações mais intuitivas das diferentes categorias de modelos. Ele descreve o valor do campo sonoro em qualquer ponto da água como o resultado da sobreposição de raios sonoros, ou seja, das trajetórias dos autorraios (Eigenray) emitidos pela fonte sonora e capazes de chegar ao ponto de recepção. Os autorraios referem-se às trajetórias sonoras emitidas pela fonte sonora e que passam pelo ponto de recepção, contribuindo de maneira determinante para o campo sonoro. Devido às diferentes trajetórias dos autorraios, eles têm diferentes tempos de chegada, ângulos de chegada e intensidades de chegada.

A partir das linhas de energia dos autorraios, é possível obter uma expressão matemática aproximada para a função do sistema de multicaminhos, conforme indicado na equação (8). Nessa equação, são desconsideradas as características de absorção de frequência e fenômenos de dispersão do meio. A_i e τ_{oi} representam amplitude e atraso, respectivamente, das linhas de energia ao longo da i -ésima rota, onde N é o número de linhas de raios.



$$h_p(x, y, t) = \sum_{i=1}^N A_i \delta(t - \tau_{0i})$$

Se conhecermos a profundidade do oceano, o perfil de velocidade do som, as relações geométricas relativas entre a fonte sonora e os pontos de recepção, além dos perfis da superfície e do fundo do mar, podemos calcular os parâmetros das linhas de energia (A_i e τ_{0i}), e assim, obter a forma específica da função do sistema de múltiplos canais, concluindo assim a modelagem do canal.

4. ESPELHO DE TEMPO PASSIVO

O TRM passivo refere-se à implementação do processo de retransmissão temporal usando técnicas de processamento de sinal, em uma espécie de "retransmissão virtual". Enquanto o TRM ativo não requer conhecimento da estrutura do canal oceânico, sendo automaticamente focalizado, o TRM passivo precisa construir um canal virtual (bidimensional no espaço) usando técnicas de processamento de sinal. Quando o canal virtual coincide com o canal real, a técnica de TRM passivo atinge o mesmo efeito de focalização automática do ativo, permitindo a localização do alvo.

A Figura 1 apresenta o diagrama de blocos do processamento do espelho temporal. À esquerda da linha pontilhada está o processo de recebimento do sinal pelo sensor de pressão após percorrer o canal oceânico com múltiplos caminhos. À direita da linha pontilhada está o processo virtual de transmissão do espelho temporal passivo. No espelho temporal passivo, o Canal II representa o canal virtual modelado. Durante a busca em uma faixa predefinida de distância e profundidade, amostras da função de transferência do Canal II são coletadas. Quando o Canal II virtual coincide com o Canal I real, ocorre a focalização de saída. As distâncias e profundidades onde os picos de focalização aparecem são usadas para estimar a posição do alvo.



Figura 1 – Diagrama de Localização com TRM e um único sensor. Fonte: Elaboração própria

Suponha que o sinal emitido pela fonte sonora S seja $x(t)$, e as funções de resposta ao impulso dos canais I e II sejam $h_1(t)$ e $h_2(t)$, respectivamente. Para simplificar a expressão, inicialmente, vamos ignorar a influência do ruído local, representado por $n(t)$. Então, o sinal recebido pelo hidrofone R pode ser expresso como:

$$y(t) = x(t) * h_1(t)$$



Aqui, o símbolo "*" representa a operação de convolução. A saída $z(t)$ do Canal II é dada por:

$$z(t) = x(-t) * h_1(-t) * h_2(t)$$

Quando o canal II é idêntico ao canal I, $h_1(t)=h_2(t)$, e a equação se torna:

$$z(t) = x(-t) * h_1(-t) h_1(t) \quad (10)$$

A convolução das respostas ao impulso para o canal pode ser expressa como:

$$h_1(-t) \dot{\wedge} h_1(t) = h_1(-t) \cdot \dot{h}_1(-t+\tau)$$

Isso indica que a convolução da resposta ao impulso no tempo é igual à autocorrelação da resposta ao impulso do canal. O valor de pico ocorre em $\tau=0$, ou seja:

$$\begin{aligned} h_1(-t) \dot{\wedge} h_1(t) &= h(-t) \cdot \dot{h}(-t+\tau) \Big|_{\tau=0} \\ &= h(-t) * h(-t) \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} h(-t) \cdot h(-t+\tau) dt \\ &= R_h(0) \end{aligned} \quad (11)$$

Substituindo (11) em (10), obtemos:

$$z(t) = x(-t) * R_h(0) = x(-t) * \int_{-\infty}^{\infty} h^2(t) dt \quad (12)$$

Pode-se observar a partir de (12) que quanto mais caminhos houver no canal multipercurso, maior será o valor de pico da saída do espelho de reversão temporal.

Para o processamento da localização passiva usando o TRM, após a inversão do sinal recebido no tempo, o sinal não é mais transmitido para o oceano da mesma forma que no modo ativo, mas sim através de um processo de retransmissão virtual para realizar o foco do tempo inverso. Quando o canal II é igual ao canal I, a função de autocorrelação do canal produz a saída máxima, ou seja, realiza o retrofoco, e as coordenadas correspondentes ao ponto focal são as coordenadas da fonte sonora S. Este é o princípio básico da localização passiva com espelho de tempo, e o princípio de reciprocidade do campo sonoro no oceano é a base física para a detecção e localização de alvos.

A expressão matemática para a localização passiva com TRM pode ser descrita em função de $S(\omega)$, $H_1(\omega)$, $N(\omega)$, $H_2(\omega)$ e $Z(\omega)$ que são, respectivamente, o espectro em frequência do sinal transmitido, a função de transferência do canal oceânico I, o ruído devido à interferência do fundo, a função de transferência do canal simulado II e a pressão sonora. Quando o ruído devido à interferência do fundo é desconsiderado, temos: A expressão matemática para a localização passiva com TRM pode ser descrita em função de $S(\omega)$, $H_1(\omega)$, $N(\omega)$, $H_2(\omega)$ e $Z(\omega)$,



que são, respectivamente, o espectro em frequência do sinal transmitido, a função de transferência do canal oceânico I, o ruído devido à interferência do fundo, a função de transferência do canal simulado II e a pressão sonora.

Quando o ruído devido à interferência do fundo é desconsiderado, temos:

$$Z(\omega) = H_1^i(\omega) \cdot S^i(\omega) \cdot H_2(\omega) \quad (13)$$

Sendo a autocorrelação do sinal definida como:

$$R(\omega) = Z^i(\omega) \cdot Z(\omega)$$

Temos então:

$$R(\omega) = [H_1(\omega) \cdot S(\omega) \cdot H_2^i(\omega)] \cdot [H_1^i(\omega) \cdot S^i(\omega) \cdot H_2(\omega)] \\ = H_1^i(\omega) \cdot H_1(\omega) \cdot S(\omega) \cdot S^i(\omega) \cdot H_2(\omega) \cdot H_2^i(\omega) \quad (14)$$

Quando $H_1(\omega)$ e $H_2(\omega)$ são correspondentes, $H_1(\omega) \cdot H_2^i(\omega) = |H_1(\omega)|^2$, a equação tem o máximo valor de saída, alcançando a concentração de energia e o efeito de foco automático do espelho de tempo.

A previsão de $H_2(\omega)$ (função de transferência do canal simulado) é crucial para a técnica de localização passiva com espelho de tempo. Quando esta variável é convolucionada com o sinal recebido pelo hidrofone, é realizado o processo de retransmissão do espelho de tempo passivo. $H_{(i,j)}(\omega)$ é a resposta em frequência do canal de propagação em um ponto no espaço (representado bidimensionalmente por profundidade e distância) até o hidrofone receptor. Quando um desses canais de propagação coincide com o canal de transmissão real, a saída atinge o máximo, ou seja, atinge a localização do alvo.

O alcance da busca (região) e o passo da busca determinam o tamanho do cálculo da operação TRM passiva. Quanto maior o alcance da busca e menor o passo de busca, mais pontos precisam ser calculados e, portanto, maior será a quantidade de operações necessárias.

5. EXPERIMENTO COM DADOS DE SIMULAÇÃO

Para entender a viabilidade e precisão da combinação do TRM com o método de raios na localização passiva de uma fonte sonora, este estudo propôs um experimento simulado de localização bidimensional com TRM.

A Figura 2 ilustra a modelagem do ambiente utilizado na simulação. As condições de simulação incluíram um perfil de velocidade do som uniforme, sendo a velocidade do som na água de 1500 m/s, conforme mostrado na Figura 3; uma profundidade local de 100 metros; a densidade da camada de sedimentos é de 1750, o coeficiente de atenuação no fundo é zero, e a velocidade do som no sedimento é de 1563 m/s. A fonte sonora simulada emitiu um tom com duração de 1 segundo na frequência de 1 kHz e a taxa de amostragem empregada foi de 6 kHz.

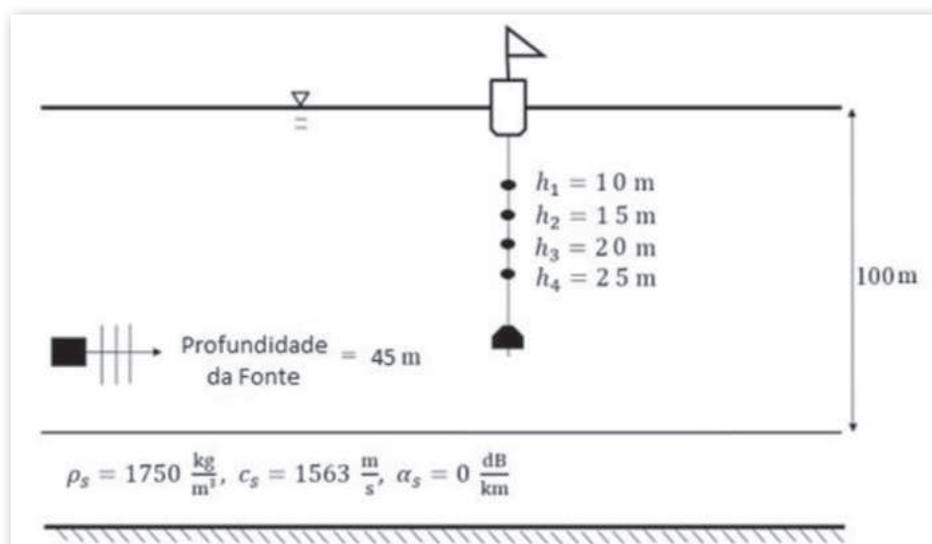


Figura 2 – Modelo de ambiente simulado com uma fonte e arranjo de 4 receptores

Com base no canal modelado, utilizou-se um software especializado em cálculos de propagação sonora para gerar um canal simulado entre dois pontos no espaço. Os campos acústicos foram modelados usando o modelo de raios TRACEO devido à frequência relativamente alta dos sinais processados. Foi estabelecido um sistema de coordenadas cartesianas, onde o eixo X representa a distância horizontal e o eixo Y, a profundidade. Considerando as coordenadas do hidrofone de recepção como $(0, Y_0)$ e as coordenadas de diversos pontos no espaço como (X_i, Y_i) , foi modelada a resposta do canal, a partir de cada hidrofone, para todos os pontos do espaço, que representam as possíveis localizações da fonte sonora. A Figura 4 traz o traçado dos autorraios e o padrão de chegadas para uma fonte simulada na posição $(500, 45)$.

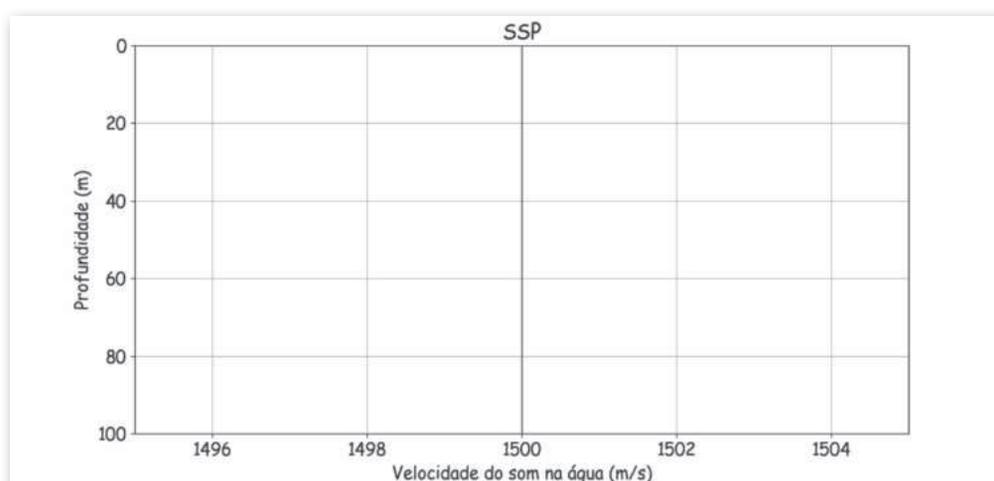


Figura 3 – Perfil de velocidade do som na água para o ambiente simulado

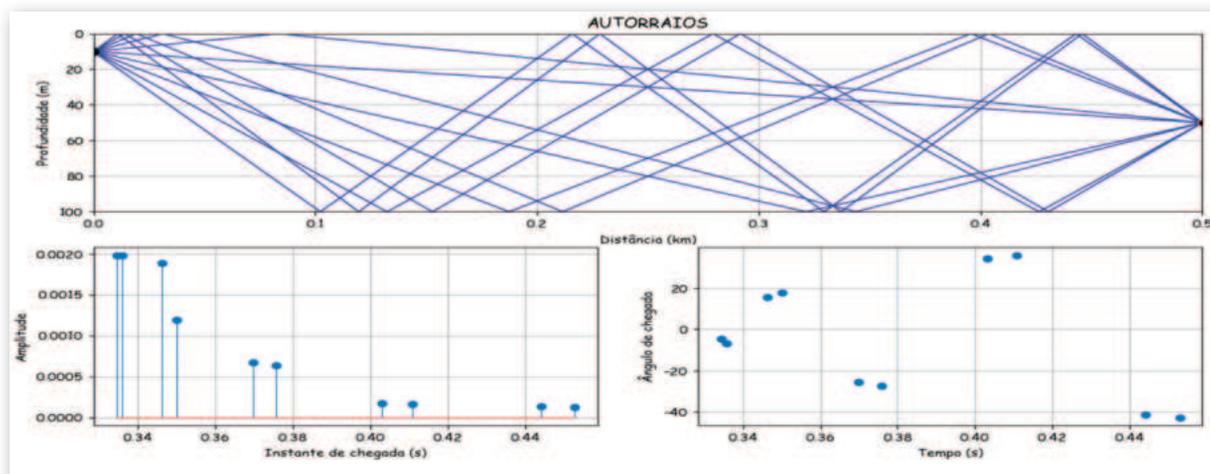


Figura 4 – Traçado dos autorraios e amplitudes e atrasos dos raios recebidos pelo hidrofone na profundidade de 10m para a fonte na posição (500,45)

6. SIMULAÇÃO DE LOCALIZAÇÃO COM ESPELHAMENTO TEMPORAL

A seguir, são apresentados os passos para o processamento de dados de simulação para a localização com espelhamento temporal usando um único hidrofone. As etapas principais do processamento de simulação incluem:

1. A fonte emite um sinal $s(t)$ na frequência de 1 kHz;
2. O sinal emitido, após atravessar o canal, é recebido pelos hidrofones, resultando nos sinais recebidos $y_1(t), y_2(t) \dots y_n(t)$;
3. São estimados pontos em um espaço bidimensional de busca, como um conjunto de pontos com distância horizontal x_i em relação ao arranjo e profundidade y_i em relação à superfície da água, onde os passos de distância e de profundidade (passos de busca) determinam o limite de precisão de localização;
4. Utilizando o modelo de propagação de raios TRACEO, são calculados, a partir de cada hidrofone, a amplitude e o atraso dos autorraios que chegam a cada ponto da grade bidimensional de busca e, a partir disto, são calculadas as respostas ao impulso dos canais $h_n(t, X_i, Y_i)$ para um ponto específico no espaço;
5. Os sinais recebidos $Y_n(t)$ são invertidos no tempo, obtendo $Y_n(-t)$, e convoluídos com a resposta ao impulso $h_n(t, X_i, Y_i)$ para cada ponto da grade, resultando em um sinal reconstruído $z_n(t, X_i, Y_i)$ para cada hidrofone;
6. Os sinais reconstruídos $z_n(t, X_i, Y_i)$ são invertidos no tempo e somados, obtendo $z_{\text{soma}}(-t, X_i, Y_i)$;
7. É feita a correlação cruzada entre o sinal buscado $s(t)$ e $z_{\text{soma}}(-t, X_i, Y_i)$;
8. O ponto com o máximo valor de correlação é assumido como a localização da fonte sonora.

O resultado do processamento do algoritmo de localização é mostrado na figura a seguir:

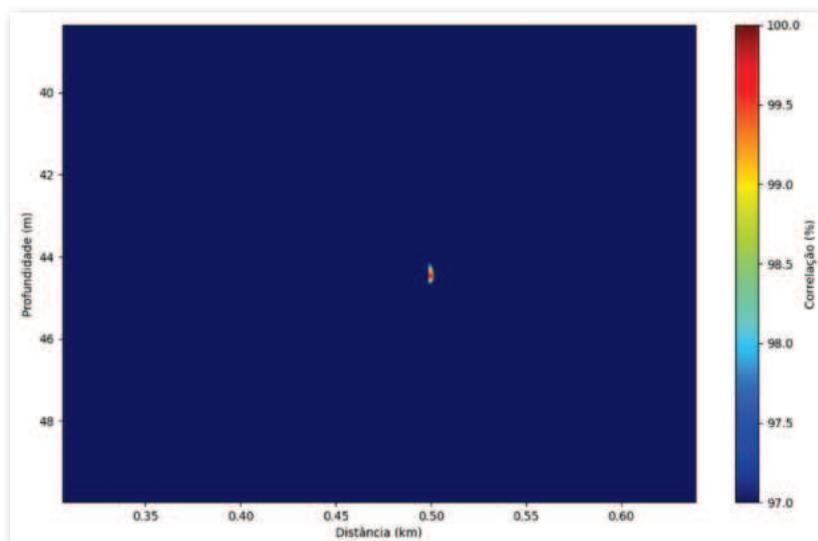


Figura 5 – Foco estimado na posição da fonte pelo algoritmo de localização com 4 hidrofones. Fonte: Elaboração Própria

Na Figura 5, a posição da fonte sonora é definida como (500,45), em unidades de metros. A partir da figura, é possível observar que a busca bidimensional após o processamento TRM consegue focar novamente na posição da fonte sonora definida, atingindo boa precisão de localização.

De modo a aproximar as condições simuladas de um ambiente real, pode ser introduzido um ruído de interferência local ao sinal de saída. Considerando a fonte na posição (500,45), e a presença de um ruído branco de banda limitada, com média zero, a figura abaixo ilustra os resultados do processamento para diferentes relações sinal-ruído (SNR), nomeadamente 0 dB, -5 dB, -10 dB e -15 dB:

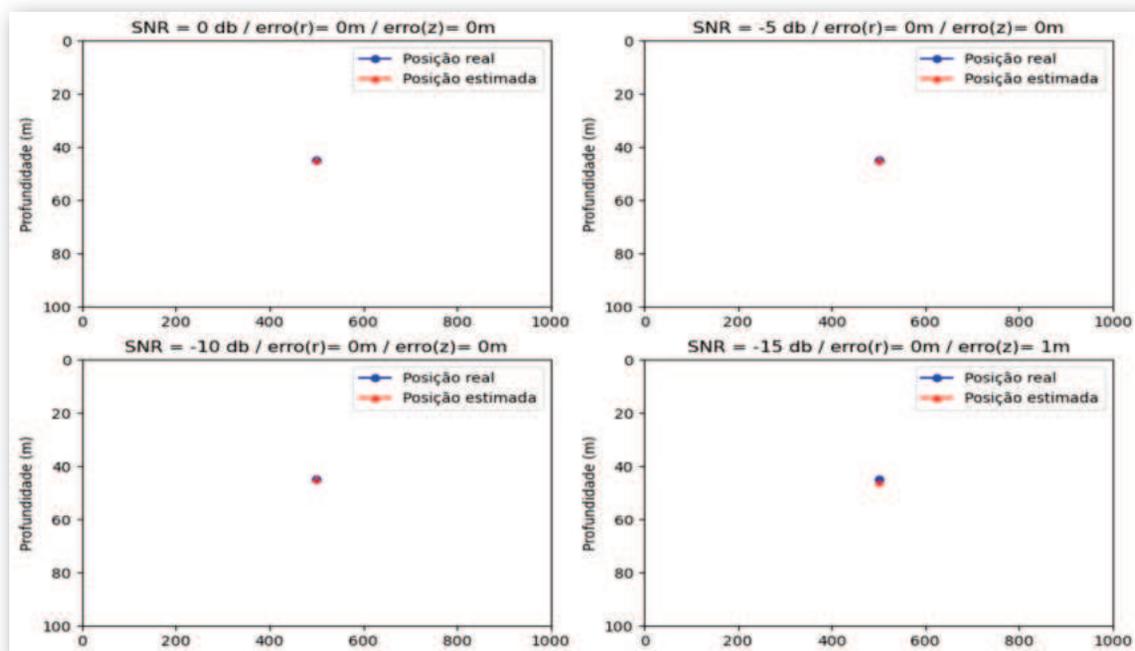


Figura 6 – Erros de estimativa em distância (r) e profundidade (z) para a localização da fonte sonora pelo algoritmo de localização passiva com 4 hidrofones para diferentes SNR. Fonte: Elaboração Própria



Portanto, mesmo em condições com alto nível de ruído, a técnica de localização com espelhamento temporal possui valor de aplicação. No entanto, mesmo para o processamento TRM com um único hidrofone, o volume de cálculos é substancial, apresentando desafios significativos na implementação em sistemas de tempo real.

7. O EFEITO DOS PARÂMETROS DO GUIA DE ONDAS

A propagação do som depende dos parâmetros do guia de ondas submarino. Para a modelagem do canal, assume-se que a velocidade do som na água, a profundidade local e os parâmetros do leito marinho são conhecidos. Nesta seção, é investigada a sensibilidade do algoritmo de localização aos parâmetros do guia de ondas.

Os resultados experimentais mostram que a estimativa de alcance é principalmente influenciada pela velocidade do som na água. A Figura 7 mostra como o erro de estimativa em distância varia com as alterações na velocidade do som na água.

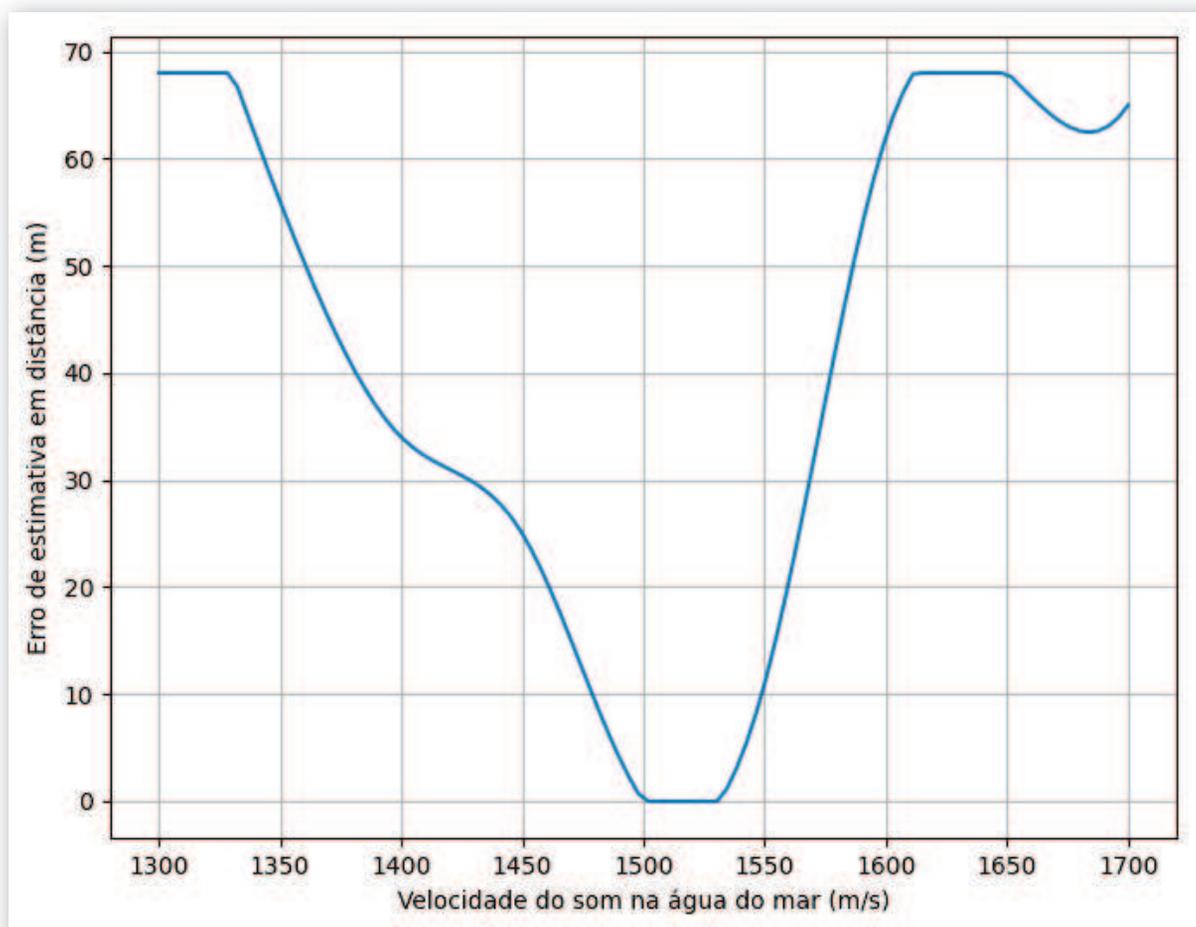


Figura 7 – O efeito do perfil de velocidade do som no mar sobre a localização estimada da fonte. Fonte: Elaboração Própria

Pode-se observar que o erro de estimativa é mínimo quando a velocidade do som é igual a 1500 m/s, que corresponde ao valor correto. Os resultados experimentais mostram que a estimativa de alcance não é sensível a outros parâmetros do guia de ondas, como a velocidade de propagação do som no fundo.

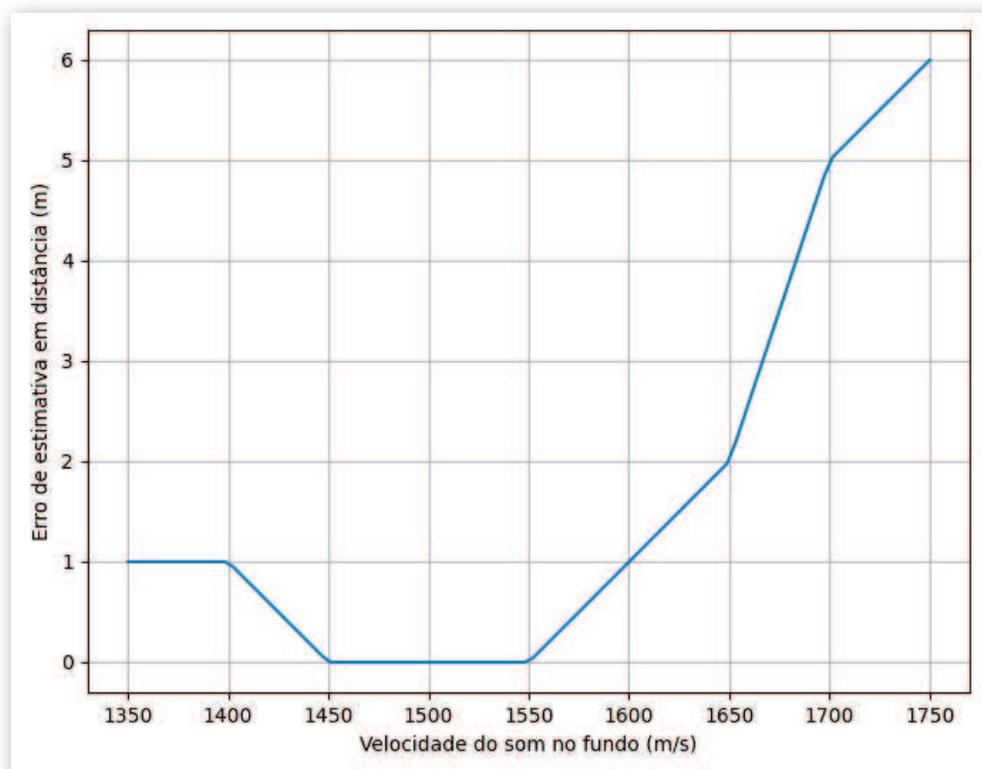


Figura 8 – O efeito da velocidade de propagação do som no fundo sobre a localização estimada da fonte

8. LOCALIZAÇÃO PASSIVA COM TRM EM AMBIENTE REAL

Após a avaliação do desempenho do algoritmo de TRM na localização passiva de fontes com dados simulados, esta pesquisa utilizou dados experimentais coletados pelo Signal Processing Laboratory (SiPLAB) da Universidade do Algarve durante o experimento CALCOM'10 para investigar sua eficácia em ambientes oceânicos reais.

O experimento envolveu o uso de duas boias acústico-oceanográficas (AOB), cada uma equipada com um VLA (Vertical Line Array) composto por 16 hidrofones espaçados 4 m entre si, em profundidades variando de 6,3 a 66,3 m. Uma fonte acústica Lubell 1424 foi rebocada a uma velocidade aproximada de 4 nós ao longo de várias trajetórias, emitindo uma série de sinais na faixa de 500-2000 Hz.

O modelo base do ambiente utilizado para simulações, representado na Figura 9, é baseado nas condições do evento P6, com distância fonte-receptor de até 1,6 km, profundidade da fonte de 7 m, profundidade local variando de 109 m a 125 m a uma distância do receptor de 1,6 km.

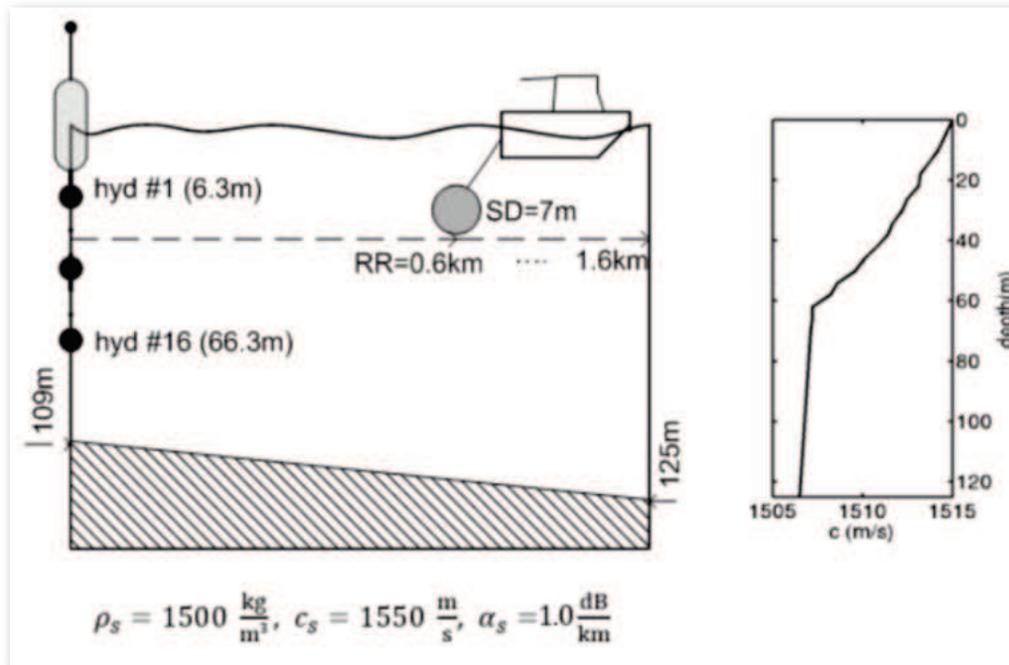


Figura 9 – Modelo Ambiental baseado nas condições do experiment CALCOM'10. Fonte: Adaptado de Felisberto et al. (2010)

O perfil de velocidade do som considerado nas simulações é o perfil médio de velocidade do som derivado pela fórmula de Mackenzie a partir dos dados de temperatura adquiridos pelo conjunto de sensores de temperatura no receptor, assumindo uma salinidade constante de 36 ppm e o alcance da fonte foi derivado das informações do GPS. A figura 10 mostra o efeito do foco na posição da fonte para o sinal recuperado do evento P6-01.

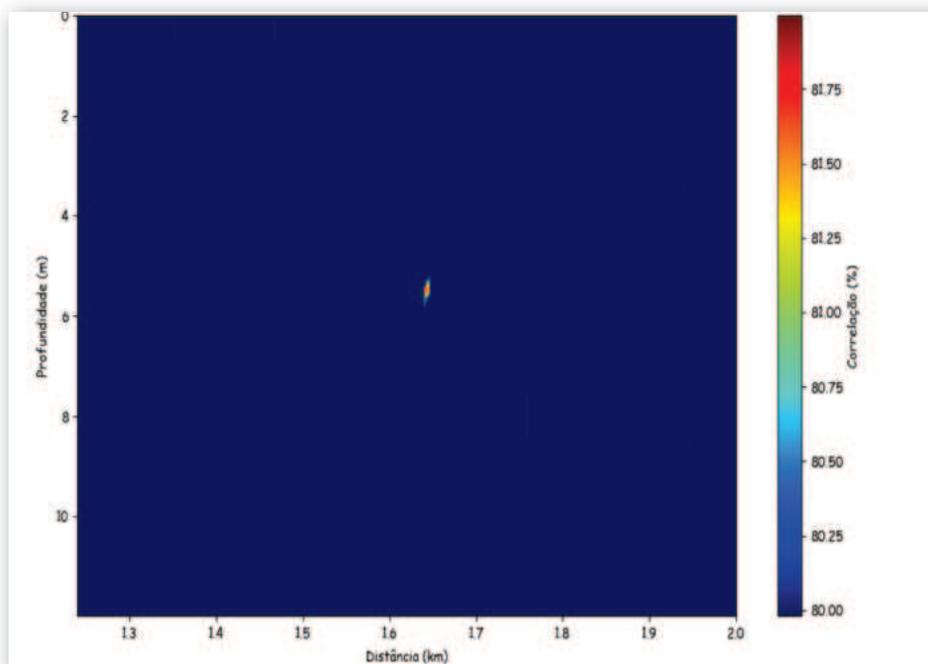


Figura 10 – Foco na posição da fonte estimada pelo algoritmo de localização com 16 hidrofones



A Tabela 1 indica as posições estimadas com o emprego do algoritmo em um TRM de 16 elementos, conforme o modelo empregado no experimento. Ela revela que o algoritmo empregado na localização estimada da fonte é consistente para emprego durante o experimento em campo, com a implementação de um TRM com 16 elementos permitindo uma estimativa precisa da distância da fonte.

Tabela 1 – Localizações da fonte sonora estimadas pelo algoritmo de TRM com os dados do experimento

Evento	Posição real (m)	Posição Estimada (m)	Erro (m)
P6-01	r = 1644 m	r = 1643 m	1
	z = 7 m	z = 6 m	1
P6-03	r = 1582 m	r = 1585 m	3
	z = 7 m	z = 6 m	1
P6-06	r = 1513 m	r = 1513 m	0
	z = 7 m	z = 7 m	0
P6-08	r = 1464 m	r = 1460 m	4
	z = 7 m	z = 4 m	3
P6-13	r = 1305 m	r = 1307 m	2
	z = 7 m	z = 2 m	5
P6-16	r = 1213 m	r = 1211 m	2
	z = 7 m	z = 3 m	4
P6-18	r = 1154 m	r = 1153 m	1
	z = 7 m	z = 8 m	1

Os resultados demonstram que, com o emprego do algoritmo de localização, é possível obter o posicionamento da fonte sonora com erros inferiores a 5 metros, mesmo para distâncias de mais de 1600 metros.

9. CONCLUSÃO

Ao analisar a teoria do processo de retransmissão temporal ativa, conclui-se que a tecnologia de localização passiva com espelhos temporais pode ser implementada por intermédio do processamento de sinais.

Empregando os programas desenvolvidos para localização de fontes sonoras submarinas, conclui-se que esses algoritmos são capazes de realizar a localização passiva, atingindo razoável precisão na busca bidimensional, especialmente em distância.



A análise dos resultados do processamento dos dados do teste no mar para a tecnologia de TRM mostra que, sob condições oceânicas reais, a tecnologia de localização passiva pesquisada neste trabalho pode realizar a localização de alvos, tendo, assim, valor para pesquisa futura.

No entanto, a redução do volume de processamento do algoritmo de localização com espelhos temporais é uma questão importante que precisa ser resolvida para a aplicação prática. Encontrar modelos de propagação oceânica mais simplificados e técnicas de cálculo de canal mais simples, bem como algoritmos de espelhos temporais mais simples, são abordagens fundamentais para reduzir o volume de processamento e tornar a técnica aplicável a sistemas de tempo real.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carter, G.C. Passive ranging errors due to receiving hydrophone position uncertainty. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 65, 1979, pp. 528-530.

DOONAN, I.J.; COOMBS, R.F.; MCCLATCHIE, S. The absorption of sound in seawater in relation to the estimation of deep-water fish biomass. *ICES Journal of Marine Science*, Vol. 60, 2003, pp. 1047–1055.

Dowling, D.R., SONG, H.C. *Acoustic time reversal in the Ocean*. Ocean Acoustics to Acoustical Oceanography, Cambridge University Press, New York, 2005.

FELISBERTO, P., JESUS, S., ZABEL, F. CALCOM'10 Sea Trial: Field calibration data report. Relatório Técnico 04/10, SiPLAB, University of Algarve, Faro, Portugal, 2010.

Ferguson, B.G., LO, K.W. Passive ranging errors due to multipath distortion of deterministic transient signals with application to the localization of small arms fire. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 111, 2002, pp. 118-128.

Ferguson, B.G. Improved time-delay estimates of underwater acoustic signals using beamforming and prefiltering techniques. *IEEE J. Oceanic Eng.*, Vol. 14, 1989, pp. 238-244.

Fink, M.; Prada, C.; Cassereau, D. Self focusing in inhomogeneous media with time reversal acoustic mirrors. *Proc. IEEE Ultrasonics Symp.*, Vol. 2, 1989, pp. 681-686.

Jackson, D.R., Dowling, D.R. Phase conjugation in underwater acoustics. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 89, 1991, pp. 171-181.

JENSEN, F. B., KUPERMAN, W. A., PORTER, M. B., et al. *Computational Ocean Acoustics*. 2nd ed. New York, Springer, 2011.

Junying, h. *Underwater Acoustic Communication Channel*. Harbin Engineering University, Harbin, 1992, pp. 30-35.



Kuperman, W.A., Jackson, D.R. Ocean acoustics, matched-field processing and phase conjugation. *Imaging of Complex Media with Acoustic and Seismic Waves*, Springer-Verlag, Berlin, 2002, pp. 43-97.

Prada, C., WU, F., Fink, M. The iterative time reversal mirror: A solution to self-focusing in the pulse echo mode. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 90, 1991, pp. 1119- 1129.

Valencia-Palma, A.; Córdova-Esparza, D.M. Sound source localization using beamforming and its representation in a mixed reality embedded device. *Pattern Recognition. Computer Science 11524*, Cham, 2019.

WU, S.F., ZHU, N. Locating arbitrarily time-dependent sound sources in three dimensional





MAPEAMENTO DE MARCAS ONDULADAS COMO AUXÍLIO À INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE HIDROGRAFIA E SEGURANÇA DA NAVEGAÇÃO

Capitão-Tenente (T) Fernanda Monteiro Passamani¹

RESUMO

O presente estudo contribui para o entendimento da natureza do fundo marinho em ambientes fluviais e costeiros. Destaca-se a relevância do mapeamento de marcas onduladas na compreensão das condições ambientais de deposição e de morfodinâmica do fundo. O estudo destas estruturas sedimentares, seu cadastro em banco de dados e a divulgação ao navegante contribuem com o planejamento de atividades costeiras e com a segurança da navegação.

Palavras chave: Marcas onduladas. Marcas de onda. Batimetria. Segurança da navegação.

ABSTRACT

The present study contributes to the understanding of the nature of the seabed in fluvial and coastal environments. The relevance of mapping sandwaves is highlighted in understanding the environmental conditions of deposition and bottom morphodynamics. The study of these

¹Oficial do Quadro Técnico graduada em geologia (UFRJ). Mestrado em Geologia (UFRJ), servindo presentemente no Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). E-mail para contato: passamani@marinha.mil.br



sedimentary structures, their registration in a database and their warning to mariners contribute to the planning of coastal activities and to the safety of navigation.

Keywords: Ripple marks. Sandwaves. Bathymetry. Safety of navigation.

1. INTRODUÇÃO

As feições de descrição do fundo marinho fazem parte dos dados geoespaciais marinhos analisados, armazenados e intercambiados pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), Marinha do Brasil (MB). Os sedimentos amostrados ou observados no leito marinho, rochas ou materiais de outra natureza como algas, além de feições de perigos à navegação, são analisados no Banco de Dados Batimétricos (*Bathy*) e podem ser classificados e cadastrados no Banco de Dados de Produção Cartográfica (HPD) de acordo com a padronização da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), *International Hydrographic Organization (IHO)*.

As marcas onduladas (*ripple marks* ou *ripples*) são estruturas sedimentares primárias, ou seja, feições que são formadas durante a sedimentação. Sua gênese ocorre sobre materiais inconsolidados e predominantemente arenosos, em ambientes de sedimentação siliciclástica ou carbonática, sendo ainda mais comuns as descrições em ambientes de águas rasas (BOGGS JR., 2006). Estruturas primárias são produtos do ambiente deposicional e, portanto, a partir da caracterização deste tipo de estrutura sedimentar podem ser inferidas as condições ambientais de deposição ou o paleoambiente da área estudada. Ambientes deposicionais nos quais o movimento da água é rápido o bastante e se encontra em uma profundidade suficiente tal que sejam desenvolvidas estruturas sedimentares de grande escala podem ser divididos em três grupos: rios,

ambientes dominados por maré e ambientes marinhos (Ashley, 1990).

O mapeamento de marcas onduladas a partir da aquisição de dados batimétricos deve ser realizado no CHM, a fim de maximizar o aproveitamento das informações oriundas de levantamentos hidrográficos (LH). A definição das áreas de ocorrência de marcas onduladas e sua posterior análise morfodinâmica podem servir como auxílio ao planejamento de coleta de sedimentos, ao planejamento de obras sobre águas, para a instalação de cabos e dutos submarinos ou construção de parques eólicos, além de disponibilizar mais informações sobre o fundo marinho aos navegantes através das cartas náuticas.

2. METODOLOGIA

A pesquisa foi iniciada a partir de uma seleção entre os dados batimétricos disponíveis no *Bathy*, filtrados com base em sua privacidade. Todos os dados públicos, executados pela MB, foram observados em busca de marcas onduladas. Dos levantamentos hidrográficos observados, foram selecionadas duas áreas para análise, uma em ambiente fluvial e uma em ambiente costeiro. A escolha baseou-se em suas características distintas e representativas, que oferecem um amplo espectro de condições ambientais para a formação destas feições sedimentares. Especificamente, a região do Rio Paraguai foi selecionada por sua relevância na rede hidrográfica brasileira e por suas dinâmicas fluviais específicas, enquanto a baía de Sepetiba representa um importante ambiente costeiro, sujeito a intensas modificações nos processos de sedimentação em virtude das variações de correntes.

O LH do Rio Paraguai foi realizado pelo Aviso Hidroceanográfico Fluvial "Caravelas", em junho de 2019, com a finalidade de atualização da Carta Náutica (CN) 3365 -



“Do Porto Tarumã a Corumbá”, próximo às cidades de Corumbá e Ladário, e ao Porto Geral de Corumbá, estado do Mato Grosso do Sul (MS). Os dois LH de zona costeira foram realizados pelo Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais nos anos de 2011 e 2012 na região da baía de Sepetiba, litoral sul do estado do Rio de Janeiro, com a finalidade de atualização das antigas CN 1622 – “Baía de Sepetiba” e CN 1621 – “Baía da Ilha Grande – Parte Leste (Terminal da Ilha Guaíba)”.

As análises de superfícies e perfis batimétricos foram realizadas com o software *CARIS BASE Editor*, versão 5.5 (*Teledyne CARIS, Inc, 2020*). Os perfis foram criados com amostragem a cada 0,3 metro. As imagens foram geradas sem exagero vertical, em escala de cores padrão *rainbow (map)*, que varia de vermelho a azul, das menores para as maiores profundidades.

3. CLASSIFICAÇÃO

3.1. Marcas onduladas

As marcas onduladas podem ser classificadas quanto à sua geometria em simétricas ou assimétricas. As marcas onduladas simétricas são formadas por ondas ou por oscilação estática da água (*wave ripple*,

oscillation ripple); enquanto as marcas onduladas assimétricas são formadas por correntes unidirecionais eólicas ou subaquosas (*current ripple*), que em raros casos também podem formar marcas onduladas simétricas. A observação direta destas feições, em sedimentos atuais e afloramentos rochosos, e/ou indireta, como a partir dos métodos geofísicos de sonografia, possibilita a interpretação da direção e sentido de correntes e, conseqüentemente, permite a inferência das condições ambientais de deposição ou do paleoambiente sedimentar.

Diversas nomenclaturas e classificações foram utilizadas ao longo do tempo a partir dos parâmetros geométricos das marcas de onda. O comprimento de onda, ou espaçamento (*wavelength, spacing – L*), pode ser calculado pela distância entre duas cristas ou dois vales sucessivos da onda, e o desnível entre a crista e o vale é a sua altura (*height – H*); o valor de amplitude da onda (*A*) é correspondente à metade de sua altura. Collinson e Thompson (1982) descrevem marcas onduladas (*ripple marks*) como minidunas, com comprimentos de onda geralmente menores que 50 cm e amplitudes que não excedem três centímetros. Acima dessas dimensões as feições passam a ser chamadas de dunas ou *sandwaves*. Sua estrutura interna comum é a laminação cruzada, produzida pela migração das minidunas.

Tabela 1 – Termos comumente utilizados para estruturas sedimentares de grande escala em águas rasas (Ashley, 1990)

Termo comumente utilizado	Altura em metros (H)	Espaçamento em metros (L)	Razão H/L
<i>Megaripple</i>	0,5 – 1,5	10 – 20	1:10 – 1:25
<i>Sandwave</i> ou <i>Sand wave</i>	1,0 – 5,0 12 – 18	Médio 100-400 Máximo ≥1.000	1:30 – 1:100 (ou maior)



Há algumas décadas, a classificação mais comum para as feições de grande escala as dividem em *megaripples* (marcas onduladas de grande porte) e *sandwaves*, conforme Tabela 1. Ashley (1990) propõe que todas as estruturas sejam chamadas de dunas, pois refletem processos deposicionais similares. Quanto a diferentes processos deposicionais, elas poderiam ser divididas em dunas eólicas ou dunas subaquosas. Até hoje, existem diversas nomenclaturas em uso, e os termos em inglês também são comumente utilizados em publicações nacionais, o que dificulta a padronização e o entendimento acerca destas feições. Neste trabalho optou-se por utilizar marcas onduladas e não marcas de onda, pois se entende que a última possui conotação genética, sendo marcas geradas por ondas.

Trabalhos mais recentes trazem modelos de predição de altura das feições de onda (*ripple height*) como função do tamanho do grão (sedimentos finos), velocidade da corrente, profundidade da água e comprimento de onda. Bartholdy *et al.* (2015) confirma a dependência das dimensões das marcas onduladas ao tamanho do grão e sua relativa insensibilidade quanto à velocidade do fluxo, com uma variação de altura das feições de aproximadamente 4% para velocidades de corrente variando entre 0,4 m/s a 0,6 m/s. Entretanto, devido à alta complexidade destes fatores, a natureza da formação destas feições ainda não é entendida.

3.2 Natureza da superfície

De acordo com a padronização da OHI, as descrições do material encontrado no fundo, seja ele marinho, fluvial ou lacustre, e suas características físicas podem ser representadas nos bancos de dados como objetos da classe “área do fundo do mar” (*seabed area* – acrônimo: SBDARE). A principal característica deste objeto a ser preenchida é a

natureza da superfície, ou natureza do fundo (atributo: *natur*). A natureza da superfície pode ser acompanhada de um termo qualitativo (qualidade do fundo – atributo: *natqua*), uma característica adicional que representa, por exemplo, o tamanho da partícula (fina, média, grossa), a origem do material (vulcânico, calcário) ou algum aspecto físico (quebrado, mole, etc.), conforme Tabela 2.

As marcas onduladas são consideradas como um tipo especial de fundo, as *sandwaves* (acrônimo: SNDWAV, Tabela 3). As *sandwaves* são descritas pela OHI como regiões com cristas tipo dunas de areia, abaixo d’água, formadas pela ação da corrente, como resultado da mobilidade dos sedimentos. De acordo com o Dicionário Hidrográfico (OHI, 2023), *sandwave* ou “ondulação arenosa” é uma zona de extensa sedimentação, caracterizada pelas suas ondulações em sedimentos de águas rasas, compostos por areia. O comprimento de onda pode chegar a 100 metros e sua amplitude pode chegar a 20 metros. De acordo com esta publicação, pode também ser chamada de *mega-ripple*. Cabe ressaltar que, anteriormente à amplitude, era descrita como de “cerca de 0,5 metro”, o que foi corrigido nesta última atualização da publicação.

O cadastro das *sandwaves* no HPD pode ser realizado com a inserção de objetos de geometria do tipo ponto, linha ou área, a partir de um levantamento batimétrico de alta qualidade; o principal atributo a ser preenchido para este objeto é a altura vertical da feição (*vertical length* – *verlen*). As marcas onduladas, apesar de observadas em levantamentos hidrográficos há bastante tempo, começaram a ser inseridas nos bancos de dados como objetos da classe SBDARE de geometria do tipo ponto e posteriormente do tipo área (sendo a *natur* predominante na área lançada como areia). As primeiras feições SNDWAV foram cadastradas no CHM a partir do ano de 2023.



Tabela 2 – Simbologia aplicada a alguns dos tipos de natureza da superfície (natsur) e qualidade do fundo (natqua) existentes e sua respectiva terminologia em português e inglês. Fonte: Adaptado de OHI (2022)

Natureza da superfície Simbologia	Descrição (pt/en)	Simbologia (en)
A	Areia Sand	S
L	Lama Mud	M
Arg	Argila Clay	Cy
Ld	Lodo, vasa (Silte*) Silt	Si
P	Pedras Stones	St
C	Cascalho Gravel	G
S	Seixos Pebbles	P
Mat	Matacões, Seixos grandes Cobbles	Cb
R	Rocha Rock, Rocky	R
P e d	Pedregulho Boulder	Bo
Cor	Coral Coral	Co
Con	Conchas Shells (skeletal remains)	Sh
Af	Fina Fine	f
Am	Média Medium	m
Ag	Grossa Coarse	c
q	Quebrado, Quebradiço Broken	bk
vsc	Viscoso Sticky	sy
ml	Mole Soft	so
rig	Rígido Stiff	sf
vul	Vulcânico Volcanic	v
cal	Calcário Calcareous	ca
d	Duro Hard	h

Tabela 3. Tipo especial de fundo: padronização para a inserção de marcas onduladas no HPD (OHI, 2022). Fonte: (OHI, 2022)

Objeto (Acrônimo)	Descrição	Simbologia
Sand waves ou Sandwaves (SNDWAV)	Ondas de areia de grande porte	

3.2. Ambientes sedimentares

3.2.1. Ambiente fluvial

Rios são corpos aquosos canalizados nos quais o fluxo é geralmente caracterizado por fatores geomorfológicos e climáticos. Os rios meandrantés são característicos de ambientes com gradiente moderadamente baixo, como as grandes planícies do Pantanal e da Amazônia, sendo o Rio Paraguai o principal rio da bacia hidrográfica do Pantanal. Diversos autores (eg. Miall, 1981; Ashley, 1990; Suguio, 2003) destacam a extrema complexidade dos fatores controladores da morfologia de um canal, tais como descarga (quantidade e variabilidade); carga de sedimentos (quantidade, tipo e granulometria); largura do canal; velocidade de fluxo; declividade e rugosidade do leito do canal, bem como fatores climáticos (pluviosidade, derretimento de geleiras, variação sazonal de temperatura) e geológicos, como a declividade regional (ou gradiente), o tamanho das partículas carregadas e a viscosidade das camadas.

O fluxo em rios meandrantés é geralmente contínuo e regular, através de um único canal, em que as cargas de suspensão e do fundo encontram-se em quantidades mais ou menos equivalentes. Nas áreas próximas ao ponto de maior inflexão do canal, ocorre a deposição de sedimentos ou erosão da margem, devido às diferenças de velocidade de corrente. As formas de leito se modificam conforme os parâmetros acima citados, sendo a

variação de velocidade da corrente e tamanho das partículas as mais experimentadas; ambas fortemente afetadas pela variação de profundidade em águas muito rasas. O aumento da profundidade tende a exigir correntes de velocidade cada vez maiores, e a menor velocidade capaz de produzir micro-ondulações em areia fina é da ordem de 20 cm/s (SUGUIO, 2003). Entretanto, a partir de uma velocidade crítica, esse parâmetro não desempenha papel importante. Para que se originem formas de leito de regime de fluxo superior, o aumento das profundidades de água corresponde a velocidades de fluxo cada vez maiores. Estes fatores são importantes para o estudo de controle de deposição e erosão, haja vista as variações medidas ao longo do tempo, e podem ser aplicados à hidrografia.

3.3.2 Ambiente costeiro

Os processos físicos que atuam na morfodinâmica costeira são gerados predominantemente pela ação das ondas e correntes costeiras ou pela ação das marés. Algumas plataformas continentais com condições hidrodinâmicas de alta energia podem apresentar como feições de relevo os bancos arenosos (*sand ridges*) e as marcas onduladas. A composição granulométrica dos sedimentos de praia possui influência direta em sua morfologia, e as variações morfológicas periódicas observadas no ambiente costeiro são derivadas principalmente das alternâncias na energia de ondas.



Cordões ou barreiras arenosas são feições alongadas paralelas à linha de costa, normalmente alongados e estreitos e com baixo-relevo; se totalmente isolados do continente, são chamadas de ilhas barreiras (*barrier islands*); se ligados ao continente por uma das extremidades, são denominados pontais arenosos (*barrier spits*; Baptista Neto *et al.*, 2004). O exemplo que ocorre no litoral do Rio de Janeiro é a restinga da Marambaia, considerada uma ilha barreira (OTVOS, 2012) que limita a livre comunicação entre a baía de Sepetiba com o Oceano Atlântico; região onde foi descrita uma grande diversidade de sedimentos em tamanho e origem – fluviais e marinhos (Ponçano, 1976).

4 . RESULTADOS

O trecho selecionado do LH em rio meandrante compreendeu uma área de alta sinuosidade do Rio Paraguai (Figura 1A), próximo ao Porto Geral de Corumbá, MS. O trecho onde foram observadas marcas onduladas encontra-se ao norte da área do LH, compreendendo uma faixa de 250

metros de extensão, onde foram realizados três perfis batimétricos, acompanhando a curvatura do rio e equidistantes aproximadamente 20 metros (Figuras 1B e 2). Nesta área, é observada uma variação batimétrica aproximada de 6 metros, com aprofundamento no sentido da margem sul, perpendicular às linhas dos perfis.

O padrão assimétrico das marcas onduladas (Figura 2) evidencia o processo de formação por corrente unidirecional com sentido predominante para leste no trecho. A observação predominante de cada perfil é descrita a seguir:

Perfil 1: feições com alturas entre 0,2 e 1,0 metro e comprimentos de onda aproximados a 10 metros; profundidades variam entre 1 e 3,2 metros;

Perfil 2: feições com alturas entre 0,3 e 1,0 metro, com comprimentos de onda próximos a 10 metros; profundidades variam entre 2,3 e 4,6 metros;

Perfil 3: feições com alturas entre 0,5 e 1,5 metro; comprimentos de onda chegam a 20 metros; profundidades variam entre 4,4 e 6,6 metros.

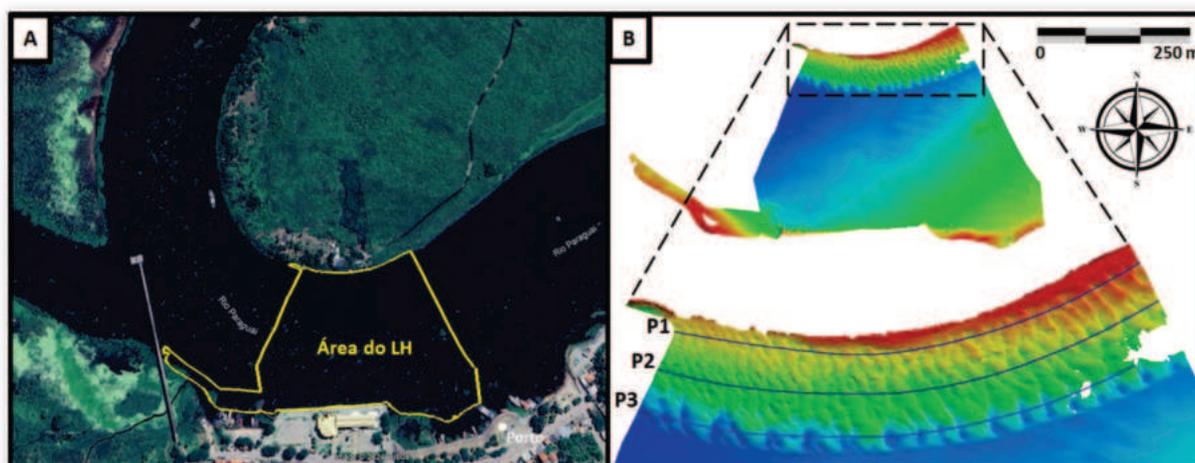


Figura 1A – Localização da área do levantamento hidrográfico (LH) em trecho de rio meandrante, Rio Paraguai, próximo ao Porto Geral de Corumbá (PGC); B – Superfície batimétrica da área do LH e detalhe do trecho em que ocorrem as marcas onduladas, onde foram realizados os três perfis batimétricos: P1, P2 e P3. Fonte: elaboração própria

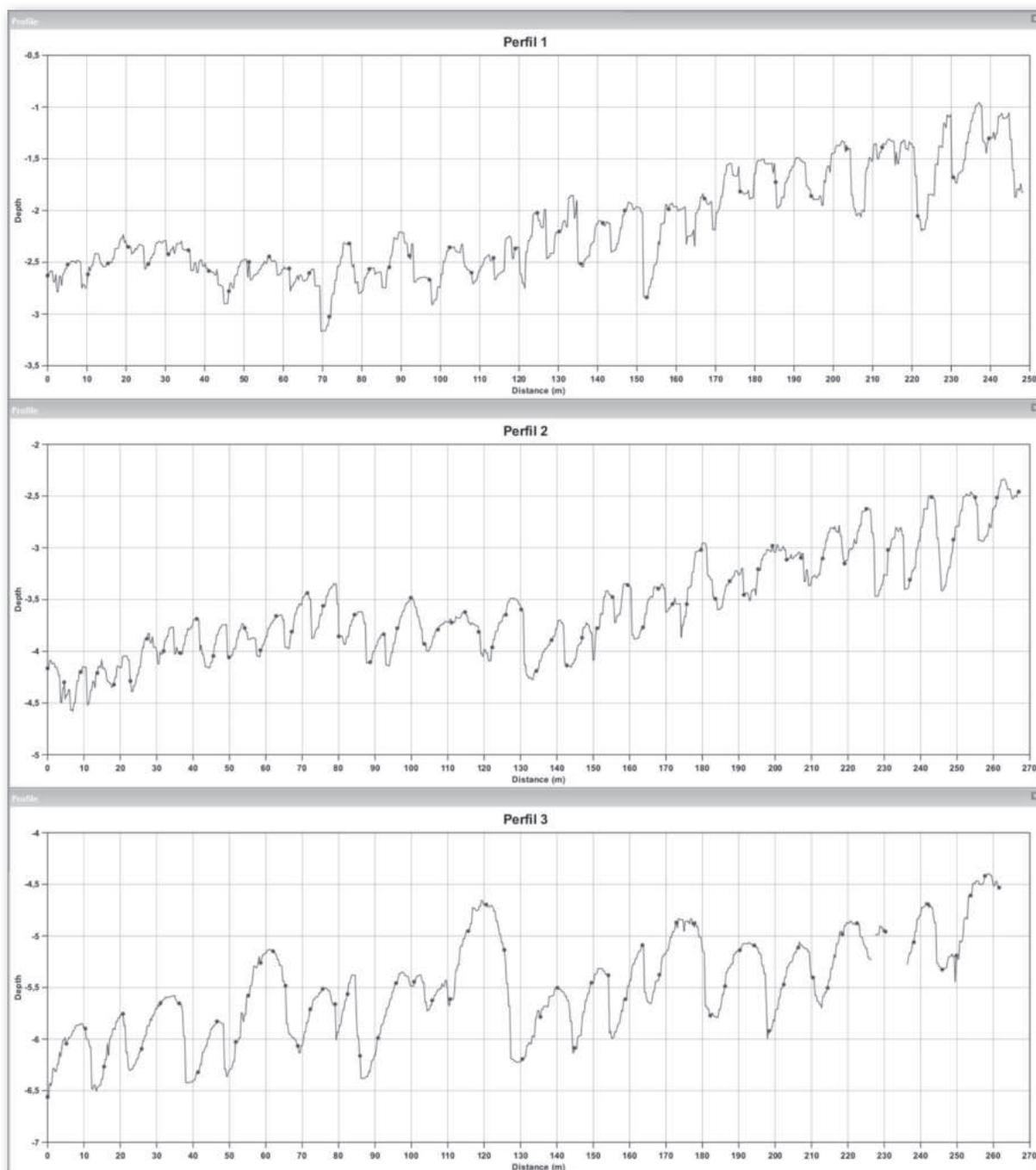


Figura 2 – Perfis batimétricos (*Depth* – profundidade x *Distance* – distância, em metros) paralelos à margem do rio meandrante (P1, P2 e P3 na Figura 1B), sendo P1 o mais próximo à margem interna do meandro e P3 o mais próximo ao centro do rio. Fonte: elaboração própria

As marcas onduladas em ambiente marinho raso compreenderam trechos de LH realizados ao norte da Restinga da Marambaia, próximo à Ilha Guaíba

(Figura 3A). Foram realizados três perfis batimétricos variando de 850 a 2.200 metros de extensão cada, de sul para norte da área (Figura 3B).

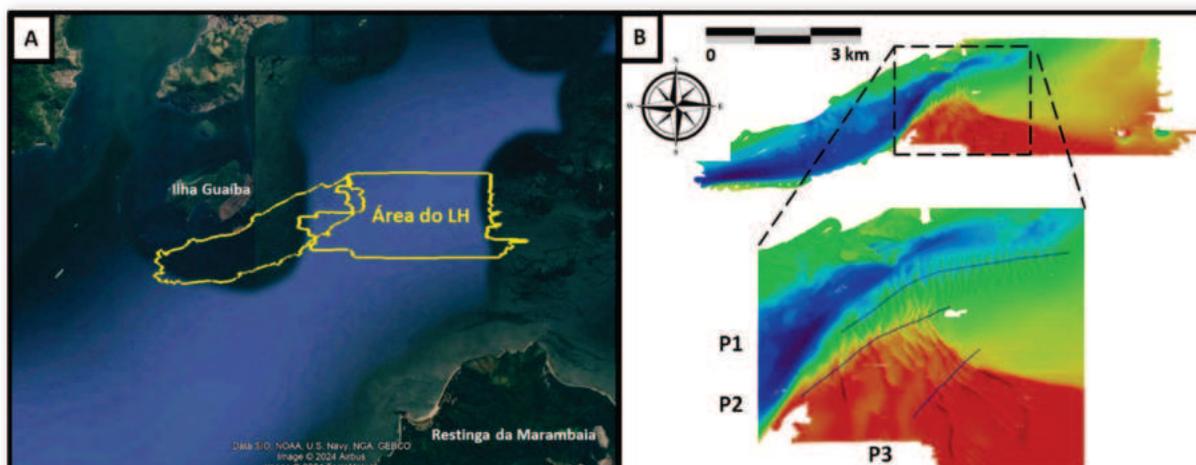


Figura 3A – Localização da área dos levantamentos hidrográficos (LH), próximo à Ilha Guaíba e à Restinga da Marambaia; B – Superfície batimétrica da área do LH e detalhe do trecho em que ocorrem as marcas onduladas, onde foram realizados os três perfis batimétricos: P1, P2 e P3. Fonte: elaboração própria

A geometria observada varia de simétrica a assimétrica no Perfil 1 e varia de predominantemente assimétrica com sentido predominante para leste nos demais perfis (Figura 4). A observação predominante de cada perfil é descrita a seguir:

Perfil 1: feições com alturas entre 3 e 4 metros e comprimentos de onda entre 30 e 50 metros; profundidades variam entre 18 e 24,3 metros;

Perfil 2: feições com alturas chegando a 4,5 metros e comprimentos de onda próximos a 100 metros; profundidades variam entre 7,8 e 17 metros;

Perfil 3: ocorre maior variação de geometria das estruturas neste perfil, com

feições centimétricas a métricas; profundidades próximas a 13 metros na área de feições centimétricas e variam entre 5,6 e 10,2 metros.

Os trechos correspondentes à área de sobreposição dos dois LH (Figura 5) com diferença temporal de aproximadamente 1 ano são observados nos perfis 1 e 2: duas linhas de geometria similar deslocadas horizontalmente e verticalmente (Figura 4). A variação espacial das linhas de cristas das marcas onduladas foi observada em toda a extensão de sobreposição e medida em três setores distintos dentro destas áreas, tendo sido calculada a média aproximada de 10 metros de deslocamento preferencialmente para nordeste-leste.

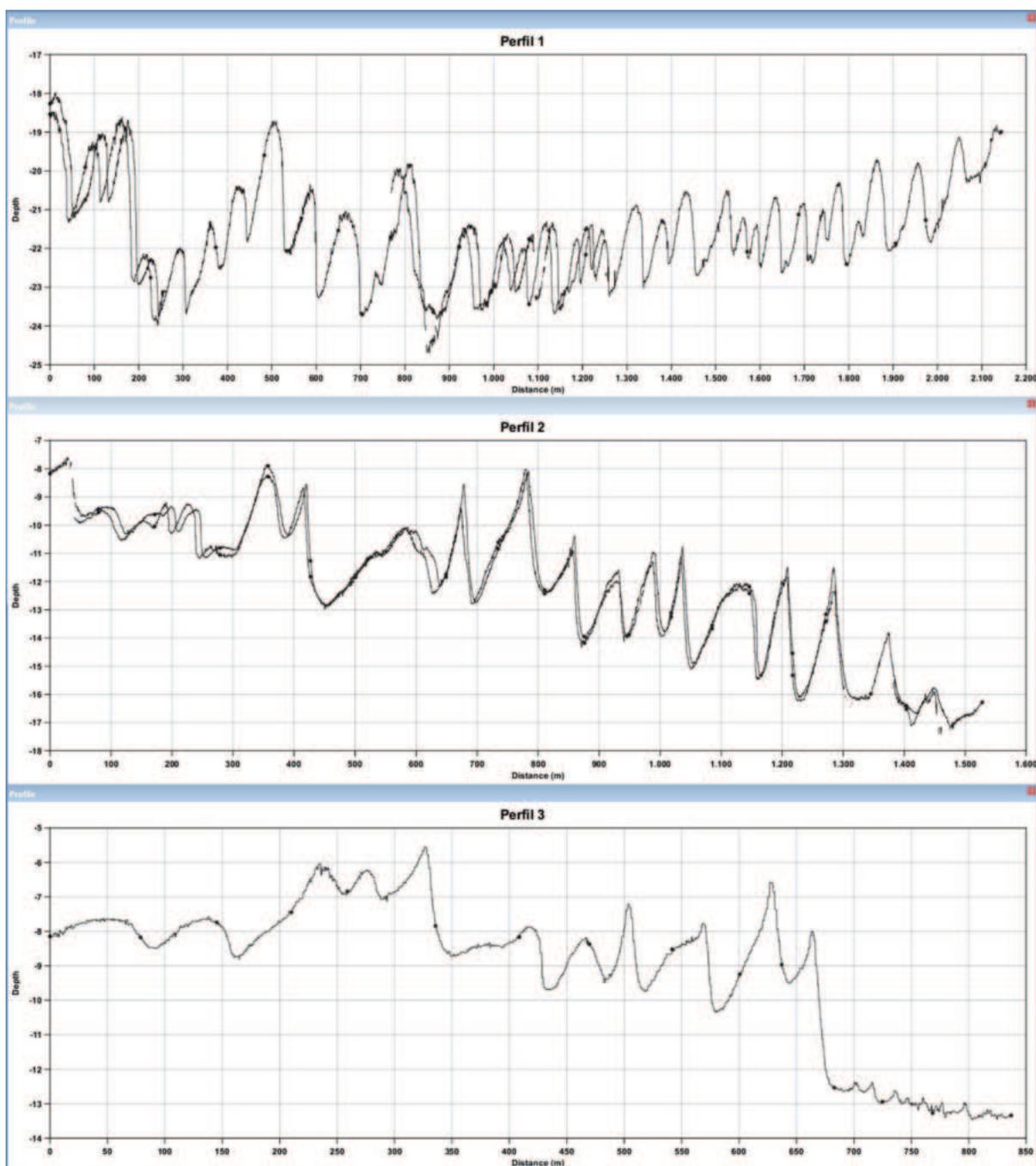


Figura 4 – Perfis batimétricos (*Depth* – profundidade x *Distance* – distância, em metros) distribuídos pela área dos dois LH de norte para sul (P1, P2 e P3 na Figura 3B). Fonte: elaboração própria

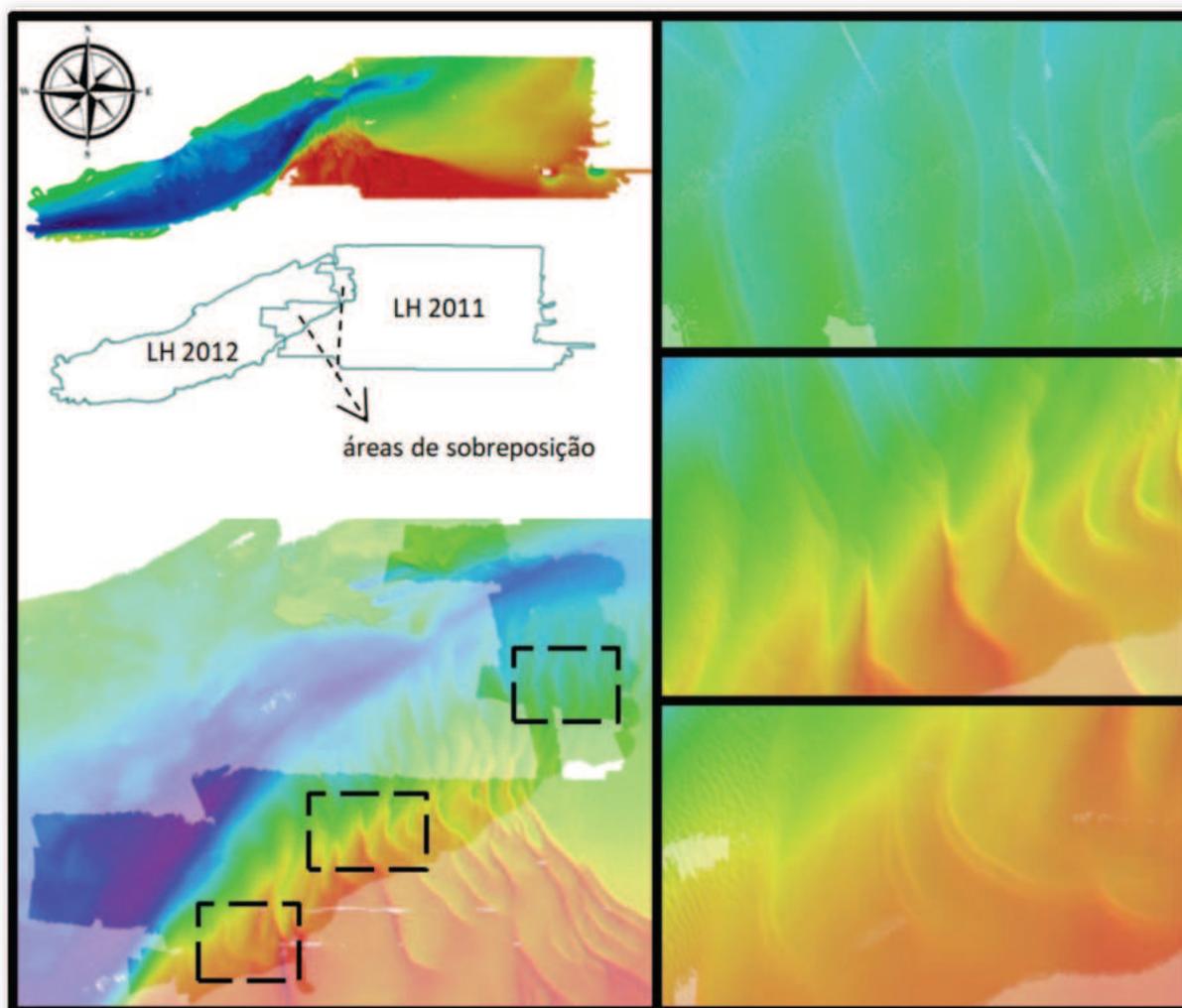


Figura 5 – Áreas de sobreposição dos LH realizados nos anos de 2011 e 2012. Em detalhe, ocorrem três áreas (de norte para sul e de cima para baixo na figura) onde são observadas as linhas de cristas de marcas onduladas sobrepostas, com deslocamento aproximado de 10 metros para nordeste-leste. Fonte: elaboração própria

5. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

O padrão de deposição característico de rio meandrante é observado no trecho estudado do Rio Paraguai. A assimetria das feições e a variação atual de 6 metros de batimetria na área das marcas onduladas, sentido da margem norte para margem sul do rio, evidenciam o processo de assoreamento na porção interna do meandro, com corrente curva de direção e sentido principal aproximadamente para leste (Figura 6). O aumento observado nas alturas e comprimentos de onda dos

perfis de norte para sul está associado ao aumento de velocidade de corrente da margem interna, de menor velocidade, para a margem externa, de maior velocidade; e, conseqüentemente, maiores taxas de erosão associadas. O estudo da morfodinâmica desta área é de grande importância por se tratar de uma região com grande fluxo de embarcações, pois além de existir variação batimétrica acentuada no perfil do rio, as variações de velocidade de corrente podem representar um perigo à navegação, especialmente em trechos críticos, com navegação restrita. Adicionalmente,

o monitoramento do padrão erosivo da margem sul pode contribuir com a mitigação de desastres naturais, haja vista a alta densidade demográfica nas proximidades do Porto Geral de Corumbá.

Quanto à região costeira analisada, a migração das marcas onduladas evidencia a grande influência das correntes, mesmo em regiões mais abrigadas, e a necessidade de monitoramento destas áreas devido à variação constante das profundidades. A migração de 10 metros observada em apenas um ano demonstra a necessidade de serem realizados LH periodicamente em zonas com estes padrões de sedimentação. Os perfis demonstraram padrões distintos de geometria das feições e de direção principal das cristas de onda, que podem estar relacionados à variação no fluxo das correntes locais, em função

da entrada da baía de Sepetiba ser restrita pela ilha barreira da Restinga da Marambaia.

O presente estudo demonstra como a dinâmica do fundo relacionada à formação das marcas onduladas pode levar a uma variação batimétrica local da ordem métrica em um espaço de tempo relativamente curto. O mapeamento das marcas onduladas pode ser uma excelente ferramenta para o planejamento e priorização de áreas para novos LH ou instalações submarinas, especialmente em águas rasas. Desta forma, sugere-se que todas as feições deste tipo sejam cadastradas em banco de dados e que a presença das *sandwaves* mapeadas seja alertada aos navegantes como um potencial perigo à navegação, pois evidenciam um menor grau de confiança nos dados de sondagem cartografados (OHI, 2021).

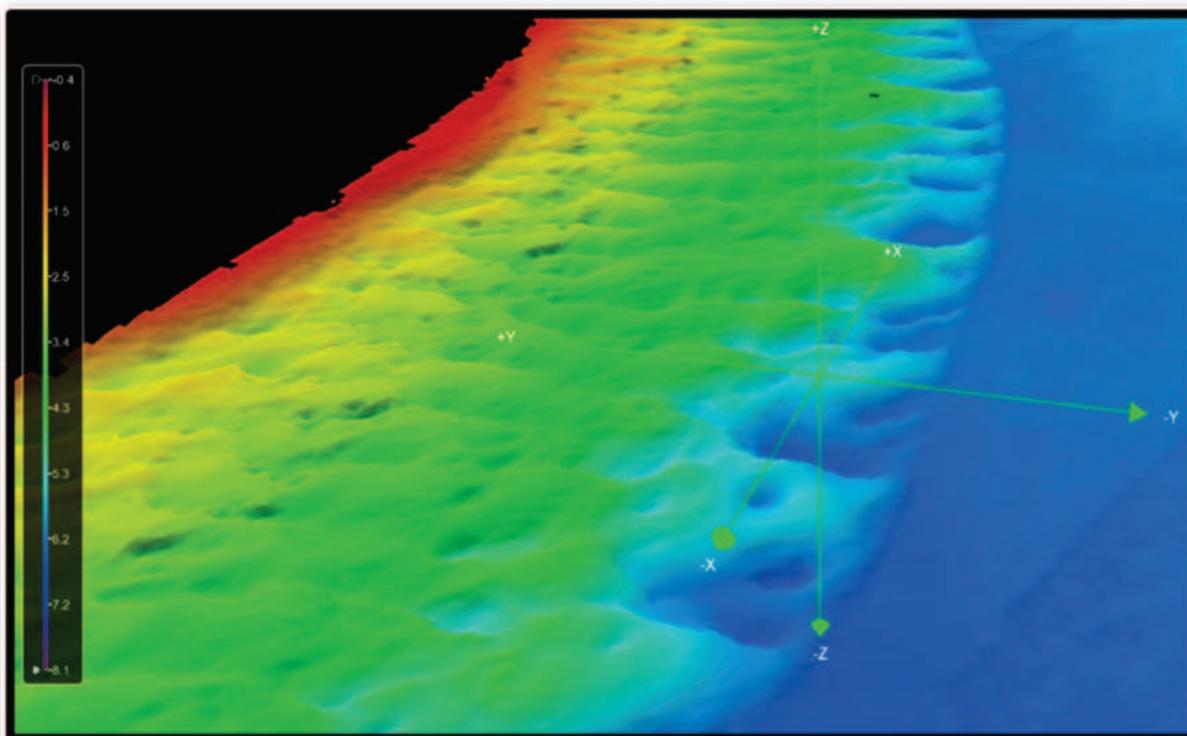


Figura 6 – Visualização 3D das marcas onduladas observadas em meandro do Rio Paraguai. Fonte: elaboração própria



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHLEY, G.M. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem: *Journal of Sedimentary Research*, v. 60, p. 160-172, 1990.

BAPTISTA NETO, J.A., PONZI, V.R.A., SICHET, S.E. (Org.). *Introdução à geologia marinha*. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda, 279 p., 2004.

BARTHOLDY, J., ERNSTSEN, V.B., FLEMMING, B.W., WINTER, C., BARTHOLOMÄ, A., KROON, A. On the formation of current ripples. *Scientific Reports*, v. 5: 11390, 2015.

BOGGS JR., S. *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. Editora: Pearson Education Inc., Edição 4, Upper Saddle River, 662 p., 2006.

COLLINSON, J.D. e THOMPSON, D.B. *Sedimentary structures*. Editora: George Allen and Unwin, London, 194 p., 1982.

LAPOTRE, M.A., LAMB, M.P., MCELROY, B. What sets the size of current ripples? *Geology*, v. 45 (3), p. 243–46, 2017.

MIALL, A.D. Analysis of fluvial depositional systems. Education Course Note Series. *American Association of Petroleum Geologists*, v. 20, p. 1-75, 1981.

ORGANIZAÇÃO HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL (OHI). Regulations of the IHO for international (INT) charts and chart specifications of the IHO (S-4). Edição 4.9.0, 2021.

ORGANIZAÇÃO HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL (OHI). INT 1 Symbols and Abbreviations used on Paper Charts. Edição 5, 2022.

ORGANIZAÇÃO HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL (OHI). *Hydrographic Dictionary (S-32)*. 2023.

OTVOS, E.G. Coastal barriers – Nomenclature, processes, and classification issues. *Geomorphology*, v. 139-140, p. 39-52, 2012.

PONÇANO, W.L. 1976. Sedimentação atual na Baía de Sepetiba, Estado do Rio de Janeiro: contribuição à avaliação da viabilidade geotécnica de implantação de um porto. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 278 p.

SUGUIO, K. *Geologia sedimentar*. Editora: Blucher, São Paulo, 400 p., 2003.

TELEDYNE CARIS, INC: CARIS Base Editor. Versão: 5.5. 2020.



PREVISÃO DE NEVOEIROS UTILIZANDO UM MODELO ATMOSFÉRICO DE ALTA RESOLUÇÃO COMO UM SISTEMA OPERACIONAL DE APOIO À DECISÃO

Segundo-Tenente (AA) Maria Eduarda Palheiros Vanzan¹
Capitão de Corveta (T) Flávia Rodrigues Pinheiro²
Capitão de Corveta (T) Alexandre Augusto Lopes Gadelha³

RESUMO

A ocorrência de nevoeiro representa um desafio significativo para as previsões numéricas, devido aos seus complexos processos de formação e dissipação. Nevoeiros densos e persistentes afetam atividades rotineiras, impactando imensamente a navegação aérea e marítima, causando prejuízos econômicos devido ao fechamento de portos e aeroportos. No Brasil, dois importantes aeroportos e um porto vultoso, localizados na região da Baía de Guanabara, no Rio de Janeiro, lidam com milhões de deslocamentos aéreos e toneladas de carga, anualmente, tornando as previsões de nevoeiro cruciais. Portanto, este trabalho tem como objetivo apresentar e testar uma ferramenta operacional de suporte decisivo para previsão desse fenômeno a ser utilizada por meteorologistas no Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Para isso, o modelo *Weather Research and Forecast (WRF)* foi empregado

¹Oficial do Quadro Auxiliar da Armada graduada em meteorologia (UFRJ). Mestre em Eng. de Biosistemas (UFF), servindo presentemente no Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Email: eduarda.vanzan@marinha.mil.br

²Oficial do Quadro Técnico graduada em meteorologia (UFRJ). Mestre em Eng. Civil com ênfase em Ciências Atmosféricas (COPPE/UFRJ). PhD em Assimilação de Dados (University of Reading), servindo presentemente no Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Email: flavia.pinheiro@marinha.mil.br

³Oficial do Quadro Técnico graduado em meteorologia (UFRJ), servindo presentemente no Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Email: alexandre.gadelha@marinha.mil.br



em uma configuração aprimorada, atendendo-se às condições únicas da Baía de Guanabara. Considerando os testes preliminares realizados neste artigo, os resultados sugerem que a metodologia proposta pode ser uma ferramenta operacional promissora que poderá auxiliar e melhorar os avisos de baixa visibilidade emitidos pelo CHM, buscando, sempre, a segurança na navegação.

Palavras-chave: Nevoeiro; WRF; Baía de Guanabara.

ABSTRACT

The occurrence of fog represents a significant challenge for numerical predictions due to its complex formation and dissipation processes. Dense and persistent fogs affect routine activities, immensely impacting air and maritime navigation and causing economic losses due to the closure of ports and airports. In Brazil, two important airports and a large port in the Guanabara Bay, region of Rio de Janeiro, handle millions of air movements and tons of cargo annually, making fog forecasts crucial. Therefore, this work aims to present and test an operational decision aid tool for forecasting this phenomenon to be used by meteorologists at the Navy Hydrographic Center (CHM). For this, the Weather Research and Forecast (WRF) model was used in an improved configuration, paying attention to the unique conditions of Guanabara Bay. Considering the preliminary tests in this article, the results suggest that the proposed methodology can be a promising operational tool that can assist and improve low visibility warnings issued by the CHM, always seeking navigation safety.

Keywords: Fog, WRF, Guanabara Bay.

1. INTRODUÇÃO

O fenômeno conhecido como nevoeiro é definido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2024) como a suspensão de gotículas de água muito pequenas no ar, geralmente microscópicas, resultando em redução da visibilidade horizontal inferior a um quilômetro. Se a visibilidade variar entre 1 km e 5 km, o fenômeno é chamado de névoa. A formação e dissipação do nevoeiro de radiação ocorrem após interações complexas entre processos na natureza, geralmente exigindo uma combinação de alta umidade, ventos fracos e pouca nebulosidade. Tal configuração, associada às características locais de cada região, dificulta a previsibilidade do evento para os meteorologistas.

A presença do nevoeiro denso e persistente pode perturbar significativamente a rotina da população, influenciando, principalmente, a navegação aérea e marítima, uma vez que a visibilidade horizontal tende a diminuir de vários quilômetros para alguns metros. Nesse contexto, manobras em navios são, então, realizadas com menos confiabilidade, contando com poucos equipamentos, como apenas os radares de navegação. Além disso, a restrição de visibilidade leva ao fechamento de portos e aeroportos, atrasando voos e acarretando enormes prejuízos para a economia do país.

Todo ano, no Brasil, os aeroportos controlam mais de 1,3 milhão de movimentos aéreos, transportando mais de 100 milhões de pessoas e 1 milhão de toneladas de carga (FAB, 2022). Uma pesquisa da OAG, uma agência internacional de informações de aviação, mostra que o trajeto Rio de Janeiro – São Paulo foi a rota doméstica mais movimentada na América Latina em 2023 (OAG, 2023). Considerando que os aeroportos mais importantes do Rio de Janeiro estão localizados na Baía de Guanabara (Galeão Internacional e Santos Dumont), há uma



grande necessidade de previsões de nevoeiro mais precisas para essa região, uma vez que seus fechamentos resultam em vastos prejuízos econômicos.

Um impacto semelhante é observado no setor marítimo onde, de acordo com as estatísticas da Companhia Docas do Rio de Janeiro (CDRJ), em 2022, o porto do Rio de Janeiro manipulou 8,6 milhões de toneladas de carga (Portos e Navios, 2022). Durante o segundo trimestre de 2023, esse porto foi o quarto mais importante no Brasil para mobilização de contêineres de carga, segundo o Boletim Estatístico Aquaviário, disponibilizado pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ, 2023).

O Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) é responsável por prever o tempo em uma extensa área marítima, com aproximadamente dez milhões de quilômetros quadrados, conhecida como Metarea V (NORMAM-701, 2023), que se estende por toda a costa brasileira e inclui o Rio de Janeiro e, conseqüentemente, a Baía de Guanabara. Essa área é conhecida por, regularmente, experimentar a presença de nevoeiro, perturbando o tráfego aéreo e marítimo e demonstrando, assim, a necessidade do aprimoramento da sua previsão.

A fim de superar os obstáculos no prognóstico de nevoeiros, diversos métodos foram desenvolvidos na tentativa de aprimorar a previsão desse fenômeno (Bari et al., 2023). Ressalta-se que o desenvolvimento e os avanços em modelagem numérica nos últimos anos tornaram possível prever a presença desse evento, em uma área específica, com maior precisão. Segundo, Gultepe et al. (2007), a combinação correta de parametrizações, bem como outros ajustes nos modelos de previsão numérica do tempo, como resolução espacial e vertical, são essenciais para que a previsibilidade seja considerada confiável e mais acurada. Adicionalmente, o tempo de integração de radiação, o *spin-up*

e o aninhamento de grade também devem receber relevância.

Entre os modelos meteorológicos existentes, o WRF destaca-se em inúmeras pesquisas sobre investigação e previsão de nevoeiro. Cardoso et al. (2023), Bartok et al. (2012), Bartoková et al. (2015), Steeneveld et al. (2015) e Nobre et al. (2019) são exemplos de autores que dedicaram suas pesquisas ao tema. Os resultados encontrados por eles demonstram que o WRF é um modelo numérico apropriado para compreender e simular esse tipo de fenômeno. Por esse motivo, foi selecionado para o presente trabalho.

Ressalta-se que o presente estudo tem como base a metodologia central adotada na pesquisa conduzida por Cardoso et al. (2023), na qual foi verificada a habilidade do WRF na previsão de nevoeiros, com três grades aninhadas, em conjunto com ajustes na resolução vertical do modelo, porém para a região Sul do Brasil. Neste contexto, o principal objetivo deste estudo consiste em aplicar tal metodologia para a Baía de Guanabara, realizando algumas modificações adicionais.

2. ÁREA DE ESTUDO

A Baía de Guanabara está localizada no estado do Rio de Janeiro (Figura 1) e é conhecida por ter um grande fluxo marítimo, abrigando o décimo porto mais movimentado do Brasil (ANTAQ, 2023). Além do tráfego marítimo, também contém dois importantes aeroportos, a saber: aeroporto Santos Dumont, localizado na entrada da baía, e o aeroporto internacional Galeão, na parte oeste da baía, os quais estão entre os dez aeroportos mais movimentados do País (AVIAÇÃO BRASIL, 2023).

Ressalta-se que esta área é frequentemente palco de eventos de nevoeiro, sendo este um fenômeno desafiador para os meteorologistas da região. Portanto, uma modelagem atmosférica mais precisa em baixos níveis pode resultar em uma



previsão de nevoeiro mais acurada. Os resultados gerados pelo modelo atmosférico podem ser comparados com dados observados de aeródromos – conhecidos como Relatórios Meteorológicos de Aeródromos (METAR) – localizados na área (COMANDO DA AERONÁUTICA, 2012).



Figura 1 – Localização do Estado do Rio de Janeiro (área bege no mapa) à esquerda. À direita, o painel superior amplia o estado, e o painel inferior retrata a Baía de Guanabara, localizada na parte sul do estado. Fonte: elaboração própria

3. METODOLOGIA

O presente estudo é baseado em pesquisas realizadas por Cardoso et al. (2023). Sua metodologia foi empregada nesta pesquisa e ajustada a fim de prever nevoeiros na região da Baía de Guanabara, visto que os meteorologistas do CHM, frequentemente, discutem sobre a dificuldade em prognosticar tais fenômenos. Diante desse problema, o propósito consistiu em modificar a configuração operacional do modelo WRF (MMM, 2019), o qual tem 10 km de resolução horizontal, 50 níveis verticais e parametrizações específicas para essa baixa definição de grade. Já na metodologia de previsão de nevoeiros proposta por Cardoso et al (2023), foram inseridas três grades aninhadas, mantendo os 50

níveis verticais e inserindo parametrizações que descrevem de forma adequada uma grade de resolução superior.

Ressalta-se que a Divisão de Previsão Numérica possui dois modelos atmosféricos operacionais (ICONLAM e WRF) e ambos necessitam de desenvolvimento e pesquisa para o aprimoramento e aperfeiçoamento da previsão do tempo. No presente estudo, o WRF foi proposto a fim de replicar, tanto quanto possível, o estudo desenvolvido por Cardoso et al (2023).

3.1. Modelagem Numérica

O modelo atmosférico WRF possui resolução horizontal de 10 km para toda a área marítima ao largo da costa do Brasil.

A fim de implementar a metodologia utilizada por Cardoso et al. (2023), foram criados três domínios aninhados ao redor da Baía de Guanabara, com resoluções horizontais de 9 km, 3 km e 1 km, respectivamente, com o menor domínio centrado na mesma. Apenas a grade de 9 km foi deslocada do centro do aninhamento, com a finalidade de abranger o deslocamento de sistemas da escala sinótica que atingem a região. O aninhamento das grades faz-se necessário para que as informações possam fluir do domínio maior para o menor com o mínimo de distorção possível. A Figura 2 apresenta cada um desses domínios ao redor do Rio de Janeiro e da Baía de Guanabara.

Cardoso et al. (2023) concluíram em seu experimento, para uma previsão de nevoeiro mais precisa, o número mínimo de 50 níveis verticais, com a altitude do primeiro

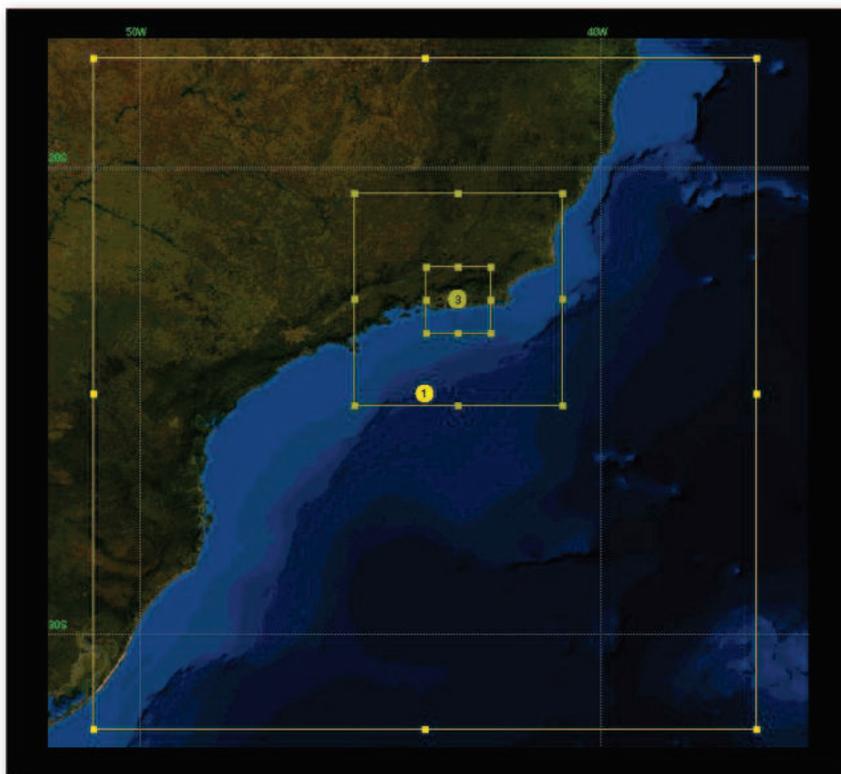


Figura 2 – Representação dos domínios aninhados utilizados nas simulações do WRF. Os pontos amarelos representam os centros dos domínios. Fonte: elaboração própria

nível configurada em 10 metros. Desta forma, o WRF foi ajustado para tais condições. No estudo de referência (Região de Rio Grande – RS) foi escolhida a projeção "*Lambert Conformal Conic*", a qual é adequada para áreas situadas em latitudes mais altas. No entanto, para a região do Rio de Janeiro, a projeção "*Lat-Lon*" encaixa-se melhor e funciona corretamente, além de já ser utilizada na simulação operacional. As condições iniciais e de contorno foram obtidas das análises do Global Forecast System (GFS) do National Centers for Environmental Prediction (NCEP), com uma resolução horizontal de $0,25^\circ$ (aproximadamente 28 km).

Várias simulações de aninhamento foram realizadas na presente pesquisa, relacionadas à interação entre domínios, sendo definida, neste trabalho, a interação conhecida como two-way nesting (quando há troca de fluxos em ambos os sentidos entre as grades), divergindo da metodologia

apresentada por Cardoso et al. (2023), em que foi utilizado apenas a interação one-way. Adicionalmente, o modelo operacional WRF, no CHM, utiliza um tempo de integração radiativa (RADT) de 30 minutos. O RADT é o intervalo de tempo de integração que o modelo utiliza para atualizar os cálculos da parametrização de radiação em cada ponto de grade. Quanto menor o intervalo de atualização, mais acurados são os fluxos radiativos considerados, porém esta é a parametrização do modelo com o maior custo computacional.

De acordo com Cardoso et al (2023), a execução da rotina associada ao tratamento de radiação é extremamente importante para a gênese de nevoeiros. Assim, o parâmetro que define o intervalo de tempo para a execução dos cálculos de radiação foi alterado em cada domínio para 9 min, 3 min e 1 min, respectivamente. O custo dessa melhoria foi o aumento esperado no tempo de processamento da simulação, sendo ainda considerado exequível em um ambiente operacional.

A fim de equilibrar os prognósticos do modelo às condições iniciais e de contorno, é necessário um tempo preliminar de execução do modelo (BASSO; MACEDO; YAMASAKI, 2014). Esse período inicial de ajuste, chamado de spin-up, é usado para balancear as variáveis do modelo. Dessa forma, algumas simulações foram realizadas com e sem spin-up, com o propósito de verificar sua importância na modelagem



numérica do fenômeno meteorológico objeto deste trabalho. A comparação entre os parâmetros apresentados na bibliografia utilizada como base e no presente estudo são demonstradas na Tabela I.

Dessa forma, para cada instante de tempo dos dias estudados (03AGO2023 09Z, 03AGO2023 10Z, 03AGO2023 12Z e 04AGO2023 12Z) foram realizados três testes, conforme apresentado na Tabela II.

Tabela I - Comparação entre os parâmetros utilizados no modelo WRF operado no CHM, os de Cardoso et al (2023) e os do presente estudo

Parâmetros utilizados no WRF Operacional do CHM	Parâmetros utilizados por Cardoso et al (2023)	Parâmetros utilizados no presente estudo
50 níveis verticais, todos com a mesma altitude	50 níveis verticais e 10 m de altitude no primeiro nível	50 níveis verticais e 10 m de altitude no primeiro nível
Projeção Lat-Lon	Projeção Lambert Conformal Conic	Projeção Lat-Lon
1 única grade de 10 km	3 grades aninhadas de 9 km, 3 km e 1 km	3 grades aninhadas de 9 km, 3 km e 1 km
Não há grades aninhadas	Aninhamento one-way entre as grades	Aninhamento two-way entre as grades
Tempo de integração radiativa (RADT) de 30 minutos	Tempo de integração radiativa (RADT) de 9, 3 e 1 minuto de acordo com os domínios da grade	Tempo de integração radiativa (RADT) de 9, 3 e 1 minuto de acordo com os domínios da grade
Condições iniciais e de contorno advindas do GFS com resolução horizontal de 0,25°	Condições iniciais e de contorno advindas do GFS com resolução horizontal de 0,25°	Condições iniciais e de contorno advindas do GFS com resolução horizontal de 0,25°



Tabela II - Configurações utilizadas para as simulações realizadas em cada dia de estudo

Configuração A	Configuração B	Configuração C
Aninhamento two-way	Aninhamento two-way	Aninhamento two-way
Sem spin-up (NSO)	Com spin-up (WSO)	Com spin-up (WSO)
Tempo de integração (RADT) de 30 minutos	Tempo de integração (RADT) de 9, 3 e 1 minuto para as grades de 9, 3 e 1 km, respectivamente	Tempo de integração (RADT) de 9, 3 e 1 minuto para as grades de 9, 3 e 1 km, respectivamente
Cálculo do FSL	Cálculo do FSL	Cálculo do FSL

3.2 Estimativa de Nevoeiro

A ocorrência de nevoeiro é principalmente medida pela visibilidade horizontal. Alguns métodos empíricos são utilizados na tentativa de estimar tal parâmetro e, conseqüentemente, indicar a presença desse fenômeno. Cardoso et al. (2023) testaram três métodos empíricos para reproduzir eventos de nevoeiro: o primeiro método é o de Kunkel (KUNKEL, 1984), o segundo proveniente do Forecast Systems Laboratory (FSL) (DORAN et al., 1999) e o terceiro, conhecido como Índice de Estabilidade de Nevoeiro (FSI) (FREEMAN E PERKINS, 1998). Cardoso et al. (2023) concluíram que o parâmetro FSI mostrou sensibilidade à ocorrência de nevoeiro, embora suas estatísticas resultassem em números elevados de falsos alarmes. No caso do índice de Kunkel, Cardoso et al. (2023) observaram que o parâmetro às vezes apresenta falhas em seus resultados, devido à sua dependência do cálculo

do conteúdo de água líquida (LWC), que pode ter valores muito próximos de zero. Uma vez que o LWC está no denominador da equação usada no índice de Kunkel, a visibilidade (km) tende ao infinito, tornando este índice ineficiente para o produto desejado. Também, na presente pesquisa, este índice apresentou descontinuidades nos resultados, sugerindo que pode não ser uma ferramenta operacional ideal para os meteorologistas do CHM. Finalmente, Cardoso et al. (2023) concluíram que o FSL apresentou o melhor desempenho na previsão de nevoeiro em sua área de estudo, assim como poucos sinais de alarme falso. Portanto, neste artigo foram utilizados apenas os índices FSL (Eq. [1]) e FSI (Eq. [2]) na investigação proposta.

O método de visibilidade FSL estima a visibilidade horizontal em milhas por meio da seguinte equação:

$$FSL = 6000 \left(\frac{T - T_d}{RH^{1,75}} \right)$$



onde T e T_d são as temperaturas do ar e do ponto de orvalho em °C, respectivamente, e RH é a umidade relativa em %. O resultado final do FSL foi transformado para metros, em que valores abaixo de 1000 metros correspondem ao fenômeno de nevoeiro.

Já o índice FSI é calculado da seguinte forma:

$$FSI = 2(T_{sfc} - T_{850}) + 2(T_{sfc} - T_{dsfc}) + U_{850}$$

onde T_{sfc} e T_{dsfc} são as temperaturas do ar e do ponto de orvalho próximas à superfície em °C, T_{850} é a temperatura do ar a 850 hPa em °C, e U_{850} é a velocidade do vento a 850 hPa em nós. Como resultado, valores do FSI abaixo de 31 indicam uma alta probabilidade de nevoeiro de radiação. Valores entre 31 e 55 indicam uma probabilidade moderada, e valores acima de 55 indicam uma baixa probabilidade de ocorrência de nevoeiro.

3.3 Estudo de Casos

Para investigar o desempenho do modelo WRF na previsão de casos de nevoeiro, foram selecionados dois dias em agosto de 2023. No primeiro caso, em 03AGO2023, foi relatada a presença de nevoeiro sobre a Baía de Guanabara, e no segundo, em 04AGO2023, a ausência de nevoeiro. Relatórios METAR de ambos os aeródromos localizados no Rio de Janeiro, Galeão (SBGL) e Santos Dumont (SBRJ),

foram coletados para verificação e comparação com os resultados do modelo, possibilitando, assim, avaliar a confiabilidade das simulações. Ambos os aeródromos estão no lado oeste da Baía, sendo o primeiro (SBGL) na parte mais interna e o último (SBRJ) em sua entrada.

4. RESULTADOS

Os primeiros testes foram realizados no dia 3 de agosto de 2023, quando o nevoeiro foi relatado nas observações meteorológicas realizadas entre 0900Z e 1000Z no aeródromo SBGL e nas observações entre 1000Z e 1200Z no aeródromo SBRJ, conforme dados das mensagens METAR apresentadas nas Tabelas III e IV. Note que nos relatórios METAR a informação de ocorrência de nevoeiro é codificada como "FG" e está em destaque nas tabelas.

O primeiro experimento foi realizado com o objetivo de comparar o desempenho de cada resolução de grade na detecção de nevoeiro por meio do método FSL. Na figura 3, o índice foi representado em metros para as respectivas resoluções de grade aplicadas neste estudo: 9 km, 3 km e 1 km. Observa-se o impacto da resolução espacial nos resultados, de modo que a grade de 1 km detecta o nevoeiro e o representa de forma bem mais detalhada que as demais. Devido a esse primeiro resultado, todas as simulações e testes neste artigo são apresentadas com o aninhamento de 1 km, com o objetivo de buscar uma representação mais refinada do fenômeno estudado.



Tabela III - Dado da observação meteorológica de superfície do aeródromo SBGL para o dia 03AGO2023. As observações são codificadas como METAR nas horas cheias ou SPECI nos intervalos inferiores a uma hora. Fonte: Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET)

Aeródromo	METAR
SBGL	METAR SBGL 030900Z VRB02KT 0050 R10/0350N R28/0350N R33/0350N R15/0400N FG VV010 17/17 Q1017=
SBGL	SPECI SBGL 030918Z 04003KT 360V060 0050 R28/0250N R15/0250N R33/0275N R10/0325N FG VV010 17/17 Q1017=
SBGL	METAR SBGL 031000Z 01002KT 0800 R33/0200U R28/0650U R15/1400U R10/1900U FG VV003 17/16 Q1018=

Tabela IV – Dado da observação meteorológica de superfície do aeródromo SBRJ para o dia 03AGO2023. As observações são codificadas como METAR nas horas cheias ou SPECI nos intervalos inferiores a uma hora. Fonte: Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET)

Aeródromo	METAR
SBRJ	SPECI SBRJ 030935Z 33007KT 300V010 1600 BR SCT002 BKN006 19/18 Q1017=
SBRJ	METAR SBRJ 031000Z 36007KT 0600 FG BKN001 OVC004 19/18 Q1017=
SBRJ	METAR SBRJ 031100Z 35007KT 0300 FG OVC002 19/19 Q1018=
SBRJ	METAR SBRJ 031200Z 36007KT 310V010 0800 FG BKN002 19/19 Q1018=

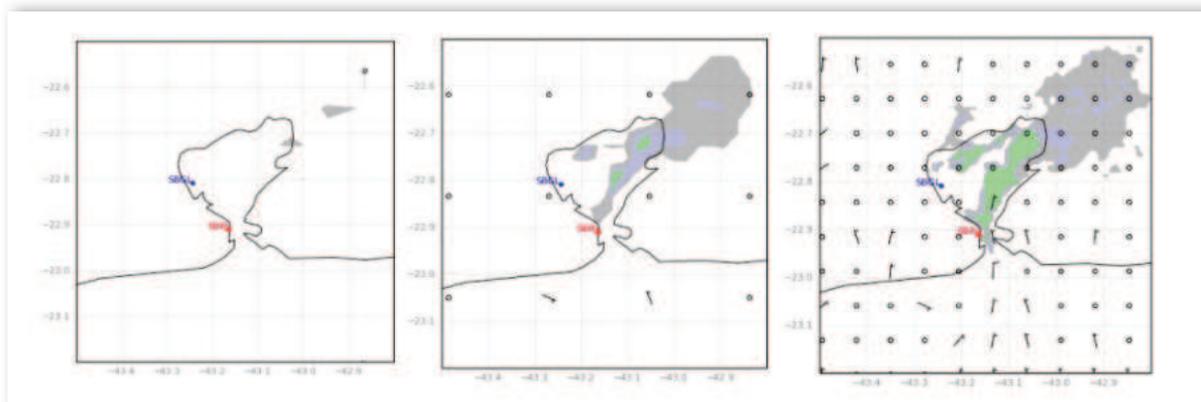


Figura 3 – Representação do índice FSL para o dia 03AGO2023 com diferentes resoluções espaciais. Da esquerda para a direita são apresentadas as resoluções de grade aninhada de 9 km, 3 km e 1 km. As áreas sombreadas representam visibilidade horizontal inferior a 1000 metros. Fonte: elaboração própria

O experimento seguinte utilizou modificações no tempo de integração de radiação (RADT). A configuração do modelo WRF para a previsão operacional no CHM considera o passo de tempo de 30 minutos para a atualização da parametrização de radiação, porém, neste estudo, foram utilizados passos de tempo de 9 min, 3 min e 1 min para as grades de 9 km, 3 km e 1 km, respectivamente. Além disso, a simulação foi executada com a opção *two way nesting* – quando há troca de fluxos em ambos os sentidos entre as grades. Outro ponto considerado foi a presença (WSO) ou ausência (NSO) de *spin-up* do modelo. A Figura 4 evidencia o índice FSL, onde observa-se que quando o modelo é configurado com *spin-up* (WSO), interação "two-way" e RADT menor, o resultado amplifica a detecção do nevoeiro, expandindo o fenômeno mais ao sul. Essa previsão parece refletir melhor as condições observadas,

visto que, às 09Z, o Galeão já reportava o nevoeiro e o Santos Dumont, às 0935Z, já começava a reportar névoa úmida (código BR na mensagem SPECI), conforme dados das Tabelas III e IV. Contudo, a simulação sem *spin-up* (NSO) não indica restrição de visibilidade na área dos aeroportos.

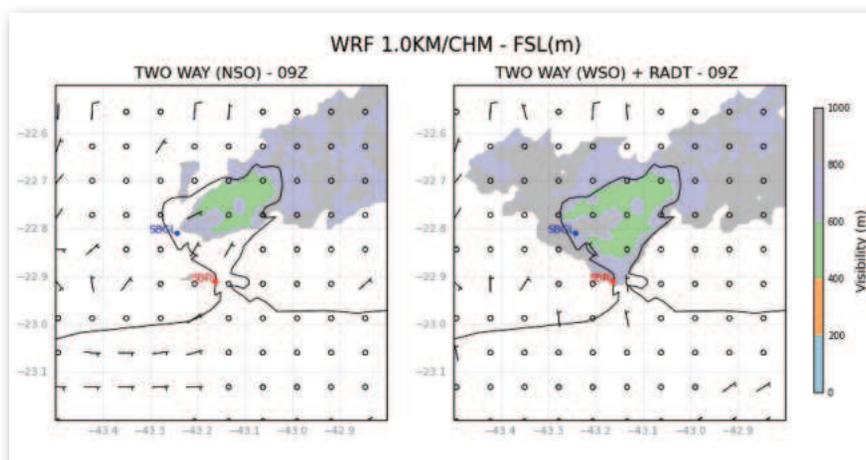


Figura 4 – Índice FSL(m) entre simulações no modo "two-way". À esquerda, simulação realizada com a configuração A (Tabela II) e à direita com a configuração B (Tabela II) para o dia 03AGO às 09Z. Ambas as figuras são da grade aninhada de 1 km. Fonte: elaboração própria

Um terceiro experimento foi realizado para o dia 03AGO23, porém utilizando-se o índice FSI. O resultado deste experimento para o mesmo horário do experimento anterior é apresentado na Figura 5. Nesta, o índice FSI identifica alta

probabilidade de ocorrência de nevoeiro em ambos os aeroportos. Valores do índice inferiores a 31 aparecem em quase toda a área da Baía de Guanabara.

Evoluindo no tempo, às 1000Z, ambos os aeroportos relataram a presença de nevoeiros. Uma nova comparação, utilizando-se o método FSL, entre o modo "two-way" sem *spin-up* e o modo "two-way" com modificações na radiação (RADT) gera diferenças significativas (Figura 6). O modelo prevê nevoeiro no aeródromo SBGL em ambos os casos. No entanto, no SBRJ, apenas uma detecção sutil é observada no modo sem *spin-up* (painel à esquerda), enquanto na simulação com modificações na radiação (painel à direita), o nevoeiro foi completamente previsto, estendendo-se também até a entrada da Baía de Guanabara. Observa-se que SBRJ relatou 600 metros de visibilidade horizontal (Tabela IV), tendo sido previsto pelo modelo corretamente.

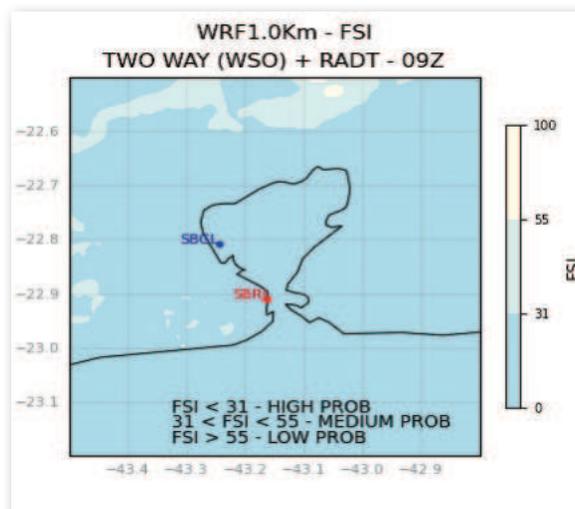


Figura 5 – Índice FSI com simulação no modo two-way. Simulação realizada com a configuração C (Tabela II) para o dia 03AGO23 às 09Z na grade aninhada de 1 km. Valores de FSI inferiores a 31 (tom mais escuro de azul) indicam alta probabilidade de restrição de visibilidade inferior a 1 km. Fonte: elaboração própria

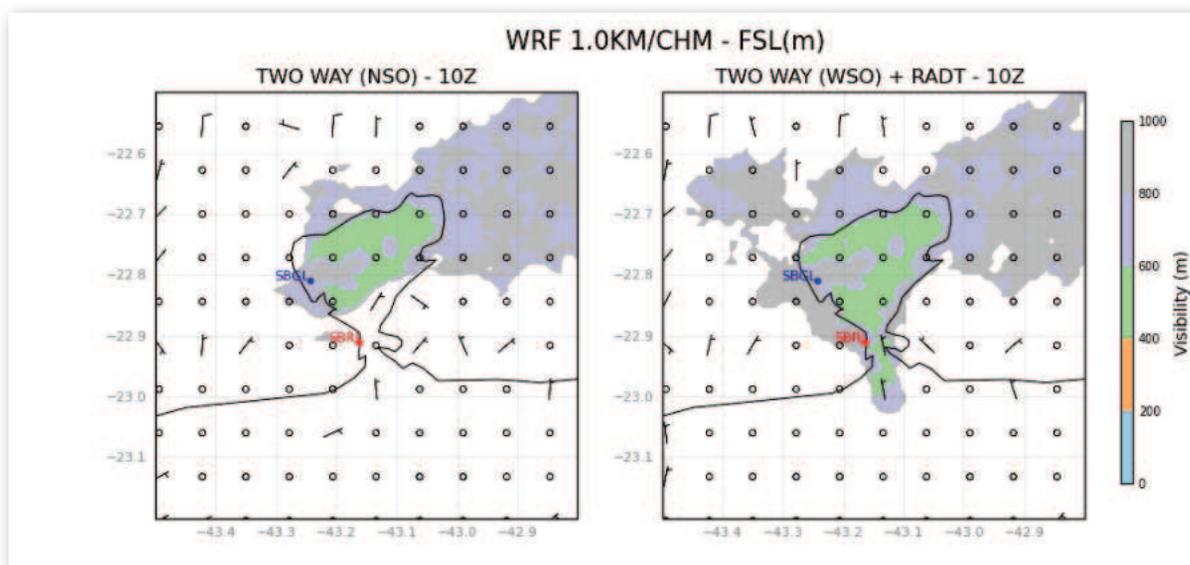


Figura 6 – Índice FSL (m) entre simulações no modo "two-way". À esquerda, simulação realizada com a configuração A (Tabela II) e, à direita, com a configuração B (Tabela II) para o dia 03AGO2023 às 10Z. Ambas as figuras são da grade aninhada de 1 km. Fonte: elaboração própria



Mais uma vez, o índice FSI foi calculado com a melhor configuração definida ("two-way" WSO e RADT), prevenindo corretamente a presença do fenômeno na região (Figura 7).

Uma última avaliação para o dia 03AGO2023 foi realizada utilizando-se o horário de 12Z. Neste horário, o SBGL não relatou ocorrência de nevoeiro, pois seu último METAR reportando o evento foi às 10Z. Enquanto que no SBRJ o fenômeno persistiu até 12Z.

Na figura 8, são apresentadas, novamente, simulações do índice FSL, com aninhamento *two-way*, para a grade de maior resolução espacial (1 km). Comparando os resultados entre *two-way*, sem *spin-up* e com RADT padrão (à esquerda) e "*two-way*" com *spin-up* e RADT com alterações (à direita), observa-se a correta ausência de nevoeiro no SBGL e a presença sutil do evento no SBRJ, em ambos os casos. A simulação com RADT alterada, no entan-

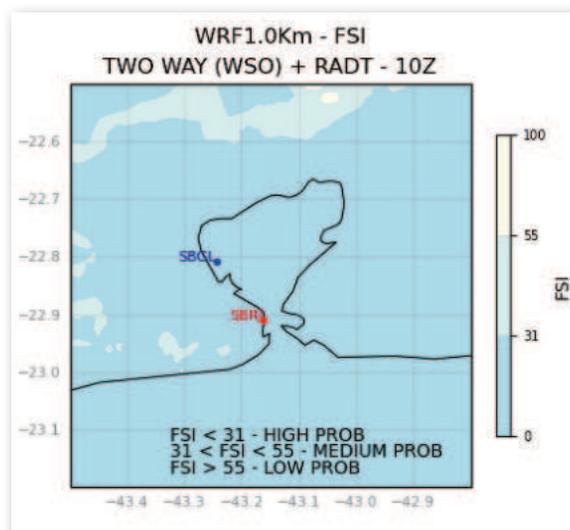


Figura 7 – Índice FSI com simulação no modo *two-way*. Simulação realizada com a configuração C (Tabela II) para o dia 03AGO23 às 10Z na grade aninhada de 1 km. Valores de FSI inferiores a 31 (tom mais escuro de azul) indicam alta probabilidade de restrição de visibilidade inferior a 1 km. Fonte: elaboração própria

to, mostra o processo de dissipação de forma mais avançada no nordeste da Baía e sutilmente no seu interior, em comparação com o outro caso simulado.

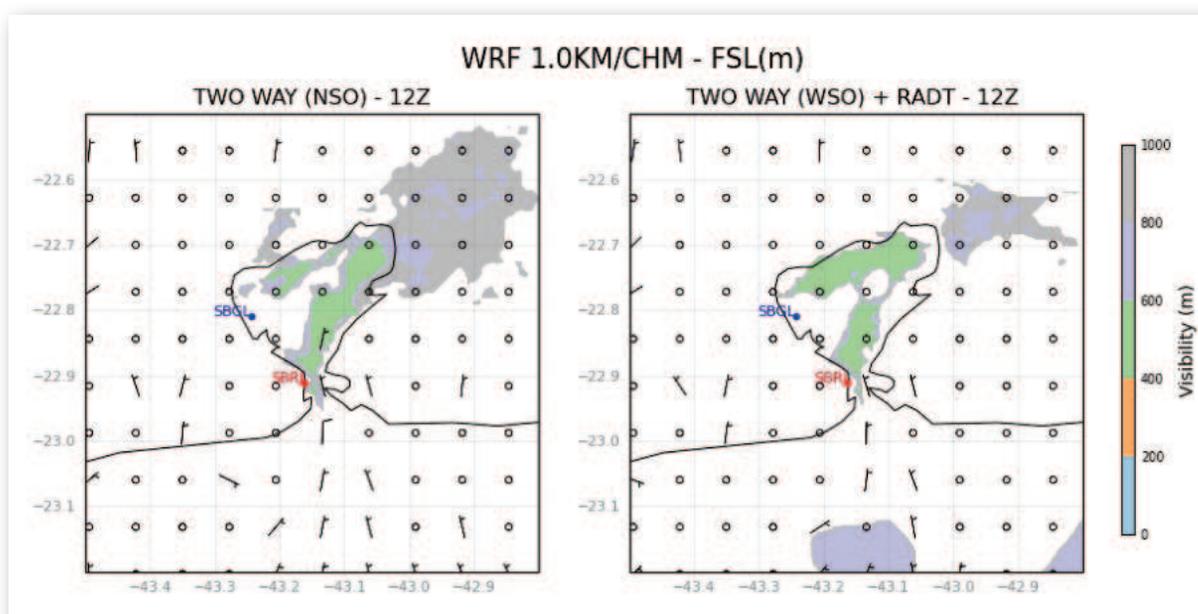


Figura 8 – Índice FSL (m) entre simulações no modo "two-way". À esquerda, simulação realizada com a configuração A (Tabela II) e, à direita, com a configuração B (Tabela II) para o dia 03AGO2023 às 12Z. Ambas as figuras são da grade aninhada de 1 km. Fonte: elaboração própria

Complementando as simulações para 12Z do dia 03AGO23, também foi calculado o índice FSI, que indicou incorretamente a presença de nevoeiro no SBGL (FSI

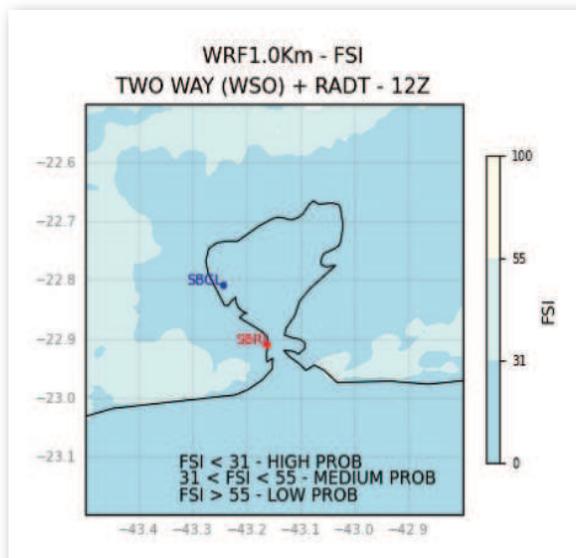


Figura 9 – Índice FSI com simulação no modo two-way. Simulação realizada com a configuração C (Tabela II) para o dia 03AGO23 às 12Z na grade aninhada de 1 km. Valores de FSI inferiores a 31 (tom mais escuro de azul) indicam alta probabilidade de restrição de visibilidade inferior a 1 km. Fonte: elaboração própria

< 31), demonstrando assim uma situação de alarme falso (Figura 9).

Já que o índice FSI apresentou um alarme falso durante a dissipação do nevoeiro no Aeroporto do Galeão no dia 03AGO23, às 12Z, um dia sem nevoeiro foi selecionado (04AGO23) a fim de realizar mais simulações e experimentos.

O experimento com o índice FSL para o dia sem nevoeiro foi realizado com interação *two-way*, com *spin-up* e com RADT alterado (9 min, 3 min e 1 min para cada grade). A configuração foi definida considerando os melhores resultados de FSL para a previsão do nevoeiro. A Figura 10 apresenta valores de FSL superiores a 1000 m, ou seja, o modelo representou corretamente a ausência de nevoeiro,

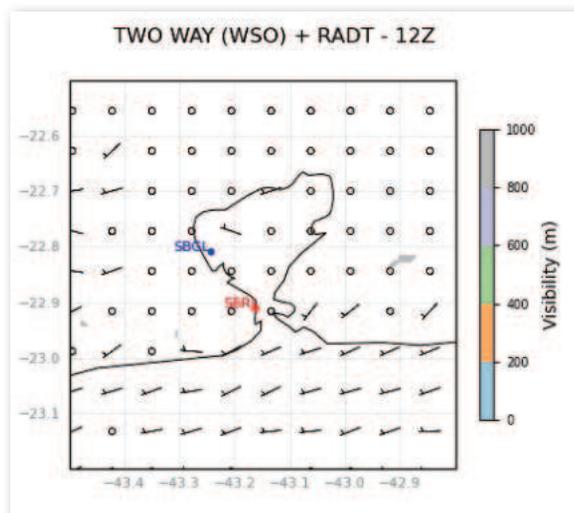


Figura 10 – Índice FSL (m). Simulação realizada com a configuração B (Tabela II) para o dia 04AGO2023 às 12Z na grade aninhada de 1 km. Fonte: elaboração própria

sem alarmes falsos para este índice, nesta data, às 12Z.

O índice FSI também foi calculado para o dia 04AGO23, às 12Z. Contudo, neste caso, ele apresentou valores inferiores a 31 (Figura 11), representando novamente um alarme falso, já que neste dia não foi registrado ocorrência de nevoeiro de acordo com as observações meteorológicas dos aeródromos.

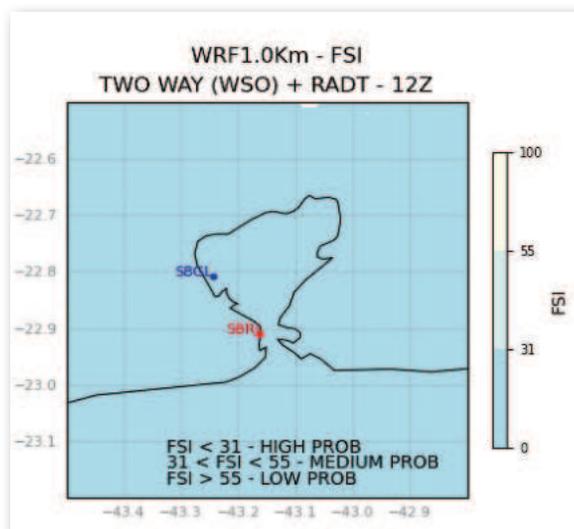


Figura 11 – Índice FSI. Simulação realizada com a configuração C (Tabela II) para o dia 04AGO23 às 12Z na grade aninhada de 1 km. Valores de FSI inferiores a 31 (tom mais escuro de azul) indicam alta probabilidade de restrição de visibilidade inferior a 1 km. Fonte: elaboração própria



5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foram realizados experimentos numéricos com dois índices para detecção de nevoeiros na Baía da Guanabara. Os índices selecionados foram usados por Cardoso et al. (2023) no sul do Brasil e apresentaram bom desempenho.

Foi verificado que o uso de alta resolução espacial representa fator essencial para uma previsão bem-sucedida de nevoeiro. Conforme apresentado aqui, a utilização de uma grade aninhada à grade operacional do modelo WRF do CHM, com 1 km de resolução, ofereceu as melhores previsões de nevoeiro em relação às grades aninhadas com 9 km e 3 km de espaçamento horizontal. Além da alta resolução horizontal, foram usados os seguintes recursos numéricos: modo *two-way nesting*, *spin-up* de pelo menos 24 horas e menor passo de tempo para a parametrização de radiação. Notou-se que sem o *spin-up* (configuração A, na Tabela II), o nevoeiro aparece nas proximidades – com ênfase na parte nordeste –, sem atingir exatamente as áreas dos aeroportos. Ou seja, o modelo não conseguiu detectar a presença do nevoeiro no oeste e entrada da Baía. Portanto, a combinação da alta resolução com os recursos numéricos citados (configuração B) provou ser ideal para gerar melhores resultados nos casos estudados.

Os parâmetros de estimativa de visibilidade foram calculados usando os campos de temperatura, umidade e vento prognosticados pelo modelo WRF para dois dias de agosto de 2023 e em horários variados. Um dia com registro de nevoeiro nos aeroportos do Galeão e Santos Dumont e outro sem restrição de visibilidade nos mesmos aeroportos. Tanto o índice FSI quanto o parâmetro FSL indicaram corretamente a presença de nevoeiro. Mas o primeiro indicou falsos alarmes no horário em que as observações já não registravam restrição de visibilidade e no dia sem registro de nevoeiro, corroborando com os resultados de Cardoso et al. (2023).

Os experimentos realizados indicaram resultados promissores para a previsão de nevoeiro com uso de métodos objetivos a partir dos dados do modelo WRF. Considerando os testes preliminares realizados neste estudo, a resposta sugere que o conjunto de configurações implementadas pode ser uma ferramenta operacional importante para auxiliar a previsão de nevoeiros na Baía da Guanabara. Nesse contexto, ampliar os testes para um número maior de eventos contribui para avaliar o potencial de aplicação operacional desta metodologia no Centro de Hidrografia da Marinha, auxiliando na segurança da navegação na área.



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTAQ. Boletim Estatístico Aquaviário 2º Trimestre 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/antag/pt-br/central-de-conteudos/estudos-e-pesquisas-da-antag-1/BoletimEstatstico2T-2023vfinal.pdf>>. Acesso em: 13 Fev. 2024.

AVIAÇÃO BRASIL. Ranking de Aeroportos Brasileiros – Passageiros Embarcados. Disponível em: <<https://aviacaobrasil.com.br/ranking-de-aeroportos-brasileiros-passageiros/>>. Acesso em: 2 Abr. 2024.

BARI, D.; BERGOT, T.; TARDIF, R. Fog Decision Support Systems: A Review of the Current Perspectives. *Atmosphere*, v. 14, n. 8, p. 1314, 2023.

BARTOK J., BOTT A., GERA M. Fog prediction for road traffic safety in a coastal desert region. *Boundary-Layer Meteorology*, 2012.

BARTOKOVÁ I., BOTT A., BARTOK J., GERA M. Fog prediction for road traffic safety in a coastal desert region: Improvement of nowcasting skills by the machine-learning approach. *Boundary-Layer Meteorology*, 2015.

BASSO, J. L. M.; MACEDO, L. R.; YAMASAKI, Y. Avaliação da extensão dos horizontes de integração temporal do WRF nos prognósticos de vento. *Ciência e Natura*, v.36, Ed. Especial II, p. 491-496, 2014.

CARDOSO, J. R. et al. Dense fog simulation in southern Brazil using the WRF model with high spatial resolution. *Atmósfera*, v. 38, 2023.

COMANDO DA AERONÁUTICA. Códigos Meteorológico METAR e SPECI. Disponível em: <<http://dca.iag.usp.br/material/ritaynoue/aca-0522/referencias/manual%20METAR.pdf>>. Acesso em: 2 Abr. 2024.

DHN – DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. Normas da Autoridade Marítima para as Atividades de Meteorologia Marítima – NORMAM-701, 2023. Niterói, 2023. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/sites/default/files/atos-normativos/dhn/normam/normam-701.html>>. Acesso em: 13 Fev. 2024.

DORAN J.A. et al. The MM5 at the Air Force Weather Agency – New products to support military operations. The 8th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology. Dallas, Texas. 1999.

FAB – FORÇA AÉREA BRASILEIRA. Entenda como é o trabalho do Controlador de Tráfego Aéreo. Disponível em: <<https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/39904/DATA%20COMEMORATIVA%20-%20Entenda%20como%20%C3%A9%20o%20trabalho%20do%20Controlador%20d%20Tr%C3%A1fego%20A%C3%A9reo>> . Acesso em: 04 Fev. 2023.



FREEMAN, L.E., PERKINS, J.S. Meteorological techniques. Air Force Weather Agency. Technical. 1998. Disponível em: <<http://www.novalynx.com/manuals/tn98002.pdf>>. Acesso em: 13 Fev. 2024.

GULTEPE I, TARDIF R, MICHAELIDES SC, CERMAK J, BOTT A, BENDIX J, MÜLLER MD, PAGOWSKI M, HANSEN B, ELLROD G, JACOBS W, TOTH G, COBER SG. Fog research: A review of past achievements and future perspectives. Pure and Applied Geophysics. 2007.

KUNKEL B.A. Parameterization of droplet terminal velocity and extinction coefficient in fog models. Journal of Applied Meteorology and Climatology. 1984. 23:34-41. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<0034:PODTVA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<0034:PODTVA>2.0.CO;2)

MMM - MESOSCALE & MICROSACLE METEOROLOGY LABORATORY. WRF Users Page, 2019. User's Guide for the Advanced Research WRF (ARW) Modeling System Version 4.1. Disponível em: <https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_v4/v4.1/contents.html>. Acesso em: 02 Abr. 2024.

NOBRE J.P.G., FEDOROVA N., LEVIT V., DOS SANTOS A.S., LYRA M.J.A. Nova metodologia para previsão de eventos de nevoeiro para o Aeroporto Zumbi dos Palmares em Maceió (Alagoas). 2019. Anuário do Instituto de Geociências 42: 527-535. https://doi.org/10.11137/2019_3_527_535

OAG. The busiest flight routes in 2023. Disponível em: <<https://www.oag.com/busiest-routes-world-2023>>. Acesso: 13 Fev. 2024.

OMM – ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL. Fog compared with mist. Disponível em: <<https://cloudatlas.wmo.int/en/fog-compared-with-mist.html>>. Acesso em: 09 Fev. 2024.

PORTOS E NAVIOS. Porto do Rio de Janeiro movimentou 8,6 milhões de toneladas de carga até outubro. Disponível em: <<https://www.portosenavios.com.br/noticias/portos-e-logistica/porto-do-rio-de-janeiro-movimentou-8-6-milhoes-de-toneladas-de-cargas-ate-outubro>>. Acesso em: 13 Fev. 2024.

STEENEVELD G.J., RONDA R.J., HOLTSLAG A.A.M. The challenge of forecasting the onset and development of radiation fog using mesoscale atmospheric models. Boundary-Layer Meteorology. 2015.



PROPOSTA DE MODELAGEM MATEMÁTICA PARA INTERSEÇÃO DE ARCOS GEODÉSICOS EM PROVEITO DA REALIDADE S-100

Capitão de Fragata (EN) Ricardo Ramos Freire¹

Capitão de Fragata (EN) Gilberto de Jesus de Oliveira²

Capitão de Corveta (EN) Alex Bolhosa Ferreira³

Capitão de Corveta (EN) Amilcar Mangueira Aguiar Junior⁴

RESUMO

Este artigo apresenta uma breve reflexão sobre a nova realidade S-100, bem como oferece ao leitor um algoritmo de cálculo para determinação da interseção entre linhas geodésicas sobre a superfície de referência elipsoidal, de acordo com as precisões esperadas na editoração cartográfica náutica.

Palavras-chave: Linhas geodésicas, interseção, S-100 e elipsoide.

ABSTRACT

This article presents a brief reflection on the new S-100 reality. It also offers the reader a calculation algorithm for determining the intersection between geodetic lines on the ellipsoidal reference surface compliant with the expected accuracies in nautical cartographic editing.

¹Oficial do Corpo de Engenheiros da Marinha graduado em Engenharia Cartográfica (UERJ). Mestrado em Engenharia da Computação (Geomática - UERJ). Ph.D em Engenharia Oceânica pela UNH, servindo presentemente no Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM). Email: ricardo.freire@marinha.mil.br

²Oficial do Corpo de Engenheiros da Marinha graduado em Engenharia Cartográfica (UERJ). Mestrando em Biotecnologia Marinha (UFF e IEAPM), servindo presentemente no Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM). Email: gilberto.oliveira@marinha.mil.br

³Oficial do Corpo de Engenheiros da Marinha graduado em Engenharia Eletrônica (CEFET/RJ). Mestrado em Engenharia Oceânica (UFRJ), servindo presentemente no Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM). Email: alex.bolhosa@marinha.mil.br

⁴Oficial do Corpo de Engenheiros da Marinha graduado em Engenharia Mecânica (UFES). Mestrado em Engenharia Oceânica (UFRJ), servindo presentemente no Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM). Email: amilcar@marinha.mil.br



Keywords: *Geodesic lines, intersection, S-100 and ellipsoid.*

1. INTRODUÇÃO

A representação cartográfica dos objetos de interesse da segurança da navegação foi imensamente impactada com o advento da Cartografia Assistida por Computador (CAC). Os produtos gerados na era analógica foram atualizados para realidade da vetorização das linhas. Houve uma quebra de paradigma, em que os operadores foram obrigados a assimilar novos conhecimentos para trabalhar na realidade da CAC. Entretanto, do ponto de vista dos produtos (cartas em papel e posteriormente cartas matriciais) não houve evolução qualitativa significativa.

O emprego de computadores, para atualizar as cartas náuticas só causou real impacto com o advento das cartas náuticas eletrônicas (*Electronic Navigational Charts, ENC*). Os regramentos topológicos, os controles de qualidade e o eventual uso de bancos de dados espaciais revelaram mazelas das cartas em papel, e matriciais ou raster, até então desconhecidas. Antes das ENC, a verificação da vetorização empregada pelos operadores dos CAC se contentava com a inspeção visual dos produtos impressos. Tal processo de controle aceitava polígonos abertos ou descontínuos, inconsistências verticais entre produtos de diferentes escalas de compilação, processos de generalização cartográfica indevidos, entre vários outros problemas, incluindo os de natureza topológica. Como uma única carta pode possuir mais de 3 mil objetos e o portfólio da DHN é composto por algumas centenas de cartas em papel, é fácil constatar que esse é um problema significativo. Isso posto, foi realizado um grande esforço para corrigir os problemas identificados e gerar as células ENC.

Os problemas identificados não foram apenas do Brasil. A codificação das ENC, baseada no padrão S-57 (*IHO Transfer*

Standard for Digital Hydrographic Data), da *International Hydrographic Organization* (IHO) impactou toda a comunidade internacional. Para melhorar a qualidade dos produtos, a IHO criou o Anexo C do Apêndice B.1 da S-57, estabelecendo os primeiros controles de qualidade. Atualmente esse anexo foi descontinuado e substituído pelo anexo que os Engenheiros Cartógrafos conhecem como padrão S-58 (*ENC Validation Checks*). Esse compêndio de testes de consistência lógica, topológica, entre outros, visava melhorar o aspecto geométrico das feições codificadas e os relacionamentos entre essas feições, incluindo os metadados, aumentando a coerência da ENC. Os fabricantes de software passaram a desenvolver ferramentas que permitiam construir as ENC baseadas em S-57 e rodar os respectivos controles de qualidade derivados dos regramentos da S-58. Desse modo, o fluxo de produção acabou, naturalmente, evoluindo para primeiro atualizar as bases de dados e células ENC (com seus respectivos controles) para depois, de forma derivada, atualizar as cartas em papel e matriciais.

A comunidade internacional está novamente experimentando um período de inflexão com o *e-Navigation*. Na espinha dorsal desse processo, o novo modelo de dados hidrográficos universal S-100 (*IHO Universal Hydrographic Data Model*) estabeleceu um *framework* comum para que diversos novos padrões geoespaciais sejam desenvolvidos em proveito da comunidade marítima. Dezenas de novos padrões estão em elaboração, almejando uma experiência de planejamento, execução, verificação e correção da navegação, como no PDCA, muito mais completa do que as células ENC, baseadas em S-57, eram capazes. A IHO avocou para si os padrões S-101 a S-199, indo desde a nova carta náutica eletrônica (S-101, *ENC Product Specification*), passando por superfícies batimétricas (S-102, *Bathymetric Surface Product Specification*), maré



(S-104, *Water Level Information for Surface Navigation Product Specification*), correntes de superfície (S-111, *Surface Currents Product Specification*), etc. Em razão da complexidade, diversas outras organizações estão contribuindo (ou planejando contribuir) na elaboração de padrões específicos, quer sejam a *International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse* (IALA) (S-201 a S-299), *Intergovernmental Oceanographic Commission* (IOC) (S-301 a S-399), *Inland ENC Harmonization Group* (IEHG) (S-401 e S-402), *WMO Service Commission* (SERCOM) (S-411 a S-414), *International Electrotechnical Commission – TC80* (IEC-TC80) (S-421 a S-430) e *NATO Geospatial Maritime Working Group* (GMWG) for *Additional Military Layers* (AML) (S-501 a S-525). Algumas modificações introduzidas no *framework* S-100 têm potencial de alterar, novamente, o rigor de construção dos produtos da cartografia náutica. Um desses aspectos será abordado a seguir.

2. DA S-57 PARA S-100

A evolução da modelagem de dados S-57 para S-101 (*ENC Product Specification*), que está subordinada ao *framework* S-100, é de relativa complexidade e este artigo não pretende esgotar o tema. Entretanto, alguns tópicos serão apresentados sobre os métodos de interpolação para os segmentos de linhas.

O primeiro aspecto de destaque consta do item 2.1.7 do Anexo A, Apêndice B.1 do padrão S-57. Nele, é definido o parâmetro Fator de Multiplicação de Coordenadas (*Coordinate Multiplication Factor*, COMF). O COMF será sempre 10^7 . Isso significa que as coordenadas em latitude e longitude das células ENC, baseadas na S-57, terão seus valores armazenados até a sétima casa decimal, o que equivaleria a 11,132 mm na linha do Equador, considerando o

elipsoide biaxial GRS-80. Faz-se importante destacar que essa imposição independe das bandas de uso, mais ainda, independe da escala de compilação de cada célula. Já no Anexo B da S-65 (S-57 ENC to S-101 *Conversion Guidance*), item 2.1.7, o valor do COMF é mantido para S-101, mas será armazenado no campo de informações da estrutura do conjunto de dados (DSSI) nos subcampos CMFX e CFMY. Essa especificação é confirmada no item 10.1.1 da S-101.

Voltando para S-57, item 7.7.1.8, são apresentados os tipos de interpolação dos arcos/curvas: *Arc 3 point centre, Elliptical arc, uniform B-spline, Piecewise Bezier e Non-uniform rational B-spline*.

No item 9-7.2 da S-100, temos: *None, Linear, Loxodromic, Circular Arc 3 Points, Geodesic, Circular Arc Center Point with Radius, Elliptical, Conic, Polynomial Spline, Bezier Spline, B-Spline e Blended Parabolic*. Dessas duas listas, o que mais chama a atenção é que quase todos os interpoladores são baseados em geometria euclidiana sobre sistemas projetivos, exceto um: o interpolador geodésico. Pela sua natureza, esse interpolador é aplicado considerando a superfície elipsoidal de referência. Mais importante ainda: essa especificação não está na S-101, mas, sim, na S-100. Ou seja, esse interpolador vale para todos os padrões. Cumpre ressaltar que os sistemas de navegação apresentam as ENC por meio de sistemas projetivos como recurso para melhor compreensão do navegante humano. Em tempos de sistemas inteligentes de navegação autônoma, essa limitação pode cair por terra. Nada impediria um sistema de navegação trabalhar com coordenadas geodésicas nativas ou mesmo geocêntricas tridimensionais e seria até mais coerente com a busca pelo menor percurso (desobstruído) entre dois pontos. Vale lembrar que o emprego das diversas camadas da S-100 pelo *e-Navigation* aumenta a



necessidade de interoperabilidade entre os produtos; algo que a S-98, *Data Product Interoperability in S-100 Navigation Systems*, busca harmonizar; e capacidade de assimilação por parte do navegante humano para seu respectivo processo decisório. A previsão de interpoladores geodésicos, que inexistiam na S-57, potencializa o futuro da navegação eletrônica.

Como mencionado, os controles de qualidade para as ENC, baseadas na S-57, estão no padrão S-58. Nesse momento, inexistente para as ENC S-101 um padrão homólogo – o Anexo C da S-101 lista uma série de regras para controle de qualidade. Recentemente, em 2023, na reunião do *Hydrographic Services and Standards Committee* (HSSC15) da IHO, foi solicitada a alocação da numeração S-158 para verificações de validação da S-100 (incluindo S-98). As verificações de validação da S-158 serão semelhantes ao S-58, pois precisarão ser atualizadas independentemente para S-100 e S-98. Mais uma vez, ressalta observar que a S-158 cobrirá toda a S-100, não somente a S-101.

Por fim, no item 1.4.2 da S-58, para todos os operadores espaciais (*EQUALS, DISJOINT, TOUCHES, WITHIN, OVERLAPS, CROSSES, INTERSECTS, CONTAINS e COINCIDENT*) baseados na ISO 19125-1, uma tolerância padrão de 1/COMF deve ser aplicada nos softwares de validação. Nesse contexto, esse artigo passa a apresentar um algoritmo de cálculo para interseção de linhas geodésicas.

3. LINHAS GEODÉSICAS

De acordo com Bomford (1952), o menor segmento de linha que une dois pontos sobre o elipsoide de revolução é a linha geodésica. Sendo N o raio de curvatura da seção primeiro vertical, M o raio de curvatura da seção meridiana, ds a diferencial de su-

perfície, $d\phi$ de latitude e $d\lambda$ de longitude, a primeira forma fundamental do elipsoide de revolução é expressa por (PEARSON, 1977):

$$ds^2 = (M \cdot d\phi)^2 + (N \cdot \cos(\phi) \cdot d\lambda)^2$$

Onde os valores de M e N são:

$$M = \frac{a \cdot (1 - e^2)}{\{1 - [e \cdot \text{sen}(\phi)]^2\}^{1,5}}$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - [e \cdot \text{sen}(\phi)]^2}}$$

E os valores do semieixo maior a (6.378.160 m) e achatamento f (1/298.257223563) definem o elipsoide GRS-80, adotado como referência pelo *World Geodetic System 1984* (WGS84), datum horizontal de referência para as cartas náuticas. Já a primeira excentricidade $e1$ é dada por:

$$e1 = \sqrt{f \cdot (2 - f)}$$

As linhas geodésicas podem ser definidas pelas equações diferenciais abaixo:

$$\frac{d\phi}{ds} = \frac{\cos(\alpha)}{M}$$

$$\frac{d\lambda}{ds} = \frac{\text{sen}(\alpha)}{N \cdot \cos(\phi)}$$

$$\frac{d\alpha}{ds} = \frac{\tan(\phi) \cdot \text{sen}(\alpha)}{N}$$

Onde α é o azimute. A primeira forma fundamental é o ponto de partida para as soluções direta e inversa adotadas nesse artigo. O método escolhido é o de Vincenty (1975).

Por fim, uma linha geodésica, em geral, não é uma curva plana. No entanto, o plano que contém três pontos próximos em qualquer geodésica também contém o gradiente ao elipsoide no ponto

central desses três pontos. Os Meridianos e o Equador são linhas geodésicas específicas pois são as únicas que são curvas planas. As linhas ortodrômicas são linhas geodésicas, ou círculos máximos, para superfície de referência esférica. Tais linhas, entretanto, não são linhas geodésicas para superfície de referência elipsoidal, objeto deste estudo.

4. CÁLCULOS GEODÉSICOS DIRETO E INVERSO

O problema das linhas geodésicas se divide em duas partes:

Direto: a partir das coordenadas geodésicas de um ponto de origem sobre o elipsoide, determinar o ponto de destino, conhecidas a distância e azimuth geodésicos entre os pontos (Figura 1);

Inverso: dadas as coordenadas geodésicas de dois pontos, calcular a distância e azimuths geodésicos entre os pontos (Figura 2)



Figura 1 – solução direta para linhas geodésicas no elipsoide. Fonte: elaboração própria



Figura 2 – solução inversa para linhas geodésicas no elipsoide. Fonte: elaboração própria.

O Método de Vincenty (1975) é um dos mais conhecidos e empregados até hoje, tanto pela simplicidade de implementação e precisão de resultados como pelo baixo custo computacional. Para esse estudo, o método foi codificado incluindo a expansão original até os termos u^8 e B^3 . Adicionalmente, foi estabelecido um critério de convergência de 10^{-20} para as longitudes no método indireto e outro critério de igual magnitude para a convergência das distâncias angulares no método direto. Rapp (1993) apresenta considerações adicionais sobre métodos não iterativos e comportamento geodésico de pontos antípodas.

5. EXEMPLO DE CÁLCULO DAS COORDENADAS DO PONTO DE INTERSEÇÃO ENTRE DUAS LINHAS GEODÉSICAS

Sejam duas linhas geodésicas que se cruzam no ponto S. A primeira unindo os pontos 1 e 2, e a segunda, os pontos 3 e 4, conforme a Figura 3. Definiu-se o segmento de linha geodésica que une os pontos 1 e 2 como g_{12} e os pontos 3 e 4 como g_{34} .

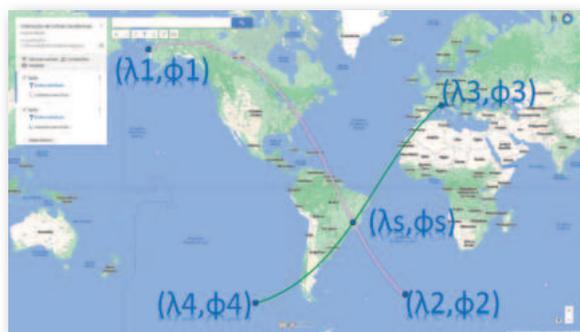


Figura 3 – interseção entre duas linhas geodésicas



Lembrando que a S-58 estabelece que os operadores espaciais devem ter tolerância padrão até a sétima casa do grau decimal das coordenadas geodésicas (e que essa realidade deve persistir na S-100 por meio da futura S-158), essa é a precisão desejável para o método.

Os pontos 1, 2, 3, 4 e S possuem as seguintes coordenadas:

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos extremos dos segmentos de linhas geodésicas e do ponto de interseção (calibração)

P	Lat	Long
1	62,5856080º	-164,8953810º
2	-53,03254672407609º	-14,108183272619748º
3	43,7394160º	7,4195730º
4	-55,81656238317595º	-102,10055177300606º
S	-19,8802811º	-44,0125331º

Para fins de controle, foram estabelecidos os pontos 1, 3 e S. Desse modo, foram calculados os azimutes geodésicos Az_{15} e Az_{35} . Empregando os respectivos azimutes, foi estabelecido o ponto 2 distando 18.000 km do ponto 1 e o ponto 4 distando 15.000 km do ponto 3, usando o método direto de Vincenty (1975). Dessa forma, será possível avaliar qual a precisão do cálculo das coordenadas do ponto de interseção das linhas geodésicas g_{12} e g_{34} .

Caso g_{12} e g_{34} fossem significativamente curtas, seria possível estabelecer uma geometria mais amigável para representar essas geodésicas, de forma que a interseção entre elas fosse algebricamente determinável. Uma abordagem possível é popular g_{12} e g_{34} com os pontos que pertencem a cada uma das linhas geodésicas. Para tal, toma-se as coordenadas do ponto 1 como origem e, usando o azimute geodésico Az_{12} , calculam-se as coordenadas dos pontos pertencentes a g_{12} a cada 1 m (passo). Executa-se o mesmo procedimento

para g_{34} . Para g_{12} , teremos 18 milhões de pontos e, no caso de g_{34} , serão 15 milhões de pontos. Para identificar os pontos próximos à solução de interseção, haveria necessidade de avaliar $270 \cdot 10^{12}$ opções, o que é extremamente ineficiente.

Optou-se por uma estratégia de adensamento de pontos das linhas geodésicas com passo variável, conforme abaixo para g_{12} :

- Calcula a distância entre os pontos 1 e 2;
- Calcula o número de pontos pelo truncamento da divisão entre a distância e o passo;
- Calcula o azimute de g_{12} ;
- Calcula as coordenadas dos pontos pertencentes a g_{12} usando o método direto de Vincenty (1975).

O mesmo procedimento é adotado para g_{34} . Com passo inicial de 1.000 km, as duas matrizes de pontos das linhas geodésicas são comparadas, buscando estabelecer qual o par de pontos (um da g_{12} e outro da g_{34}) possui a menor soma absoluta de diferença entre as coordenadas. Identificado os dois pontos, toma-se os pontos imediatamente anterior e posterior nas g_{12} e g_{34} . Com esses novos limites, repete-se o procedimento com passo de 100 km. Esse processo é repetido, dividindo, sucessivamente, o passo por 10 até chegar no passo de 1 m.

Ao atingir o passo de 1 m, a matriz de coordenadas g_{12} é avaliada quanto à linearidade entre as latitudes e longitudes. Em razão dos valores envolvidos nesse estudo, optou-se por substituir a análise do coeficiente de determinação pela tolerância, definida por $1-r^2$. Para g_{12} a tolerância apresentou valor igual a $9,726 \cdot 10^{-14}$. Já na g_{34} o valor é de $9,903 \cdot 10^{-14}$. Ambos os valores indicam alta linearidade entre as latitudes e longitudes em cada uma das linhas geodésicas. Assim, é estabelecido um modelo linear, conforme abaixo:



$$a \cdot \phi_n + b = \lambda_n$$

No caso de g_{12} temos 20 equações, enquanto para g_{34} são 21. Para resolver esse sistema, adota-se norma-l2, resolvendo por meio do Método dos Mínimos Quadrados:

$$\underbrace{\begin{pmatrix} \phi_0 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ \phi_n & 1 \end{pmatrix}}_A \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}}_X = \underbrace{\begin{pmatrix} \lambda_0 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{pmatrix}}_B$$

$$X = A^T \cdot A^{-1} \cdot A^T \cdot B$$

Os resíduos do ajustamento paramétrico são dados pelo vetor abaixo:

$$V = A \cdot X - B$$

A raiz quadrada do erro médio quadrático é dada por:

$$RMSE = \sqrt{\frac{V^T \cdot V}{n-1}}$$

Ao realizar o ajustamento, obtém-se $RMSE_{12}$ de $6,421 \cdot 10^{-4}$ graus e $RMSE_{34}$ de $6,205 \cdot 10^{-4}$ graus. Esses valores são incompatíveis com a precisão desejada (sétima casa do grau decimal). Ressalta-se que o processo de inversão do quadrado da matriz jacobiana A para obter X costuma apresentar problemas, de acordo com a natureza dos dados. É possível relacionar o RMSE com o coeficiente de determinação (WEISSTEIN, 2017):

$$r^2 = 1 - \frac{V^T \cdot V}{\sum_{i=0}^{n-1} (B_i - \bar{B})^2}$$

Rearranjando, temos:

$$RMSE = \sigma_B \cdot \sqrt{1 - r^2}$$

Onde σ_B é o desvio padrão de B, ou seja, o desvio padrão do subconjunto das longitudes geodésicas de g_{12} ou g_{34} , conforme o caso. A vantagem dessa forma de cálculo de RMSE é que não é preciso determinar os parâmetros solução do vetor X, para depois calcular o vetor resíduo V, ou seja, esse RMSE não está sujeito aos problemas da inversão matricial do quadrado da matriz jacobiana A. O $RMSE_{12}$ foi de $8,306 \cdot 10^{-12}$ graus enquanto o $RMSE_{34}$ foi de $1,076 \cdot 10^{-11}$ graus. Tais valores são compatíveis com COMF, CMFX e CMFY. Para resolver o problema da inversão matricial, empregou-se o método de fatoração LU, conforme abaixo:

$$A^T \cdot A = L \cdot U$$

$$A^T \cdot A \cdot X = A^T \cdot B$$

$$L \cdot U \cdot X = A^T \cdot B$$

$$L \cdot Y = A^T \cdot B$$

$$U \cdot X = Y$$

Com a fatoração LU, foi possível calcular os vetores solução X_{12} e X_{34} , cujos respectivos RMSE foram $7,847 \cdot 10^{-9}$ graus e $1,854 \cdot 10^{-9}$ graus. Com os vetores solução, é possível determinar as coordenadas do ponto de interseção das geodésicas g_{12} e g_{34} . Os valores calculados foram:

$$LatS = -19.880281102317355^\circ$$

$$LongS = -44.01253310175605^\circ$$

Como as coordenadas do ponto S foram estabelecidas no início do projeto, os erros associados estão abaixo:

$$\varepsilon_{LatS} = (2.317 \cdot 10^{-9})^\circ$$

$$\varepsilon_{LongS} = (1.756 \cdot 10^{-9})^\circ$$

6. CONCLUSÃO

Os erros apresentados para os cálculos de interseção entre as linhas geodé-



sicas com 18.000 km e 15.000 km, respectivamente, ficaram na ordem de 10⁻⁹ graus, compatível com a precisão estabelecida na S-58 e na S-100/S-101. É apresentado um material complementar após as Referências, em que os códigos empregados estão discriminados. O processamento do código, para o exemplo avaliado, leva 1 s.

Para trabalhos futuros, sugere-se que o método de Vincenty (1975) seja reavaliado, expandindo as séries em mais

termos para aferir a contribuição ao processo de determinação da interseção geodésica. Sugere-se avaliar outros métodos de decomposição, como Cholesky, QR, Jordan, Hessenberg, etc, buscando melhorar o RMSE do ajustamento. A codificação foi feita objetivando clareza nos processos. Algumas partes do programa podem ser substituídas por loops, enxugando o código e potencialmente reduzindo o tempo de processamento.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOMFORD, G. Geodesy. New York. 1952.

IHO, S-57 Transfer Standard for Digital Hydrographic Data. <https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-57/31Main.pdf>, 2000. Acesso em: 21/01/2024.

IHO, S-57 Appendix B.1, Annex A - Use of the Object Catalogue for ENC - UOC. https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-57/S-57%20Appendix%20B.1%20Annex%20A_UOC_Ed%204.3.0_Final.pdf, 2022. Acesso em: 21/01/2024.

IHO, S-58 ENC Validation Checks. https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-58/S-58%20Ed%207.0.0_Final.pdf, 2022. Acesso em: 21/01/2024.

IHO, S-65 Annex B S-57 ENC to S-101 Conversion Guidance. https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-65/S-65%20Annex%20B_Ed%201.1.0_Final.pdf, 2023. Acesso em: 21/01/2024.

IHO, S-98 Data Product Interoperability in S-100 Navigation Systems. https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/S-98/S-98%20Main_Ed%201.0.0_Final.pdf, 2022. Acesso em: 21/01/2024.

IHO, S-100 Universal Hydrographic Data Model. https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-100/S-100_5.1.0_Final_Clean.pdf, 2023. Acesso em: 21/01/2024.

IHO, S-101 ENC Product Specification. https://registry.iho.int/productspec/view.do?idx=195&product_ID=S-101&statusS=5&domainS=ALL&category=product_ID&searchValue=, 2023. Acesso em: 21/01/2024.

IHO, S-101 Annex A_DCEG. https://registry.iho.int/productspec/view.do?idx=195&product_ID=S-101&statusS=5&domainS=ALL&category=product_ID&searchValue=, 2023. Acesso em: 21/01/2024.

IHO, S-101 Annex C Validation Checks. https://registry.iho.int/productspec/view.do?idx=195&product_ID=S-101&statusS=5&domainS=ALL&category=product_ID&searchValue=, 2023. Acesso em: 21/01/2024.



IHO, S-102 Bathymetric Surface Product Specification. https://registry.iho.int/productspec/view.do?idx=199&product_ID=S-102&statusS=5&domainS=ALL&category=product_ID&searchValue=, 2023. Acesso em: 21/01/2024.

IHO, S-104 Water Level Information for Surface Navigation Product Specification. https://registry.iho.int/productspec/view.do?idx=198&product_ID=S-104&statusS=5&domainS=ALL&category=product_ID&searchValue=, 2023. Acesso em: 21/01/2024.

IHO, S-111 Surface Currents Product Specification. https://registry.iho.int/productspec/view.do?idx=178&product_ID=S-111&statusS=5&domainS=ALL&category=product_ID&searchValue=, 2023. Acesso em: 21/01/2024.

PEARSON, Frederick. Map Projection Equations. Naval Surface Weapons Center, Dahlgren Laboratory, 1977.

RAPP, Richard H. Geometric geodesy part 2. 1993.

VINCENY, Thaddeus. Direct and inverse solutions of geodesics on the ellipsoid with application of nested equations. Survey review, v. 23, n. 176, p. 88-93, 1975.

WEISSTEIN, Eric W. Correlation coefficient. <https://mathworld.wolfram.com/>, 2006. Acesso em: 21/01/2024.





PROPOSTA DE NOVO LAYOUT DAS INLAND ELECTRONIC NAVIGATIONAL CHART (IENC) BRASILEIRAS

Capitão de Fragata Vítor Bravo Pimentel¹
Capitão de Corveta (EN) Christopher Florentino²
Capitão de Corveta (EN) Rafael Vieira de Moraes³
Capitão-Tenente (EN) José Celso Correa Gonçalves Junior⁴

RESUMO

A navegação em hidrovias e vias navegáveis interiores se reveste de grande complexidade, tanto em razão da morfologia de fundo, como em função das peculiaridades regionais de cada local. No que tange à Segurança da Navegação, um dos principais produtos cartográficos é a Carta Náutica para águas interiores, tendo nos seus modelos eletrônicos (*Inland Electronic Navigational Chart - IENC*) seu maior protagonista. Nesse ínterim, o *Inland ENC Harmonization Group - IEHG* desponta como fórum mundial de discussão e órgão de regulamentação. Soma-se a toda a problemática da navegação em águas interiores, o premente período de implantação do novo modelo de intercâmbio de dados hidrográficos S-100, ao qual os países

¹Oficial do Corpo da Armada graduado em Ciências Navais pela Escola Naval. Aperfeiçoado no Curso de Hidrografia para Oficiais (CAHO). Mestre e Doutor em Dinâmica dos Oceanos e da Terra (UFF), servindo presentemente no Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Email: vitor.pimentel@marinha.mil.br

²Oficial do Corpo de Engenheiros da Marinha graduado em Engenharia Cartográfica (UNESP). MBA em Gerenciamento de Projetos (IBMEC). Mestre e Doutor em Dinâmica dos Oceanos e da Terra (DOT/UFF), servindo presentemente no Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Email: christopher@marinha.mil.br

³Oficial do Corpo de Engenheiros da Marinha graduado em Engenharia de Agrimensura. MBA em Gerenciamento de Projetos (IBMEC). Mestre em Engenharia Civil (UFSC), servindo presentemente no Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Email: rafael.vieira@marinha.mil.br

⁴Oficial do Corpo de Engenheiros da Marinha graduado em Engenharia Cartográfica. Especialista em Planejamento e Gestão (UNESP), servindo presentemente no Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Email: jose.celso@marinha.mil.br



deverão adequar sua produção cartográfica. O Brasil, nesse contexto, busca soluções práticas que aperfeiçoem o fluxo cartográfico e, ao mesmo tempo, proporcionem ao navegante maior segurança. Uma das soluções possíveis é a ampla adoção das IENC em detrimento das cartas em formato papel e *raster*, além de propor um novo layout para esse modal cartográfico.

Palavras-chave: IENC. IEHG. Hidrovias. Vias Navegáveis Interiores.

ABSTRACT

Navigation inland waterways is highly complex, both due to the bottom morphology or to the regional peculiarities of each location. Regarding Safety of Navigation, one of the main cartographic products is the Nautical Chart for inland waters, with its electronic models (Inland Electronic Navigational Chart - IENC) as its protagonist. In this vein, IEHG emerges as a global discussion forum and regulatory body. Added to the entire problem of navigation in inland waters, is the urgency of the new hydrographic data exchange model S-100 implementation period, to which countries must adapt their cartographic production. Brazil, in this context, seeks practical solutions that improve the cartographic flow and, at the same time, provide the navigator with greater security. One of the possible solutions is the wide adoption of IENC to the detriment of paper and raster charts. In addition, there is the proposing a new layout for this cartographic modal.

Keywords: IENC. IEHG. Inland Waterways.

1. INTRODUÇÃO

Uma das ferramentas mais importantes para o navegante é a carta náutica.

A do tipo marítima é construída segundo especificações da Organização Hidrográfica Internacional (OHI), seja em seus formatos eletrônico ou papel (OHI, 2000; 2021). Contudo, a OHI se restringe em propor orientações e especificações à região sob responsabilidade da Organização Marítima Internacional (IMO), principalmente onde ocorre a navegação com embarcações que operam no regime da Convenção SOLAS - *Safety of Life at Sea* (IEHG, 2023).

Em águas interiores, além de a navegação não se dar necessariamente sob o regime da SOLAS, o ambiente é menos homogêneo que o marítimo, sendo, portanto, exigidas customizações características do regionalismo local para uma navegação mais segura. Ocorre, porém, que a padronização criada em âmbito mundial não abrange as peculiaridades de cada bioma ou localidade, implicando a necessidade do desenvolvimento de outro produto cartográfico que orientasse o navegante. Nesse contexto, surgiram as cartas náuticas de águas interiores, desenvolvidas conforme as particularidades de cada país, resultando em modelos de produtos com aspectos diferenciados. Dessa forma, observou-se a necessidade de uma coordenação em âmbito mundial, em que fosse criada uma padronização, ao mesmo tempo em que pudesse servir como fórum para troca de experiências e expertise. Assim, em 2009, foi criado o *Inland ENC Harmonization Group* (IEHG).

A Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) possui a atribuição de Serviço Hidrográfico Brasileiro e, por meio do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), é responsável pela produção da cartografia náutica das Águas Jurisdicionais, incluídas as águas interiores (BRASIL, 1876; 1967). Cumpre destacar que é comum se observar em outros países que a responsabilidade da cartografia náutica de águas interiores é alheia ao Serviço Hidrográfico nacional. Abarcar



a confecção dessas cartas náuticas causa grande impacto na produção de documentos náuticos, pois por serem de escalas geralmente maiores que as cartas marítimas, há a necessidade de construir e manter um maior número de produtos para recobrir o mesmo espaço físico de interesse. Ademais, a característica de águas interiores é diversa, em que, muitas vezes, a velocidade do provimento da informação é mais importante que sua acurácia.

Com a aproximação da necessidade de produção de documentos náuticos no novo Modelo de Dados Hidrográfico Universal – S-100, a DHN vislumbrou que seria preciso aperfeiçoar a linha de produção cartográfica do CHM. Em 2023, foi estabelecido o Grupo de Trabalho para Cartas Náuticas em Papel, tendo sido apresentadas alternativas ao modelo de produção vigente. Com base nos debates e estudos realizados (CAIAFA, 2023; LOZADA, 2023), uma das ações propostas foi o desenvolvimento e testes de um novo layout para as cartas eletrônicas de águas interiores, em detrimento do layout eletrônico existente e da substituição gradual das respectivas cartas em formato de papel — que requerem um elevado esforço da linha de produção. Dessa forma, foram desenvolvidos modelos com o propósito de priorizar a interação do navegante com o produto, a velocidade da compilação dos dados e da disseminação da informação, além de facilitar o uso. Para tal, foram escolhidas áreas testes, onde os representantes da comunidade marítima e naval utilizarão o novo formato de produto para ratificar ou retificar a alternativa desenvolvida pelo CHM.

2. INLAND ELECTRONIC NAVIGATIONAL CHART (IENC)

A navegação marítima, em âmbito mundial, é coordenada pela IMO. Já a

navegação em hidrovias e vias navegáveis interiores, como os Rios Mississipi (EUA), Amazonas (BRA), Reno (EUR), Danúbio (EUR), Volga (RUS) e Yangtze (CHINA), têm características regionais, com especificidades de controle de tráfego e balizamento. Contudo, esses locais não são navegados apenas por embarcações regionais. Na parte estuarina, onde as águas interiores fazem limite com a parte marítima, é comum encontrar navios de grande porte. Assim, surge a necessidade de um produto que possa representar as especificidades das águas interiores, mas que também seja compatível com os equipamentos de navegação eletrônica e sigam protocolos da OHI. Porém essa adequação é limitada pelas convenções nacionais ou regionais da navegação em águas interiores. Como exemplo, a Figura 1 mostra o balizamento de uma hidrovia europeia, cuja sinalização náutica não está prevista nas normas internacionais (S-4 e S-57), embora sejam úteis para o navegante. A Figura 2 mostra uma situação que também não ocorre na área marítima, que é um trecho de uma hidrovia passando por cima de outro trecho. No intuito de considerar essas particularidades, foram criados produtos náuticos que são baseados na plataforma da ENC, cuja especificação é a S-57 — *IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data*, porém contam com a adição de objetos e características de cada local. Esses produtos são as IENC.

Por definição, as IENC são uma

(...) base de dados, padronizada quanto ao conteúdo, estrutura e formato, para uso (...) em (...) sistemas de informação operados a bordo de embarcações que transitam por vias navegáveis interiores. Uma IENC é emitida por ou sob a autoridade de uma agência governamental competente

e está em conformidade com os padrões inicialmente desenvolvidos pela Organização Hidrográfica Internacional (OHI) e refinados pelo Inland ENC Harmonization Group. Uma IENC contém todas as informações cartográficas necessárias para uma navegação segura em vias navegáveis interiores e pode conter informações suplementares, além daquelas contidas na carta em papel (por exemplo, direções de navegação, horários de operação, etc.) que podem ser consideradas necessárias para um planejamento e navegação segura. (IEHG, 2023)

Nesse sentido, a IENC vem respeitar os requisitos da cartografia eletrônica estabelecidos pela OHI, mas também objetiva representar feições e situações que não são encontradas na área marítima, apenas em vias navegáveis interiores e hidrovias.

Outro ponto em que as cartas marítimas divergem das cartas de águas interiores é a plataforma de visualização. As ENC são visualizadas em ECDIS (*Electronic Chart Display and Information System*) ou ECS (*Electronic Chart System*). Já as IENC, devido às suas customizações, por possuírem dados ou objetos que não são contemplados pelas ENC e, portanto, não serem reconhecidos pelos ECDIS, necessitam de uma plataforma específica para sua visualização. Para minimizar este entrave, foram desenvolvidos softwares que passaram a ser conhecidos como *Inland ECDIS*: um ECS capaz de ler a biblioteca “expandida” dos símbolos das IENC. As embarcações que transitam em águas interiores necessitam de um dispositivo computacional com essas capacidades.

Toda essa problemática demandava uma contemporização entre produtores de cartas náuticas, desenvolvedores de software e usuário final. Essa função foi preenchida pelo IEHG.

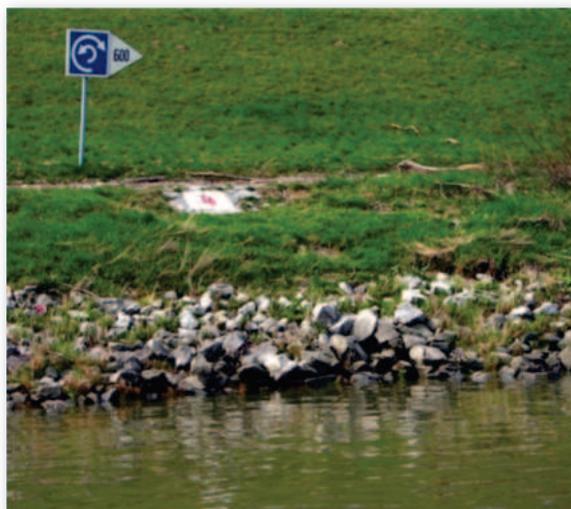


Figura 1 – sinalização de uma hidrovia europeia, alertando um trecho onde a hidrovia fica larga o suficiente para inversão de rumos (guinadas de até 180°). Fonte: (IEHG, 2023)



Figura 2 – Wasserstrassnkreuz conecta o porto fluvial de Berlim ao Rio Reno e passa por cima do Rio Elba. Fonte: (IEHG,2023; SINDAPORT, 2024)



3. INLAND ENC HARMONIZATION GROUP (IEHG)

Em 1999, os EUA, por meio do Corpo de Engenheiros do Exército Americano¹, iniciaram um programa para produção e implementação das IENC nos rios e sistemas hidroviários dos Estados Unidos. Em 2001, a Comissão do Danúbio e do Reno adotaram o *Inland ECDIS* como sistema de navegação para águas interiores. Em 2003, os EUA e a Europa promoveram uma conferência sobre IENC, dando origem ao *North American - European Inland ENC Harmonization Group*, aglutinando representantes dos governos, indústria e academia. Em 2005, a Rússia tornou-se membro do grupo. Em 2007, o Brasil, por intermédio da DHN, aderiu ao IEHG. Em 2009, foi a vez da China participar da iniciativa. O grupo passou a se chamar apenas *Inland ENC Harmonization Group* e, em 2009, ganhou o status de Organização Internacional não Governamental reconhecida pela OHI. Além dos países já citados, atualmente o grupo é composto por todos os países europeus com vias navegáveis interiores conectadas, além da República da Coreia do Sul, Peru e Venezuela.

Seu objetivo é “desenvolver e manter um padrão harmonizado para Cartas Eletrônicas de Águas Interiores (IENC) adequadas para este tipo de navegação, baseado nos padrões da OHI para ENC ‘marítimas’” (IEHG,

2023). Dessa forma, ele atua como um fórum em que as dificuldades de cada hidrovia e vias navegáveis são discutidas, bem como são propostas soluções de uniformização e customização para as peculiaridades regionais.

A principal publicação da organização é o *Encoding Guide for Inland ENCs*, que contém as estruturas gerais para a produção de uma IENC e fornece exemplos das customizações utilizadas, em que são mostradas as feições no terreno, sua representação de acordo com a especificação S-4 (*Chart Symbol*), em S-57 (*IENC Symbolization*) e a forma de codificá-la em Banco de Dados Cartográficos (Figura 3).

G - Ports, Waterways		
G.1 Bridges, Tunnels, Overhead Obstructions		
G.1.5 Suspension Bridge (M)		
A fixed bridge consisting of either a roadway or a truss suspended from two or more cables which pass over towers and are anchored by backstays to a firm foundation. (McGraw-Hill Encyclopaedia of Science and Technology, 7th Edition, 1992)		
Graphics	Encoding Instructions	Object Encoding
<p>Real World</p>  <p>Chart Symbol</p>  <p>IENC Symbolization</p> 	<p>A) Pylons shall be encoded as PYLONS (refer to G.1.10 – Pylons, Piers and Bridge, Cable, Pipeline Support)</p> <p>B) Create separate bridge objects for spans over navigable channel when attributes of navigable spans are different (e.g. vertical clearance, horizontal clearance).</p> <p>C) US: If separate spans are required, each span's INFORM should indicate whether it is the "Primary Navigation Span", "Secondary Navigation Span", or "Not to be used for Navigation."</p> <p>D) Bridge approaches (over the bankline) should be encoded.</p> <p>E) Use PICREP (sample shown below) representation of profile view with vertical clearance shown. US: PICREP is mandatory EU: PICREP is optional</p> <p>F) Roads and railways on bridges shall not be encoded.</p> <p>G) Place LIGHTS on navigable span and piers bounding navigable span.</p> <p>H) All objects of a bridge which belong to one bridge must be combined to one aggregation area (C_AGGR), e.g.</p> <ul style="list-style-type: none"> - pylons - notice marks - bridge lights - buoys at bridge pillar - two way route parts - communication area - fenders - ice breakers - vertical clearance indicators - signal stations 	<p>Object Encoding</p> <p>Object Class = bridge(A)</p> <p>(M) CATBRG = [12 (suspension bridge)]</p> <p>(C) HORCLR = [xx.x] (metres), e.g., 34.2</p> <p>(C) VERCLR = [xx.xx] (metres), e.g., 13.27</p> <p>(C) verdat = [12 (Mean lower low water), 23 (Lowest astronomical tide), 24 (Local datum), 30 (Highest astronomical tide), 31 (Local low water reference level), 32 (Local high water reference level), 33 (Local mean water reference level), 34 (Equivalent height of water (German GRW)), 35 (Highest Shipping Height of Water (German HSW)), 36 (Reference low water level according to Danube Commission), 37 (Highest shipping height of water according to Danube Commission), 38 (Dutch river low water reference level (OLR)), 39 (Russian project water level), 40 (Russian normal backwater level), 41 (Ohio River Datum), 42 (Approximate LAT), 43 (Dutch High Water Reference Level (MHW)), 45 (Dutch estuary low water reference level (OLW))]</p> <p>(C) unloed = [IGRS Location Code]</p> <p>(M) wtedis = [xxxx.xx] (units defined in hunts), e.g., 2451.732</p> <p>(M) hunts = [3 (kilometres), 4 (hectometres), 5 (statute miles), 6 (nautical miles)]</p> <p>(C) INFORM = (Refer to letter C)</p> <p>(C) NINFOM = (Refer to Section B, General Guidance)</p> <p>(C) PICREP = (Refer to Section B, General Guidance)</p> <p>(O) CONDTH = [1 (under construction), 2 (ruined), 3 (under reclamation), 5 (planned construction)]</p> <p>(C) refgag = (Refer to letter P)</p> <p>(O) HORACC = [xx.xx] (metres), e.g., 1.54</p> <p>(O) VERACC = [xx.xx] (metres), e.g., 1.54</p> <p>(O) CATTEV = [4 (likely to change), 5 (unlikely to change), 6 (unassessed)]</p> <p>(O) voref = (Name of reference level to which</p>

Figura 3 – Exemplo do Encoding Guide contendo a captação de água por meio de uma ponte suspensa. Essa estrutura fica na cidade de Corumbá-MS. Tal feição é representada nas IENC do Rio Paraguai produzidas pela DHN. Fonte: (IEHG, 2021)

¹Nos EUA, o órgão responsável pela produção e edição das IENC é o Corpo de Engenheiros Navais do Exército Americano.



Os encontros dos membros ocorrem com periodicidade anual e os próximos desafios correspondem à migração para os produtos S-100, sendo prevista a denominação S-401 para a IENC. O Brasil, como um país-membro, segue as diretrizes do IEHG para as IENC e, com a proximidade da adoção das S-101 (ENC) e S-401 (IENC), prevê a necessidade da avaliação dos processos de produção cartográfica existentes, uma vez que haverá um período de transição entre as ENC e IENC baseadas em S-57 e as baseadas na S-101/S-401, no qual o Serviço Hidrográfico terá que produzir cartas náuticas nos dois formatos.

4. PRODUÇÃO CARTOGRÁFICA DE IENC

Com base no Decreto nº 243/1967 (BRASIL, 1967) e demais regulamentos internos à DHN (Portarias, Instruções Técnicas e outros), atualmente o CHM é o órgão dentro da estrutura nacional autorizado a produzir as cartas náuticas marítimas e de águas interiores. Em janeiro de 2024, o portfólio de cartas náuticas consistia em 557 em formato papel e raster, 166 ENC e 50 IENC, totalizando 1.330 produtos cartográficos. Considerando o premente desafio da produção em S-100, este número atingiria a marca de 1.546. Com relação ao fluxo de produção cartográfico vigente, de forma macro, ele é compreendido pelas seguintes etapas: 1. Construção e inserção dos dados e informações codificadas no Banco de

Dados Cartográficos (BDCart) em formato S-57; 2. Aplicação do 1º controle de qualidade e validação de dados (interno); 3. Elaboração da ENC/IENC, carta em papel e sua respectiva carta raster; 4. Execução do 2º controle de qualidade (interno e externo); e 5. Publicação/distribuição de produtos. Com a S-101, fez-se necessária a avaliação desse fluxo, pois outras linhas de produção/atividades terão de ser criadas, principalmente no tocante à revisão da codificação e validação dos dados no BDCart. Assim, a mudança não é apenas quantitativa, mas também qualitativa.

O desafio da implementação da S-100 levou a DHN a criar o Grupo de Trabalho de Cartas Náuticas em Papel (GT-CNP). Neste fórum, foram discutidos e analisados os fatores inerentes à S-100, com foco na produção da S-101, bem como as dificuldades envolvidas nesse processo. Um dos pontos analisados foi o quantitativo de produtos cartográficos, além do histórico de sua demanda pela comunidade aquaviária e o esforço para produzi-lo e mantê-lo atualizado. Estima-se que das 557 cartas em papel e suas respectivas raster, 327 (60%) poderiam ser substituídas por IENC (Figura 4), representando a entrega de um produto com maior celeridade, quantidade de informações e interatividade com o navegante. Tal substituição seria gradual e ocorreria nas áreas de navegação interior, tais como Bacia Amazônica (Figura 5), Bacia do Paraguai (Figura 6) e Hidrovia do Tietê-Paraná (Figura 7).

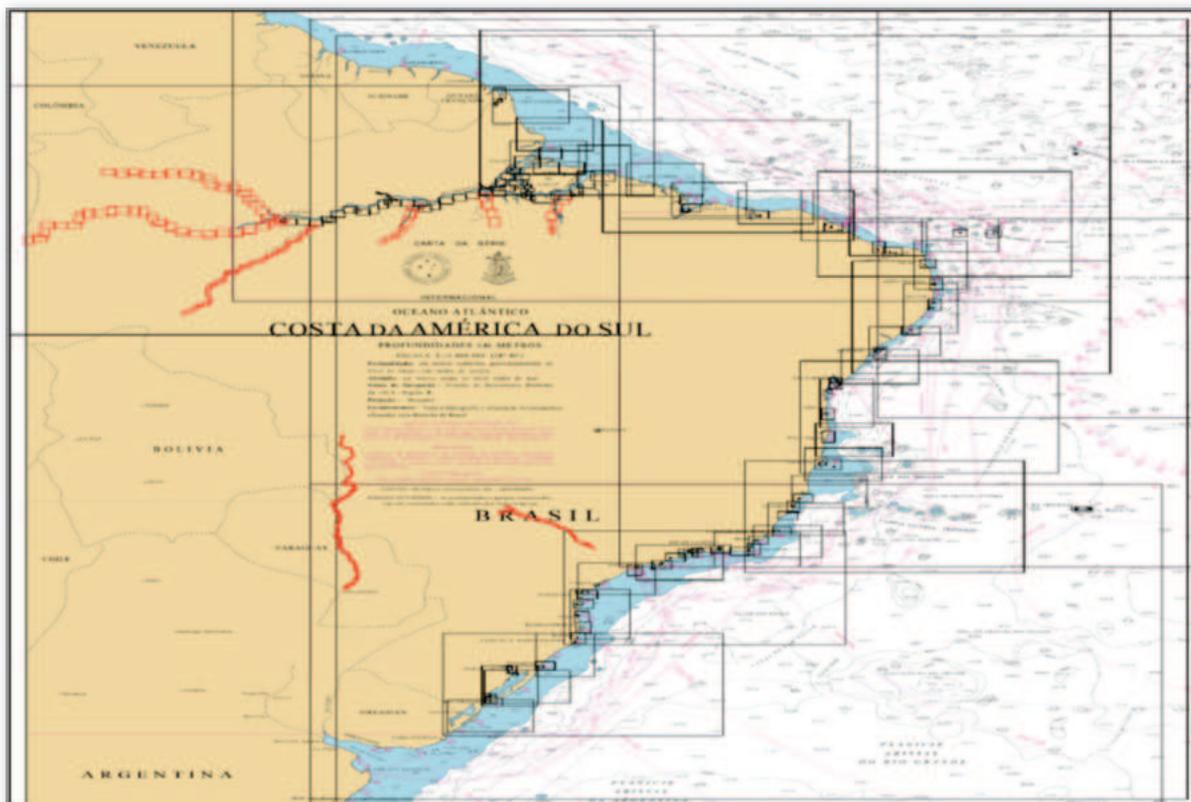


Figura 4 – Compilado da situação de cartas em papel/raster. Em preto estão todas as cartas que compõe o portfólio nacional. Em vermelho, as que poderiam ser substituídas apenas por IENC, por se tratar de navegação em águas interiores. Fonte: Adaptado sobre a Carta Náutica n° 1, DHN

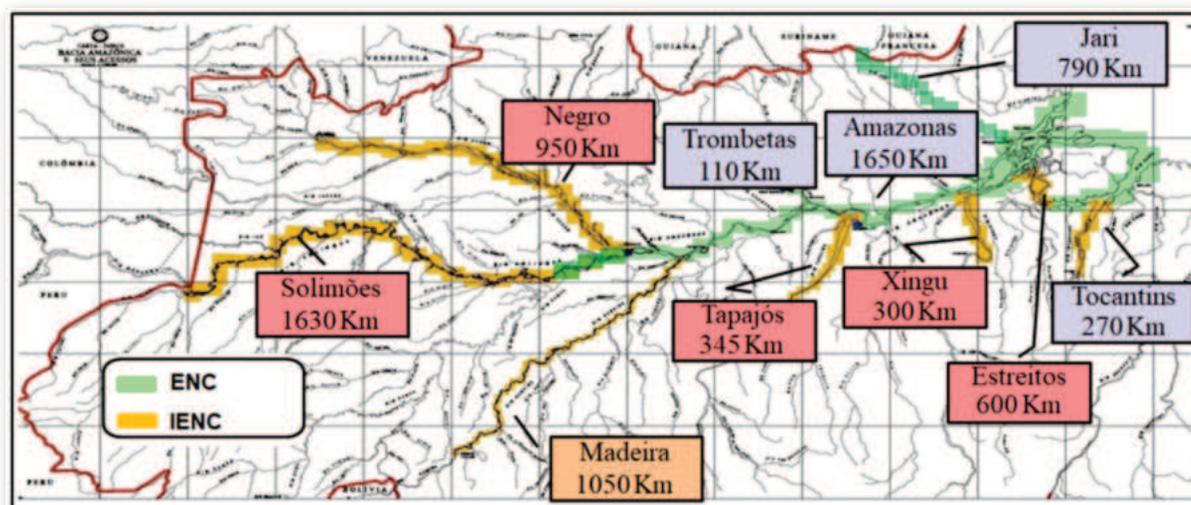


Figura 5 – Bacia Amazônica com o planejamento de produção de cartas eletrônicas (ENC/IENC). Nos retângulos em azul, com os nomes dos rios, os que estão em azul já tiveram seus dados codificados em banco de dados. Em vermelho, os rios cujas cartas eletrônicas estão planejadas. Em coral (Rio Madeira), o que já tem suas cartas eletrônicas prontas. Fonte: Adaptado sobre a Carta Náutica n° 12.100, DHN



Nessas áreas, o próprio balizamento é todo customizado (Figura 8), demonstrando características ímpares de cada local.

Tal fato não passou despercebido do referido grupo de trabalho, de forma que a substituição das cartas em papel, por IENC, foi delineada. Esta providência está em consonância com o adotado pelos países da União Europeia e EUA, haja vista que as vias navegáveis dessas nações são representadas

apenas por IENC, em detrimento do formato de cartas “tradicional” em papel/raster.

Além da tentativa de implementação mais abrangente das IENC, o CHM vislumbrou a oportunidade de desenvolver um novo layout para esses produtos, com o intuito de trazer benefícios tanto à produção cartográfica como especialmente ao navegante, que é o cliente final dos produtos elaborados pelo CHM.

UNEP/ IHO	Meaning	Form	Back	Area of Issue	Function	Observe / Attention
8	no anchoring or making of anchors, cables or chains		left (Caribbean, 1)	American (Latin, 1) or American (Latin, 2)	Prohibition mark (Function, 1)	red; red (1)
8	no anchoring or making of anchors, cables or chains		right (Caribbean, 2)	American (Latin, 1) or American (Latin, 2)	Prohibition mark (Function, 1)	green; green (1)
30	headroom limited		left (Caribbean, 1)	American (Latin, 1) or American (Latin, 2)	Restriction mark (Function, 2)	
30	headroom limited		right (Caribbean, 2)	American (Latin, 1) or American (Latin, 2)	Restriction mark (Function, 2)	
60	secondary waterway ahead on the left, main waterway on the right		left (Caribbean, 1)	American (Latin, 1) or American (Latin, 2)	Information mark (Function, 3)	
60	secondary waterway ahead on the left, main waterway on the right		right (Caribbean, 2)	American (Latin, 1) or American (Latin, 2)	Information mark (Function, 3)	
60	secondary waterway ahead on the right, main waterway on the left		left (Caribbean, 1)	American (Latin, 1) or American (Latin, 2)	Information mark (Function, 3)	
60	secondary waterway ahead on the right, main waterway on the left		right (Caribbean, 2)	American (Latin, 1) or American (Latin, 2)	Information mark (Function, 3)	
100	avoid close to the margin on your portside		left (Caribbean, 1)	American (Latin, 2)	Regulation mark (Function, 2)	Brazilian national inland waterway regulation symbol, 14)
100	avoid close to the margin on your portside		right (Caribbean, 2)	American (Latin, 1)	Regulation mark (Function, 2)	Brazilian national inland waterway regulation symbol, 14)
104	avoid close to the margin on your starboard side		left (Caribbean, 1)	American (Latin, 1)	Regulation mark (Function, 2)	Brazilian national inland waterway regulation symbol, 14)
104	avoid close to the margin on your starboard side		right (Caribbean, 2)	American (Latin, 2)	Regulation mark (Function, 2)	Brazilian national inland waterway regulation symbol, 14)
106	avoid in the middle of the river		left (Caribbean, 1)	American (Latin, 1) or American (Latin, 2)	Regulation mark (Function, 2)	Brazilian national inland waterway regulation symbol, 14)
106	avoid in the middle of the river		right (Caribbean, 2)	American (Latin, 1) or American (Latin, 2)	Regulation mark (Function, 2)	Brazilian national inland waterway regulation symbol, 14)
108	cross river to star		left (Caribbean, 1)	American (Latin, 1)	Regulation mark (Function, 2)	Brazilian national inland waterway regulation symbol, 14)
108	cross river to star		right (Caribbean, 2)	American (Latin, 2)	Regulation mark (Function, 2)	Brazilian national inland waterway regulation symbol, 14)
107	cross river to starboard		left (Caribbean, 1)	American (Latin, 2)	Regulation mark (Function, 2)	Brazilian national inland waterway regulation symbol, 14)
107	cross river to starboard		right (Caribbean, 2)	American (Latin, 1)	Regulation mark (Function, 2)	Brazilian national inland waterway regulation symbol, 14)
109	half channel margin		left (Caribbean, 1)	American (Latin, 1) or American (Latin, 2)	Information mark (Function, 3)	1) Brazil
109	half channel margin		right (Caribbean, 2)	American (Latin, 1) or American (Latin, 2)	Information mark (Function, 3)	1) Brazil
110	wharf ahead		left (Caribbean, 1)	American (Latin, 1) or American (Latin, 2)	Regulation mark (Function, 2)	red; red (1)
110	wharf ahead		right (Caribbean, 2)	American (Latin, 1) or American (Latin, 2)	Regulation mark (Function, 2)	red; red (1)
New symbols for the Brazil catalogue						
1	no entry (open at night)			to show which side to edge, otherwise both to star	Regulation mark (Function, 2)	red; red (1)
44	prohibition of anchor in both directions of traffic					
45	prohibition of anchor (stop in the direction indicated) (prohibits in the opposite direction) (prohibited on bridges)					
120	right of way (priority) for Fair-Planets (Priority of 1) (Right)					
121	prohibited port (no bridge)					
122	prohibited port (no bridge)					
123	prohibited steering (no Fair-Planets) (Priority)					

Figura 8 – Sinalização especial utilizada no Rio Paraguai, Cuiabá, Madeira e Hidrovia Tietê-Paraná. Fonte: Adaptado sobre simbologia especial, DHN

5. NOVO LAYOUT DE IENC

A partir de uma análise mundial, percebe-se que as IENC, por terem sido concebidas como produtos regionais, foram seguindo diferentes layouts, de acordo com as necessidades e particularidades de cada país, embora todos os formatos considerem como base de referência o padrão prévio da S-57 (com as customizações aprovadas pelo IEHG). Na Figura 9, observam-se alguns dos diferentes modelos de IENC. No quadro a, pode-se ver uma IENC da Holanda, com o delineamento do canal de navegação e algumas estruturas de apoio em terra, além da sinalização customizada. No quadro b, observa-se um produto de Portugal, com a aparência de uma ENC. No quadro c, uma IENC da parte austríaca do Rio Danúbio, com o canal de navegação plotado e diversas sinalizações de auxílio. No quadro d, uma carta dos EUA, com derrota recomendada e pouca sinalização.

O Brasil, muito pela peculiaridade de ser um dos poucos Serviços Hidrográficos que lidam com a produção de IENC, optou por reproduzir, em seus primeiros modelos de IENC, um protótipo que muito se assemelhava às tradicionais cartas em

papel que existiam, adaptando inclusive o balizamento característico de cada área (Figura 10) à simbologia digital. Porém, observou-se que esta forma de produção demandava muito tempo, pois empiricamente, registrou-se que a atualização de uma IENC demora em torno de 3 meses para ser produzida, com mais 1 a 1,5 mês para sua respectiva versão em papel/raster ser finalizada. Da mesma forma, uma nova edição de IENC consome, em média, 4 a 5 meses de confecção, com mais 2 meses para publicação do tradicional exemplar em papel/raster. Tamanho intervalo de tempo requerido para o atendimento a todas as especificações e normas inerentes dos produtos em papel, não parece se ajustar a realidade de regiões onde a geomorfologia do fundo marinho se faz muito fluida e dinâmica. Nestas áreas, como as bacias da Amazônia e do Pantanal, no intervalo de um ano, os rios podem mudar drasticamente seu fundo, numa cinemática em que o canal navegável chega a deslocar-se para a outra margem. Somam-se às constantes mudanças das condições de contorno, com os processos de erosão das margens, assoreamento e formação de bancos, a mudança do formato do rio em períodos de sazonalidade variável, dependendo da área em foco.

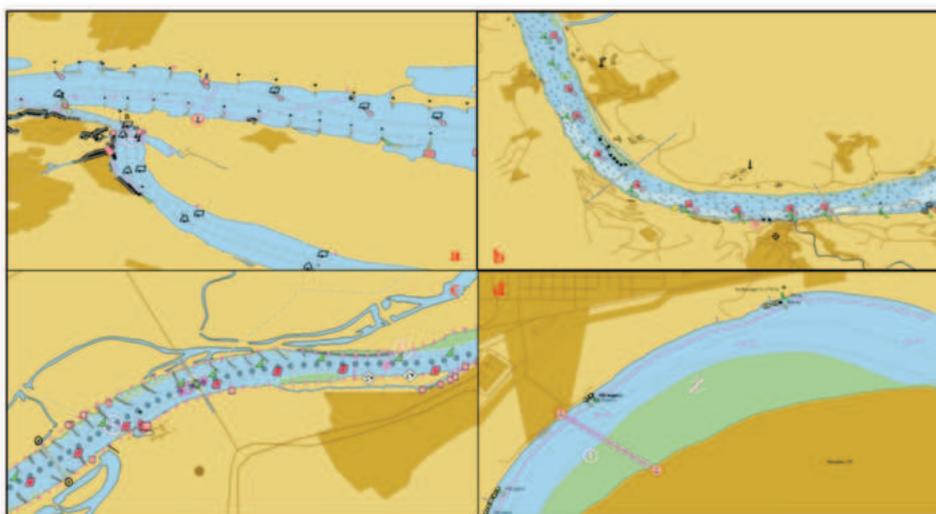


Figura 9 – IENC de outros países. Quadro a corresponde a Holanda, b a Portugal, c a Áustria e d aos EUA. Fonte: (HOLANDA, 2021; PORTUGAL, 2021; ÁUSTRIA, 2021; EUA, 2021)

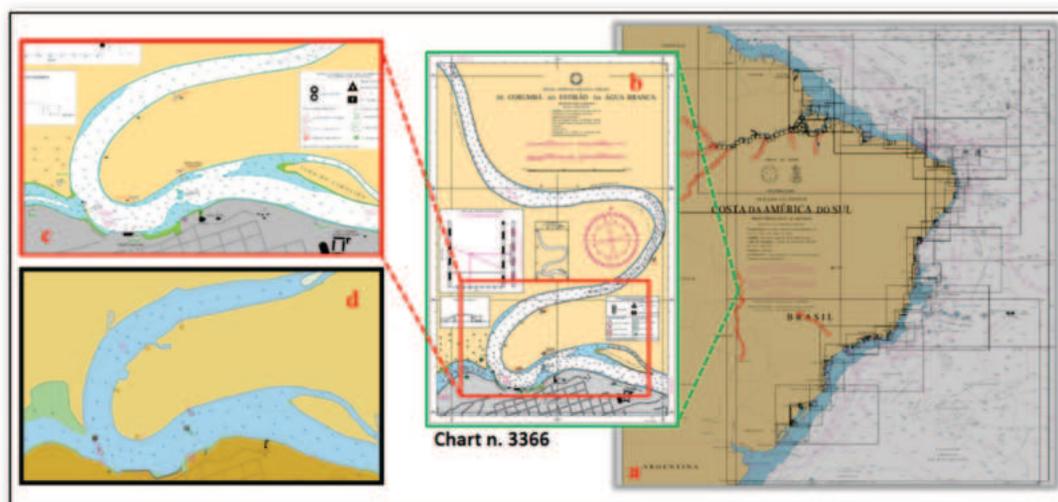


Figura 10 – Carta náutica nº 3366 – De Corumbá ao Estirão da Água Branca – de um trecho do Rio Paraguai (a). Observa-se a carta em seu formato papel (b). Em seguida, de forma mais destacada, o trecho adjacente à cidade de Corumbá, em seus formatos Raster (c) e IENC (d) Fonte: Brasil, 2023a

Nesse sentido, o CHM buscou alternativas de produtos cartográficos que fossem de rápida produção e posterior disseminação, sem que fosse prejudicada a experiência do navegante em relação à carta náutica. Seguindo as boas práticas aplicadas e testadas em grandes hidrovias mundiais, optou-se pelo foco no produto digital (IENC) e, conseqüentemente, por um layout com a diminuição ou total cessação das isóbatas e da seleção de sondagens manual – que usualmente consome significativo tempo de produção – buscando-se uma seleção de sondagem mais adensada e automática.

Tal iniciativa leva a menor intervenção humana, aumentando a eficiência do processo de produção e atualização dos produtos. Além disso, quanto às feições em terra, a exceção dos pontos conspícuos de auxílio à manobra, os demais seriam majoritariamente retirados, com as situações de contorno sendo feitas por algoritmos mais automatizados. Com a supressão da versão papel/raster e aplicação dessas modificações, espera-se um ganho de eficiência em tempo da ordem de 70 a 80%, ou seja o tempo de produção passaria a ser de 20 a 30% do que se consome atualmente (Figura 11).

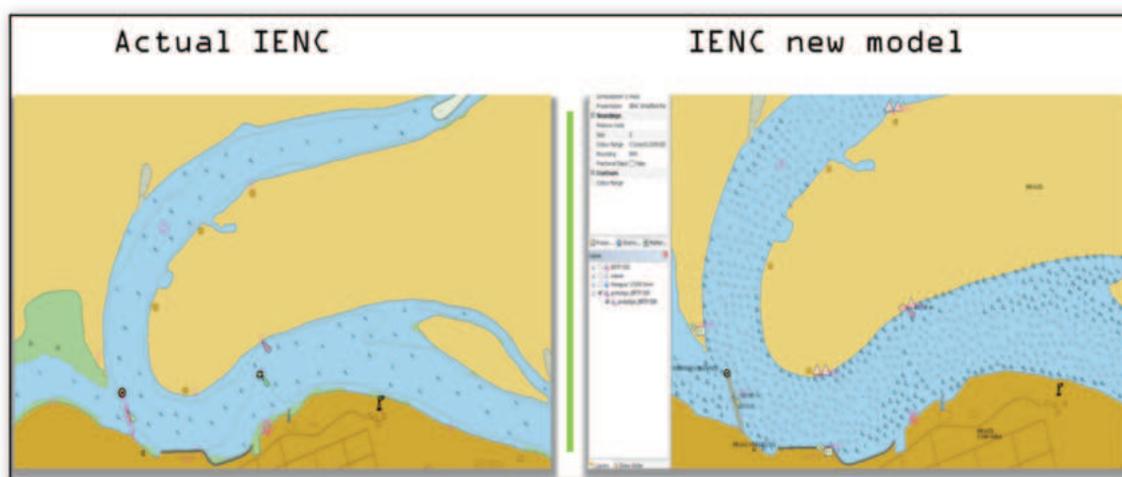


Figura 11 – À esquerda, tem-se o layout atual de IENC. À direita, o novo layout proposto. Fonte: Brasil, 2023b

No que se refere à interação do navegante com a IENC, em primeiro momento, esta pode parecer de difícil compilação mental, uma vez que as isóbatas foram praticamente retiradas e a sondagem adensada. Contudo, uma das vantagens do produto digital e, similar ao que ocorre com o uso das ENC, é a possibilidade do navegante escolher a profundidade crítica para sua embarcação, optando por desvanecer as que não oferecem risco à integridade da sua nave. Ele percorreria sua derrota pelo azul chapado, evitando as áreas com informações de batimétricas. Assim, a IENC não atuaria apenas como carta náutica, mas também como um auxílio à decisão para uma navegação ainda mais segura (Figura 12).

O novo layout da IENC foi apresentado na última Conferência do IEHG, em outubro de 2023, em Chicago-EUA, não encontrando óbices por parte deste grupo. Porém, como todo projeto a ser implementado, é necessária uma fase de testes, o que está sendo planejado pela DHN para ocorrer nas áreas do Rio Paraguai (MT/MS), Rio Madeira (AM/RO), Região dos Estreitos (PA) e Hidrovia Tietê-Paraná (SP) durante os anos de 2024 e 2025. O feedback da comunidade marítima e naval será extremamente necessário para validar a proposta em curso, de forma a ratificar um layout definitivo que possa satisfazer tanto o usuário final quanto otimizar o fluxo de produção.

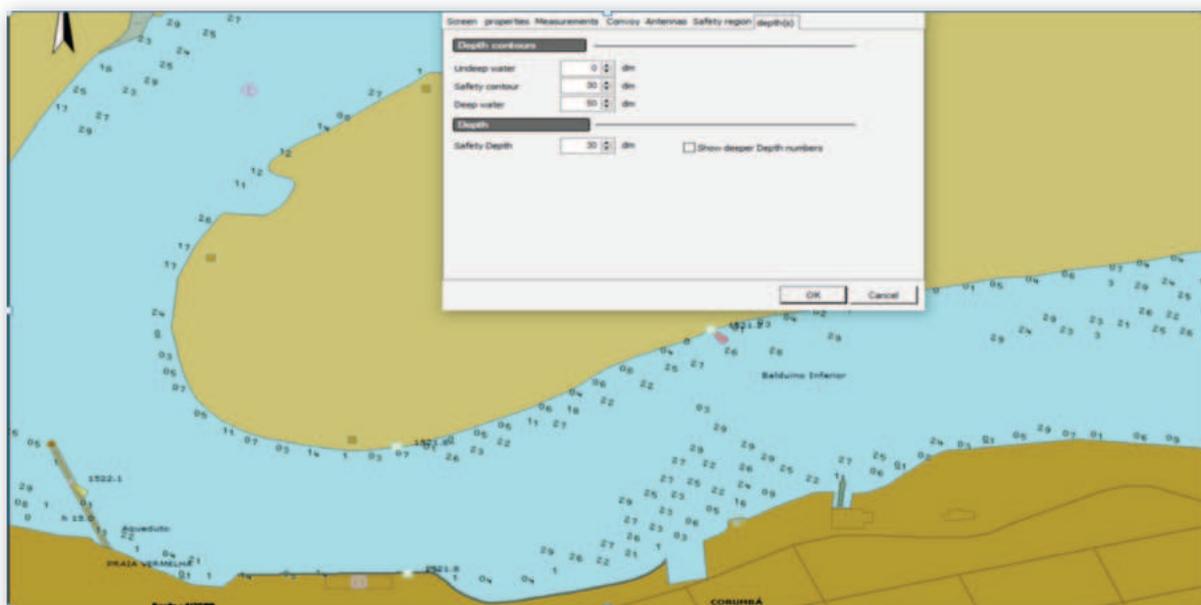


Figura 12 – Trecho da IENC BR8P1525, relativa à Carta Náutica 3366, já no novo layout proposto, com as profundidades menores que 3 metros suprimidas. Visualização no software Periskal. Fonte: Autores



6. CONCLUSÕES

A temática de navegação em águas interiores se reveste de uma complexidade ímpar. A sazonalidade da mudança na morfodinâmica das vias navegáveis introduz um fator que eleva a dificuldade da produção e manutenção dos respectivos produtos cartográficos. Nesse ponto, o mundo como um todo vem fazendo uma gradual transição do meio analógico (das cartas em papel) para o meio digital, tendo a IENC como seu principal produto cartográfico, devido à maior flexibilidade de representação dos dados e rapidez na atualização das informações vitais para a segurança da navegação.

Nesse mister, o IEHG se destaca como um fórum parametrizador dos requisitos técnicos sobre tais produtos e uma importante assembleia de discussão e troca de experiência entre os diversos atores globais. O desafio da implementação da S-100, mais especificamente da S-401, vem sendo tratado como um ponto fulcral e os países

integrantes do IEHG vêm, a seu modo, buscando soluções para acampar mais uma linha de produtos cartográficos.

O Brasil, por meio da DHN e do CHM, não é uma exceção. Com um portfólio de cartas náuticas na ordem do milhar, o CHM vem buscando soluções para que a S-100 seja bem assimilada e cause o menor impacto possível. Como em toda situação de crise e mudança, existem oportunidades intrínsecas que, quando bem exploradas, podem trazer, a curto e médio prazo, melhorias sensíveis. Assim, foi vislumbrada a adoção do formato apenas digital para as cartas náuticas das vias navegáveis interiores, em detrimento dos formatos em papel e raster.

Em adendo, foi proposto um novo layout de IENC, em que se colimou um melhor fluxo de produção, rapidez na divulgação do produto e melhor interação com o navegante. Assim, a DHN e o CHM continuam no seu objetivo de promover a segurança da navegação, de forma cada vez mais eficaz.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSTRIA. Via Donau – Danúbio Austríaco InlandENC 2W7D1880. 2021.

BRASIL. Decreto Imperial no 6.113, de 2 de Fevereiro de 1876. Crêa a Repartição Hydrographica. Coleção de Leis do Império do Brasil. 1876, p. 193.

_____. LEGISLAÇÃO CARTOGRÁFICA BRASILEIRA. Decreto Lei Nº 243 de 28 de Fevereiro de 1967. Brasília. 1967.

_____. Planejamento Hidrovia Tietê-Paraná. 2009b.

_____. Apresentação Institucional – BRASIL. CHAtSO. 2023a.

_____. Apresentação Institucional – BRASIL. IEHG. Chicago. 2023b.

CAIAFA, M. N. S. Análise das Normas de Navegação Brasileira e a Possibilidade da Navegação em Águas Interiores apenas com IENCs. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), MB/CIAARA, 49p. 2023.



Diretoria de Hidrografia e Navegação. Carta Índice - Hidrovia Paraguai-Paraná de Cuiabá a Assunción. 2009a.

EUA. Mississippi River Inland ENC. 2021.

HOLANDA. Rijkswaterstaat Inland ENC 1R7WA938. 2021

INLAND ENC HARMONIZATION GROUP (IEHG). IENC Encoding Guide 2.5.1. 2021. Disponível em: <https://editions.openecdis.org/v/edition-2.5/standard-iecdis/standard-2.5/ienc-product-specification-2.5/ienc-encoding-guide-2.5.1>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2023.

INLAND ENC HARMONIZATION GROUP (IEHG). Apresentação institucional - Inland ENCs and IEHG. 2023. Disponível em: <https://ienc.openecdis.org/presentations-inland-encs-and-iehg>. Acesso em: 28 de fevereiro de 2023.

LOZADA, P. D. I. Potencialidades do uso de Inland ENC na hidrovia Paraguai -Paraná. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), MB/CIAARA, 85f., 2023.

ORGANIZAÇÃO HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL (OHI). Transfer Standard for Digital Hydrographic Data (S-57). Edição 3.1. 2000.

ORGANIZAÇÃO HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL (OHI). Regulations of the IHO for international (INT) charts and chart specifications of the IHO (S-4). Edição 4.9.0. 2021.

PORTUGAL. Instituto Hidrográfico de Portugal - Administração dos Portos do Douro e Leixões, As Inland ENC, PT76611B. 2021.

SINDAPORT. Disponível em: <http://www.sindaport.com.br/conteudo-pesquisa.php?id=1051>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2024.





RESPOSTA DA VARIABILIDADE DO MODELO DE RAIOS A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE DADOS METEOROLÓGICOS E OCEANOGRÁFICOS: UM ESTUDO DE CASO COM DADOS ACÚSTICOS IN SITU NA REGIÃO DE CABO FRIO

Capitão-Tenente (EN) Marco André Desbrousses Cotta¹

Capitão de Fragata (T) Marcia Helena Moreira Valente²

RESUMO

Este estudo tem como principal objetivo aprofundar a compreensão da propagação do som no oceano, buscando uma integração entre dados acústicos, informações meteorológicas e oceanográficas. Utilizando dados coletados na comissão oceanográfica Ressurgência III, que envolveu medições detalhadas das condições oceânicas e experimentos acústicos, foi possível calcular as perdas na transmissão. Adicionalmente, foram conduzidas simulações utilizando modelo de propagação acústica por traçado de raios (TRACEO) da Universidade do Algarve.

A comparação entre os dados coletados *in situ* e os resultados dos modelos de tratamento de raios acústicos têm o propósito de avaliar a precisão da modelagem acústica na reprodução das condições reais do meio marinho. Este estudo enfatiza a importância da integração de sistemas de previsão oceanográfica acústica em conjunto com indicadores de probabilidade de detecção sonar.

¹Oficial do Corpo de Engenheiros da Marinha graduado em Engenharia Naval e Oceânica (UFRJ). Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Acústica Submarina (PPGAS) do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM). Email: macotta@poli.ufrj.br

²Oficial do Quadro Técnico da Marinha graduada em Oceanografia (UERJ). Mestrado em Oceanografia Física (USP). Doutorando em Engenharia Oceânica (COPPE-UFRJ), servindo presentemente no Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM). Email: marcia.helena@marinha.mil.br



Palavras-chave: Oceanografia acústica. Modelo de raios. Ressurgência costeira. Processamento de sinais.

ABSTRACT

This study aims to deepen the understanding of sound propagation in the ocean, seeking an integration of acoustic data, meteorological, and oceanographic information. Using data collected during the Ressurgência III oceanographic expedition, which involved detailed measurements of oceanic conditions and acoustic experiments, it was possible to calculate transmission losses. Additionally, simulations were conducted using the ray tracing acoustic propagation model (TRACEO) from the University of Algarve. The comparison between in-situ collected data and the results of acoustic ray tracing models aims to evaluate the accuracy of acoustic modeling in reproducing real conditions in the marine environment. This study emphasizes the importance of integrating acoustic oceanographic forecasting systems along with sonar detection probability indicators.

Keywords: Acoustic oceanography. Ray tracing model. Coastal upwelling. Signal processing.

1. INTRODUÇÃO

A modelagem acústica é uma ferramenta computacional valiosa para investigar e prever a propagação acústica no ambiente marinho. Esses modelos constituem bases sólidas para teorias avançadas, representando abordagens matemáticas fundamentais na descrição do complexo sistema de propagação acústica no meio geofísico do oceano. Quando alimentados com dados oceanográficos e meteorológicos que

refletem com precisão as condições reais, esses modelos oferecem uma representação confiável da propagação acústica. Em ambientes costeiros, diversas peculiaridades oceanográficas e geológicas podem causar reflexão, refração e difração horizontal do som. A abordagem comumente utilizada para enfrentar desafios relacionados à acústica subaquática em cenários costeiros envolve a aplicação de modelos numéricos (Oliveira et al., 2021). A teoria do traçado de raios, geralmente apresenta um desempenho superior em frequências acima de 1 kHz, devido à sua natureza aproximada (Jensen et al., 2011 e Valente, 2018), como as escolhidas para essa pesquisa.

A região costeira pode exibir uma grande variabilidade em diversas escalas espaciais e temporais, influenciando o desempenho do sonar. Incertezas surgem na estimativa dos campos oceânicos e acústicos devido a medições imperfeitas (erros de dados), modelos imperfeitos (erros de simulação) e variabilidades ambientais desconhecidas (Robinson et al., 2002). Muitas pesquisas dedicam-se à oceanografia acústica, especialmente no contexto militar, em que há um interesse em compreender o impacto da variabilidade ambiental nas previsões acústicas e no desempenho do sonar, como: Lam et al. (2009); Abbot & Dyer (2002); Colin et al. (2013) e Rixen et al. (2012).

1.1 Problema acústico abordado

O problema acústico abordado está relacionado com a geração, propagação e recepção do som.

No presente trabalho, foram analisados dados da comissão Ressurgência III, em que foram abordados os critérios geométricos de frequência e comportamento das propriedades no espaço.

A análise conforme o critério geométrico, para águas rasas, apresentado



inicialmente por Tolstoy & Clay (1966), a diferenciação fundamental entre a propagação sonora em águas rasas e em águas profundas está intrinsecamente ligada à escala do fenômeno em questão. Etter (2013) demonstra que grande parte dos continentes exibe plataformas continentais delimitadas pela isobatimétrica de 200 metros e complementa definindo que águas rasas estarão presentes sempre que a propagação acústica for marcada por inúmeras interações com o fundo marinho e a superfície da água. Kuperman & Lynch (2004) também apresentaram definições semelhantes quanto a esse critério e relataram que, em águas rasas, a relação típica entre a profundidade e o comprimento de onda acústica (H/λ) situa-se geralmente entre 10 e 100. Estes autores apresentam esta importante caracterização, que a propagação em águas rasas está limitada por um guia de ondas limitado e por múltiplas interações entre a superfície e o fundo.

Já na análise da frequência, Jensen et al. (2011) define com altas frequências aquelas superiores a 1 kHz para propagação sonora no mar. Esse critério está relacionado à atenuação do som. Katsnelson & Petnikov (1997) também trataram desse tema de forma mais direta em águas rasas. Os autores salientam que o aumento considerável da atenuação sonora com a frequência torna o uso de maiores frequências absolutamente sem perspectiva para a sondagem acústica de águas rasas a grandes distâncias, apesar de ser possível o aumento da potência de emissão com a frequência.

Para a análise do comportamento das propriedades ambientais ao longo da distância, neste estudo, foram feitas simulações para avaliar a diferença entre os dois tipos de modelagem (RD e RI). Para o caso RD, foram imputados ao modelo dados

detalhados *in situ*, variando ao longo da distância em uma radial.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo simular realisticamente o processo de propagação acústica em um ambiente de ressurgência costeira, a fim de determinar as perdas na propagação do som e os efeitos acústicos provocados por este processo oceanográfico. Ainda como escopo principal, busca-se avaliar como as variáveis meteorológicas e oceanográficas podem introduzir complexidades adicionais na comparação entre dados coletados *in situ* e resultados obtidos por meio de modelos de propagação acústica.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Experimento acústico

A comissão Ressurgência III foi realizada entre os dias 8 e 15 de setembro de 2021 e teve como apoio o Navio de Pesquisa Hidroceanográfico “Vital de Oliveira”. Pesquisadores civis e militares do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) embarcaram no referido navio e realizaram diversos experimentos, entre eles o lançamento de um arranjo de hidrofones em um ponto de fundeio próximo à costa, que captava o som transmitido por meio de uma fonte sonora que era arriada pelo navio até 15 metros de profundidade. Complementarmente o navio realizou 19 estações oceanográficas utilizando o conjunto CTD (*conductivity, temperature e depth*) – Rossete, que possibilitou determinar os perfis de temperatura, salinidade e clorofila, em quatro radiais próximas a Ar-raial do Cabo (figura 1).

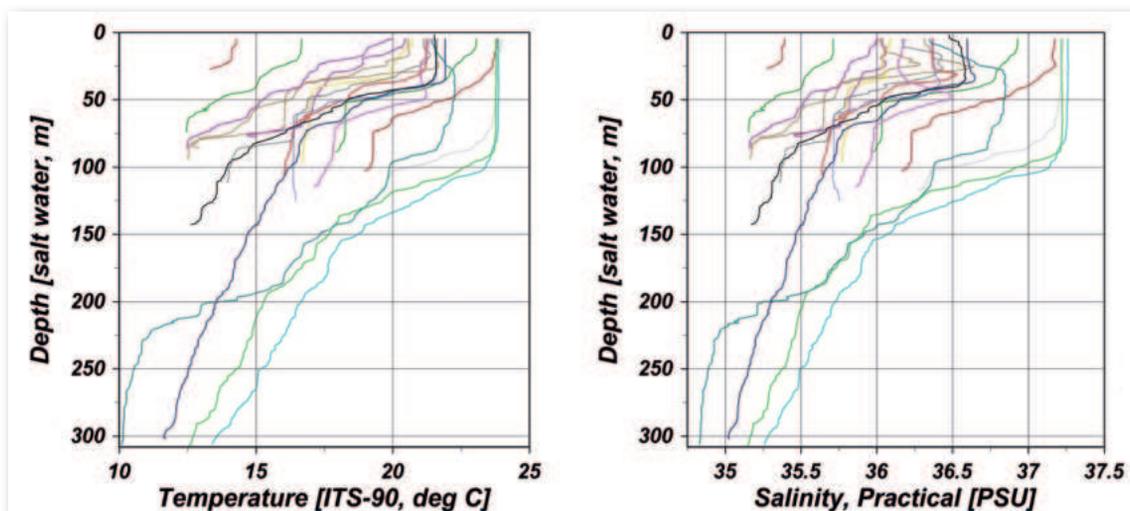


Figura 1 – Perfis verticais de temperatura e salinidade para todas as estações oceanográficas da comissão.
Fonte: Elaboração própria

Os pontos marcados em vermelho, na figura 2, representam a radial em que foi realizado o experimento acústico, próximo à linha de 42°W, entre 23°S e 24°S.

O arranjo de hidrofones do experimento acústico foi configurado conforme esquema apresentando na figura 3.

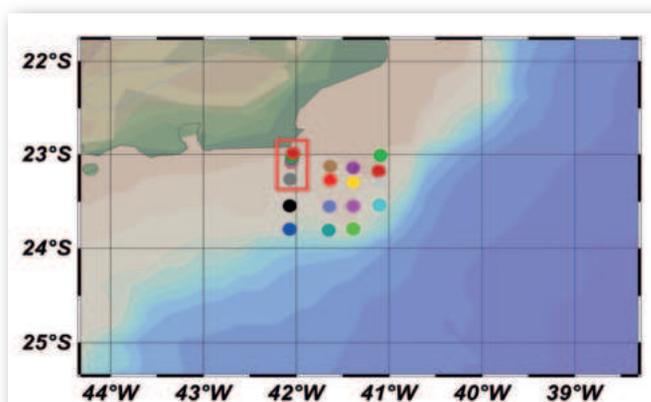


Figura 2 – Localização dos pontos de coleta de dados oceanográficos.
Fonte: Elaboração própria

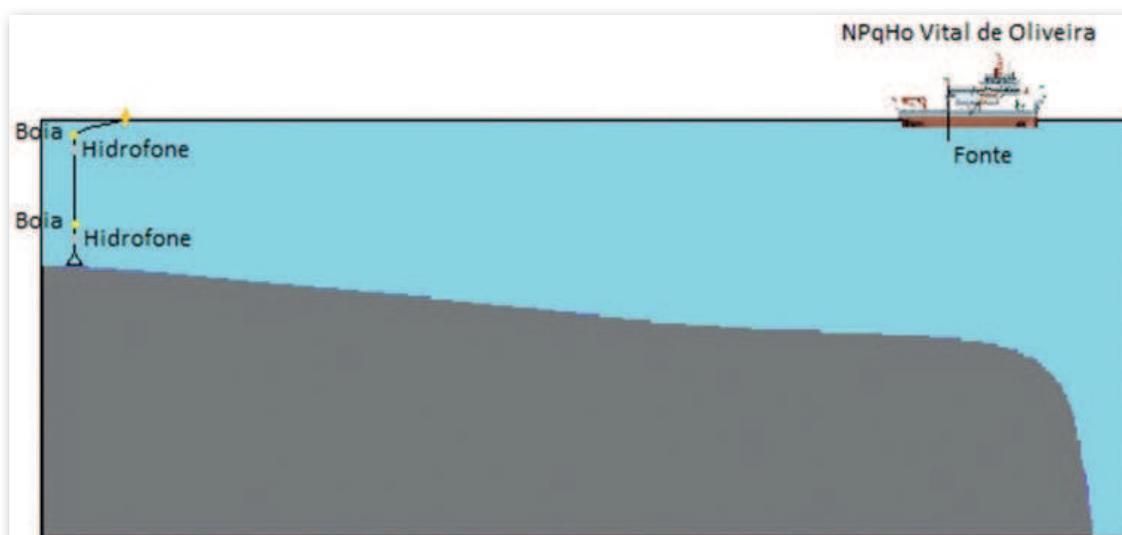


Figura 3 – Arranjo do experimento acústico. Fonte: Elaboração própria



A figura 4 apresenta os perfis de velocidade do som da raia em que foi realizado o experimento acústico. A partir da utilização da equação de Mackenzie foi calculado o perfil de velocidade do som para cada estação com a respectiva profundidade.

O experimento acústico foi elaborado para que fosse possível a transmissão de sinais acústicos modulares de frequência linear (LFM, do inglês: Linear Frequency Modulation), mais especificamente CHIRP (do inglês: Compressed High-Intensity Radar Pulse) que tem por característica a variação da frequência ao longo do tempo (RODRIGUEZ, 2023), representada pela equação (1):

$$s(t) = \cos(\phi(t)) \quad (1)$$

Os sinais foram produzidos computacionalmente com as seguintes características:

Primeiro CHIRP: com duração de 0,25 s, intervalo entre CHIRP de 0,5 s e range de frequência de 500 Hz (por exemplo, para 1kHz,

ficando dentre 750 Hz e 1250 Hz).

Segundo CHIRP: com duração de 0,5 s, intervalo entre CHIRP de 1,75 s e range de frequência de 500 Hz (por exemplo para 1kHz, ficando dentre 750 Hz e 1250 Hz).

Foi gerado sinteticamente uma sequência de 10 CHIRP com essas características para transmissão. O sinal foi emitido em uma sequência, intercalando os CHIRP de 0,25 s e 0,5 s, como se pode observar no espectrograma do sinal recebido pelo arranjo de hidrofones para 1 kHz, figura 5.

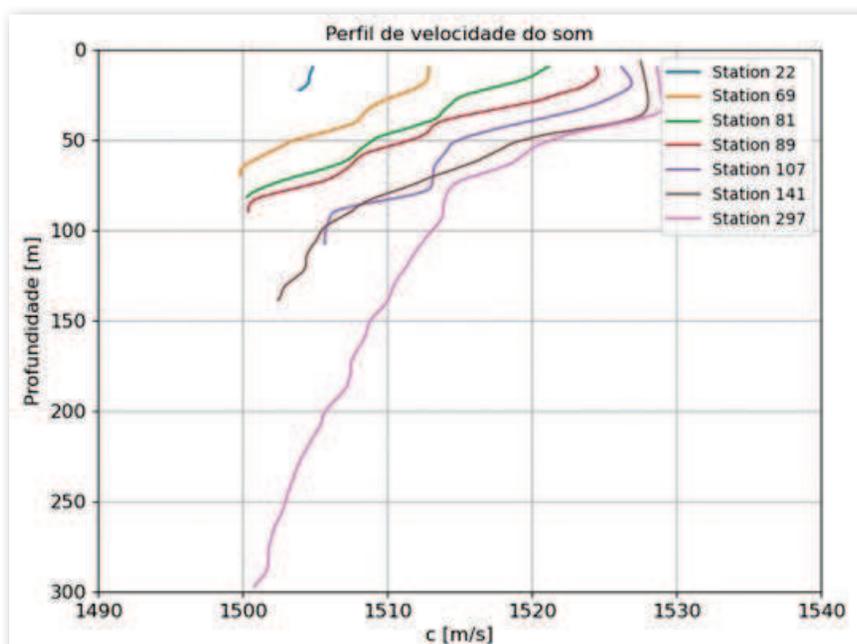


Figura 4 – Perfis de velocidade do som da raia. Fonte: Elaboração própria

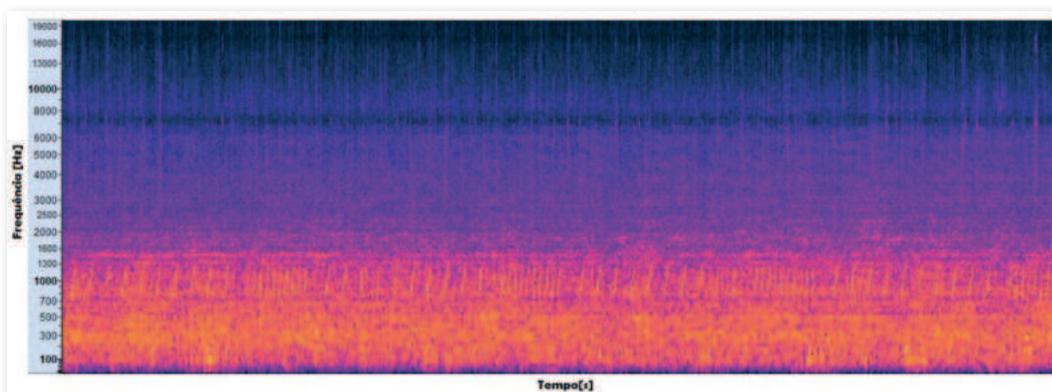


Figura 5 – Espectrograma do sinal recebido pelo hidrofones para 1kHz. Fonte: Elaboração própria

3.2 Processamento de sinais

Como o objetivo é identificar atrasos temporais precisos, especialmente em ambientes nos quais atrasos de propagação podem ser relevantes, a correlação cruzada foi o método escolhido por apresentar melhores resultados.

Aplicando a correlação cruzada para o sinal recebido no experimento, teve de iniciar o processamento dos sinais de 1 kHz, como apresentado na figura 6.

Antes de aplicar a técnica de Welch, é comum aplicar uma janela móvel ao sinal original. Ao aplicar a janela de Hann, a amplitude do sinal é gradualmente atenuada em direção às extremidades, criando uma transição mais suave entre o conteúdo do sinal e os valores próximos a zero nas bordas. Essa atenuação gradual é crucial para evitar distorções no espectro de frequência causadas pelo fenômeno conhecido como vazamento espectral.

Cada segmento janelado é transformado usando a Transformada Rápida de Fourier (FFT) para obter sua representação no domínio da frequência. A DEP é calculada para cada segmento usando a magnitude do espectro de frequência, e a utilização da FFT permite uma análise eficiente no domínio da frequência.

A DEP em amplitude, dada por $S(\omega)$, pode ser obtida por meio da relação com $s(t)$, utilizando a FFT, como em (2):

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) \cdot e^{i\omega t} d\omega \quad (2)$$

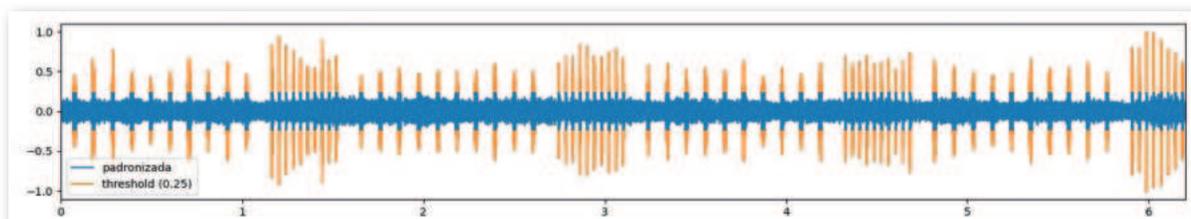


Figura 6 – Resultado da aplicação da correlação cruzada de um dos sinais de 1kHz recebido do experimento. Fonte: Elaboração própria

Sendo essa relação conhecida como síntese de Fourier, a DEP é obtida a partir da equação (3):

$$|S(\omega)|^2 \quad (3)$$

Pela teoria de Parseval, a energia do sinal é a mesma no domínio da frequência e no domínio do tempo, apresentada na equação (4) (RODRÍGUEZ, 2023):

$$\int_{-\infty}^{\infty} |S(\omega)|^2 \cdot d\omega = \int_{-\infty}^{\infty} |s(t)|^2 \cdot dt \quad (4)$$

Tendo determinado a DEP, pôde-se alcançar o resultado do nível de pressão sonora (do inglês, sound pressure level - SPL) que chega no receptor, equação (5):

$$SPL = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{|FFT|^2}{(1 \mu Pa)^2} \right) \quad (5)$$

Com a informação do SPL que chegou no receptor e sabendo o SPL que foi emitido pelo transmissor, é possível calcular a Transmission Loss (TL), como demonstrado pelas equações (6) e (7):

$$TL = SPL_{transmitido} - SPL_{recebido} \quad (6)$$

$$TL = SL - 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{|FFT|^2}{(1 \mu Pa)^2} \right) \quad (7)$$



3.3 Modelo de raios

Segundo Jensen et al. (2011), o uso de modelos baseados em raios é uma prática consolidada no estudo da propagação acústica há muitos anos. Desde a década de 1960, a modelagem predominante empregava modos normais ou o rastreamento de raios. Contudo, atualmente, os códigos de rastreamento de raios perderam um pouco de popularidade na comunidade de pesquisa, devido à aproximação inerente de alta frequência do método, que resulta em uma precisão relativamente limitada nos resultados. Originalmente, essa teoria surgiu na óptica das equações de Maxwell, sendo inicialmente empregada para compreender a propagação da luz mesmo antes da formulação das equações fundamentais para tal propagação. O estudo da propagação e reflexão de raios remonta a Euclides (KELLER, 1978), enquanto a lei de Snell, que governa a refração dos raios, em origem em 1626.

3.4 Perda na transmissão coerente

Conforme a teoria apresentada por Jensen et al. (2011), cada *eigenray* (caminho que o raio percorrer) contribui para o campo de pressão complexo com base em sua intensidade e fase naquele ponto. A intensidade é calculada simplesmente somando as contribuições de cada um dos *eigenrays*, resultando em (8):

$$P^{(c)}(r, z) = \sum_{j=1}^{N(r, z)} p_j(r, z) \quad (8)$$

Onde $N(r, z)$ representa o número de *eigenrays* que contribuem para o campo em uma posição específica do receptor, e (r, z) é a pressão devido a esse *eigenray*. O número de *eigenrays* contribuintes pode variar consideravelmente. Na vizinhança, pode haver apenas três *eigenrays* importantes: um raio

direto, um raio de reflexão no fundo e um raio de reflexão na superfície. Os *eigenrays* restantes atingem o fundo em ângulos mais íngremes do que o ângulo crítico e, portanto, são fortemente atenuados. Em faixas mais longas, muitas vezes, haverá contribuições de trajetórias que atingem a superfície e o fundo várias vezes ou *eigenrays* seguindo diferentes trajetórias refratadas. A perda de transmissão é então definida como, equação (9):

$$TL(s) = -20 \log \left| \frac{p(s)}{p^o(s=1)} \right| \quad (9)$$

3.5 Propriedades do fundo

O mapa faciológico (figura 9) na região do experimento (marcado em vermelho) indica a presença de lama em um trecho mais próximo à costa e, posteriormente, uma pequena porção de areia. Os dados foram inseridos no modelo, entretanto, surgiu uma incerteza quanto à variável posição da fronteira entre a lama e a areia. Dessa forma, foram realizadas algumas simulações até que se obtivesse os menores MSE, indicando a melhor resposta ao modelo.

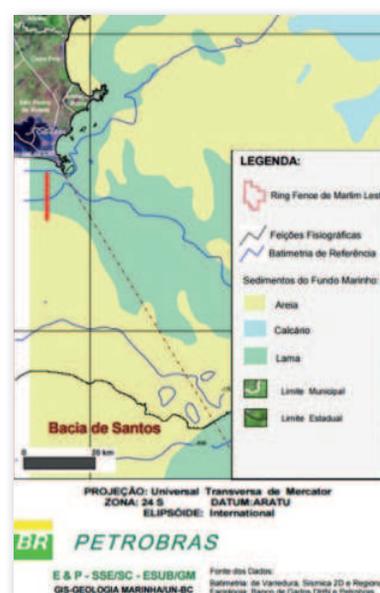


Figura 7 – Mapa faciológico. Fonte: adaptado de Petrobras e DHN



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Realizou-se uma comparação dos resultados do experimento acústico com os resultados das simulações, por meio

da análise do erro médio quadrático, do inglês *Mean Squared Error* (MSE), para o hidrofone a 10 metros de profundidade (tabela 1) e 25 metros de profundidade (tabela 2).

Tabela 1 – MSE para o hidrofone de 10 m de profundidade

MSE entre experimento e simulado - chirps de 0,25s - Hidrofone a 10 m		
Distância[milhas]	Fundo de Areia e SSP RI	Fundo Faciológico e SSP RI
3	4,7002	0,7534
6	58,2932	4,9952
Distância[milhas]	Fundo de Areia e SSP RD	Fundo Faciológico e SSP RD
3	0,1354	0,0046
6	1,5252	0,0552

MSE entre experimento e simulado - chirps de 0,5s - Hidrofone a 10 m		
Distância[milhas]	Fundo de Areia e SSP RI	Fundo Faciológico e SSP RI
3	4,4268	0,4956
6	51,9841	0,5041
Distância[milhas]	Fundo de Areia e SSP RD	Fundo Faciológico e SSP RD
3	0,0108	0,0003
6	1,6641	0,1521

Tabela 2 - MSE para o hidrofone de 25 m de profundidade

MSE entre experimento e simulado - chirps de 0,25s - Hidrofone a 25 m		
Distância[milhas]	Fundo de Areia e SSP RI	Fundo Faciológico e SSP RI
3	6,2901	1,0161
6	46,5806	20,4756
Distância[milhas]	Fundo de Areia e SSP RD	Fundo Faciológico e SSP RD
3	0,0949	0,0369
6	0,8556	0,0462

MSE entre experimento e simulado - chirps de 0,5s - Hidrofone a 25 m		
Distância[milhas]	Fundo de Areia e SSP RI	Fundo Faciológico e SSP RI
3	6,1603	0,9643
6	–	–
Distância[milhas]	Fundo de Areia e SSP RD	Fundo Faciológico e SSP RD
3	0,1866	0,013924
6	–	–



Os cálculos demonstram alguns padrões recorrentes em todos os conjuntos de simulações, que são:

I. O primeiro padrão observado está em quanto mais refinado são os dados imputados no modelo, menor o MSE.

II. O segundo padrão observado está em quanto menor a distância, menor o MSE para cada frequência.

Nas análises, foi verificado que os dados quantitativos de MSE associados às simulações com perfis de velocidade do som RI são muito maiores que os dados associados às simulações com perfis de velocidade do som RD. O SSP RD representa com maior veracidade o meio, pois carrega a variação da velocidade do som ao longo da radial para o cálculo da propagação.

No caso específico dessa comissão, o CTD obteve dados de SSP a cada milha, então foi criada uma rotina que utilizou a variação do SSP ao longo da raia. Para o SSP RI, foi utilizado um perfil médio dos perfis disponíveis para as simulações.

A variação dos dados de propriedades do fundo em conjunto com os dados de perfis de velocidade do som é relevante. A diferença entre MSE de dados comparados entre RI e RD, com mesmo tipo de fundo, é maior que quando comparado entre diferentes tipos de fundo com mesmo tipo de SSP. Então, nesses dois conjuntos de dados, o parâmetro SSP apresentou uma relevância maior que as propriedades do fundo. Os resultados gráficos da simulação da modelagem com melhor ajuste, seguindo o mapa faciológico e SSP RD (figuras 8 e 9).

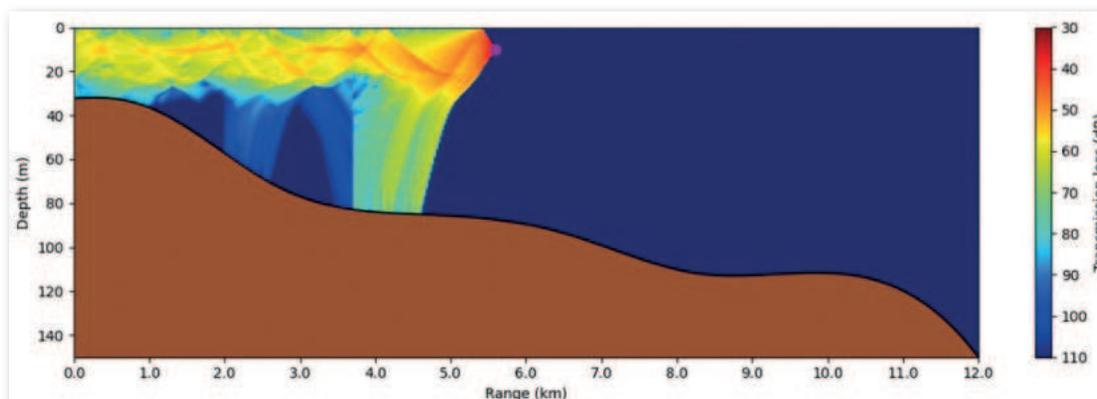


Figura 8 – Resultado gráfico da simulação para fundo seguindo o mapa faciológico e SSP RD, frequência 1kHz e 3 milhas de distância do arranjo de hidrofones. Fonte: elaboração própria

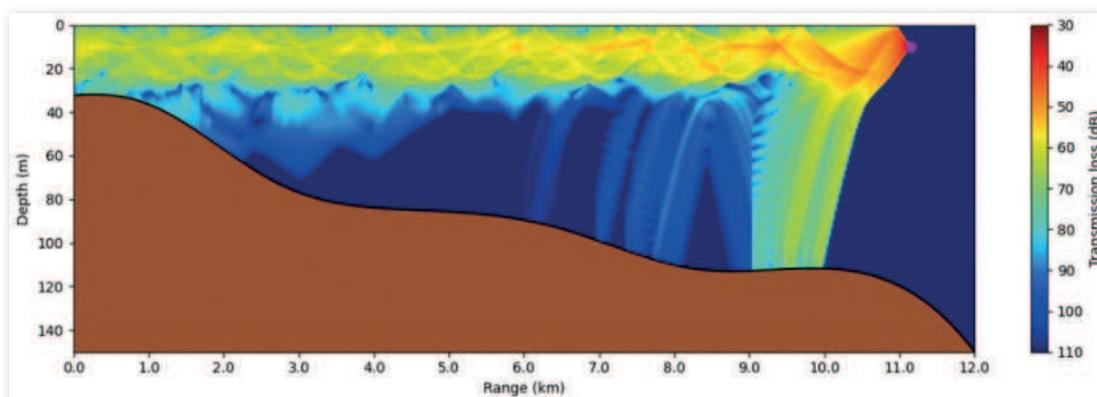


Figura 9 – Resultado gráfico da simulação para fundo seguindo o mapa faciológico e SSP RD, frequência 1kHz e 6 milhas de distância do arranjo de hidrofones. Fonte: Elaboração própria



Com os dados de TL obtidos nas simulações usando o TRACEO, foi possível elaborar os mapas de probabilidade de detecção sonar.

4.1 Probabilidade de detecção sonar

Para afirmar que o alvo está presente, é necessário que o som captado pelos hidrofones ultrapasse um limiar específico, conhecido como *Detection Threshold* (DT), um valor no qual o nível de sinal deve exceder o nível de ruído ambiental para que a detecção ocorra. Se um sinal for suficientemente atenuado, a ponto de seu nível de energia ser obscurecido pelo ruído ambiente, a informação contida nesse sinal dificilmente será recuperada (OLIVEIRA, 2001).

Para a elaboração do mapa de probabilidade de detecção sonar, utilizam-se os seguintes parâmetros:

$$SL - TL = NL - DI + DT$$

Onde:

- Intensidade Sonora da Fonte (SL - *Source Level*);
- Perda na Transmissão (TL - *Transmission Loss*);
- Ruído Ambiente (NL - *Noise Level*);
- Sensibilidade do Sonar (TS - *Target Strength*);
- Índice de Diretividade (DI - *Directivity Index*);
- Limiar de Detecção (DT - *Detection Threshold*).

Utilizando as estimativas de *Transmission Loss* (TL) obtidas pelo TRACEO e incorporando os valores de ruído ambiental obtidos durante o experimento acústico, com a figura de mérito descrita pela equação 10, podemos calcular o Excesso de Sinal (*Signal Excess* – SE) usando a equação 11. Em seguida, fazendo uso da equação 12, é possível determinar a probabilidade de detecção, conforme proposto por Ferla & Porter (1991).

$$FM = SL - NL + DI - DT \quad (10)$$

Sendo:

$$SE \left(FM, r, \frac{z_r}{z_s} \right) = FM - TL \left(r, \frac{z_r}{z_s} \right) \quad (11)$$

- z_s → profundidade da fonte
- z_r → profundidade do receptor
- r → distância entre fonte e receptor

$$P_D(SE) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{SE} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right] dx \quad (12)$$

O termo SE refere-se à intensidade pela qual o sinal se destaca acima do ruído ambiental. Um SE de 0 dB implica uma probabilidade de detecção de 50%. O parâmetro σ representa o desvio padrão de SE e foi estabelecido em 8 dB para os cálculos realizados, com base em valores derivados de experiências práticas de detecção, como detalhado por Urick (1983). Essa fixação do desvio padrão (σ) em 8 dB reflete a variabilidade observada em situações reais de detecção sonar.

Consideramos que a probabilidade de detecção (PD) segue uma distribuição log-normal. São incorporados ao cálculo do Excesso de Sinal termos como: TL e figura de mérito (FM), proporcionando uma análise mais abrangente do desempenho do sistema sonar passivo.

Sendo FM um valor constante e TL seguindo os valores previstos pelo modelo TRACEO, assumimos um sistema sonar fictício com uma FM de 80 dB, da mesma forma que foi empregado nas investigações de Ferla & Porter (1991). Então pode-se, finalmente, gerar os mapas de probabilidade de detecção sonar para as emissões de 1 kHz, a partir dos resultados de TL das simulações usando mapa faciológico do fundo e SSP RD, figura 10 e 11.

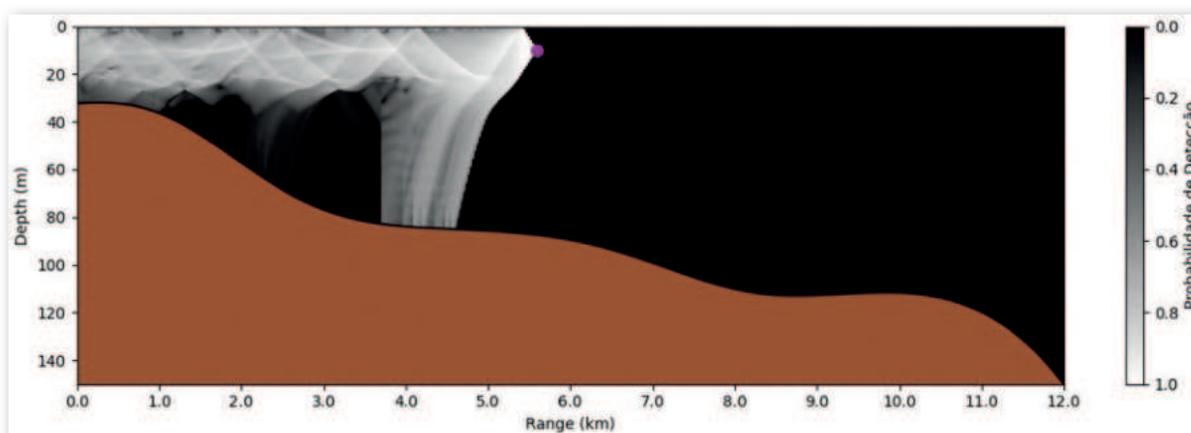


Figura 10 – Os resultados obtidos são mapas de probabilidade de detecção sonar com o mapa faciográfico e SSP RD, frequência 1 kHz e 3 milhas de distância do arranjo de hidrofones. Fonte: Elaboração própria

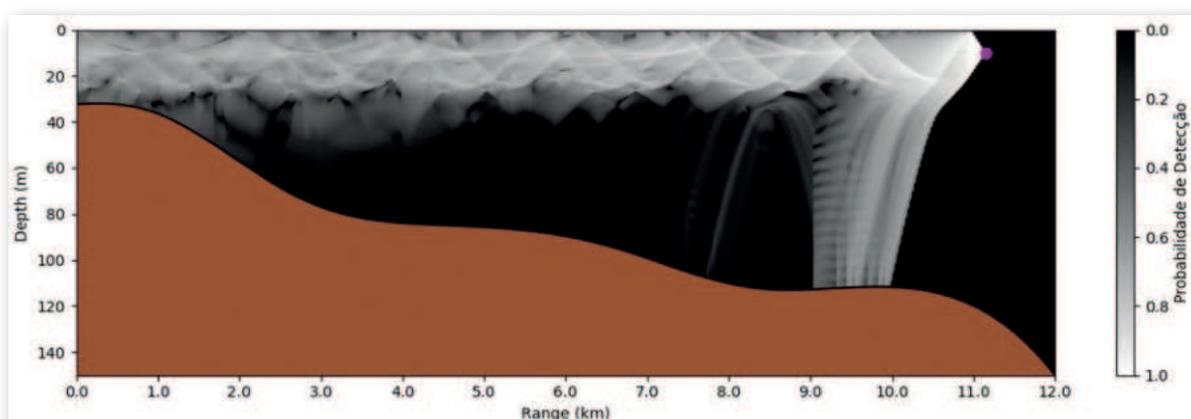


Figura 11 – Mapa de probabilidade de detecção sonar com o mapa faciográfico e SSP RD, frequência 1 kHz e 6 milhas de distância do arranjo de hidrofones. Fonte: Elaboração própria

5. CONCLUSÃO

Como escopo principal, avaliou-se de que forma as variáveis meteorológicas e oceanográficas introduziram complexidades adicionais na comparação entre dados coletados *in situ* e resultados obtidos por meio de modelos de propagação acústica.

Ao longo do desenvolvimento do estudo, objetivos adicionais foram alcançados:

- Simulação da propagação do som considerando o cenário realístico da ressurgência, com foco na análise da TL e na probabilidade de detecção acústica.

- Comparação dos dados gerados pelo experimento acústico com o modelo baseado em dados hidrográficos *in situ*, sendo possível fazer uma avaliação quantitativa da modelagem acústica.

- Por intermédio do experimento acústico, foi possível quantificar a perda do sinal acústico causada pela presença da frente térmica associada à ressurgência costeira.

Foram gerados mapas representando o alcance do sinal acústico irradiado nas proximidades da região de Cabo Frio, com ênfase na identificação da presença



da ressurgência costeira. Ao direcionarmos nosso foco para os interesses militares na guerra acústica submarina, torna-se imperativo aprofundar o entendimento sobre a ressurgência, uma condição

oceanográfica na região de Cabo Frio, que se estende ao longo da costa do estado do Rio de Janeiro, especialmente nas proximidades da entrada da Baía de Guanabara, sede estratégica da esquadra brasileira.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

OLIVEIRA, T. C. A., LIN, Y. -T., & PORTER, M. B. "Underwater Sound Propagation Modeling in a Complex Shallow Water Environment." *Frontiers in Marine Science*, vol. 8, 2021, p. 751327.

JENSEN, F. B., KUPERMAN, W. A., PORTER, M. B., AND SCHMIDT, H. *Computational Ocean Acoustics*. 2nd ed., ABC, 2011.

VALENTE, M. H. M. X., Propagação Acústica Modal no Talude Continental das Regiões Sul e Sudeste Brasileiras. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Oceânica, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

ROBINSON, A. R., ABBOT, P., LERMUSIAUX, P., & DILLMAN, L. "Transfer of Uncertainties Through Physical-Acoustical-Sonar End-to-End Systems: A Conceptual Basis." *Acoustic Variability*, Kluwer Academic Press, n.g. Pace and F.B. Jensen edition, 2002, pp. 603–610.

LAM, F., HALEY, P., JANMAAT, J., LERMUSIAUX, P., LESLIE, W., SCHOUTEN, M. W., RAA, L., & RIXEN, M. "At-sea real-time coupled four-dimensional oceanographic and acoustic forecasts during Battlespace Preparation 2007." *Journal of Marine System*, 2009, pp. 306–320.

ABBOT, P., & DYER, I. "Sonar Performance Predictions Based on Environmental Variability." *Acoustic Variability*, Kluwer Academic Press, 2002, pp. 611-618.

COLIN, M., DUDA, T., TE RAA, L., VAN ZON, T., HALEY, P., JR., LERMUSIAUX, P., LESLIE, W., MIRABITO, C., LAM, F., NEWHALL, A., LIN, Y.-T. & LYNCH, J. Time-evolving acoustic propagation modeling in a complex ocean environment. *Journal of Oceanic Engineering.*, 2013, 33:LI2602.

RIXEN, M., LERMUSIAUX, P. & OSLER, J., Quantifying, predicting and exploiting uncertainties in marine environments. *Journal of Oceanic Engineering*, 2012, 33.

TOLSTOY, I., & CLAY, C. S. "Ocean Acoustics: An Evaluation." *Reviews of Geophysics*, vol. 4, no. 1, 1966, pp. 1-23.

ETTER, P. C. *Underwater Acoustic Modeling and Simulation*, 4th ed, 2013.

KUPERMAN, W. A., & LYNCH, J. F. "Shallow-water Acoustics." *Phys. Today*, vol. 57, no. 10, 2004, pp. 55–61.



KATSNELSON, B. G., & PETNIKOV, V. G. Propagação Acústica em Águas Rasas, Academia de Ciência da Rússia, Instituto de Física Geral, 1997.

ARTUSI, L. "Geologia, Geomorfologia e Sismoestratigrafia Rasa da Plataforma Continental ao Largo da Laguna de Araruama – RJ." Universidade Federal Fluminense, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Laboratório de Geologia Marinha (Lagemar), outubro de 2004.

FIGUEIREDO JR., A. G., & TESSLER, M. "Topografia e Composição do Substrato Marinho da Região Sudeste-Sul do Brasil - Série Documentos Revizee: Score Sul." Série Documentos Revizee, 2004.

RODRÍGUEZ, O. C. Fundamentals of Underwater Acoustics, Springer, 2023.

KELLER, J. B. "Rays, Waves and Asymptotics." Bulletin of the American Mathematical Society, vol. 84, no. 5, 1978, pp. 727–750.

OLIVEIRA, T. C. A., Lin, Y. -T., & Porter, M. B. "Underwater Sound Propagation Modeling in a Complex Shallow Water Environment." Frontiers in Marine Science, vol. 8, 2021, p. 751327.

FERLA, C., & PORTER, M. "Receiver Depth Selection for Passive Sonar Systems." IEEE Journal of Oceanic Engineering, vol. 16, no. 3, 1991, pp. 267–279.

URICK, R. J. Principles of Underwater Sound, 3rd ed., McGraw-Hill, 1983.





UM MERGULHO NO PASSADO: DADOS DE COLUNA DE ÁGUA REVELAM O CT PARAÍBA

Capitão de Corveta Leonardo Gomes de Araujo¹

RESUMO

Com o objetivo de promover a atualização dos documentos náuticos no entorno do casco soçobrado do ex-CT Paraíba, dados multifeixe, com informação de coluna de água, coletados por oportunidade, foram analisados e processados no *CARIS HIPS and SIPS*, explorando as ferramentas disponibilizadas pelo software para este tipo de informação adicional. Os resultados do presente estudo, além de possibilitar observações do navio com riqueza de detalhes, mostram um considerável ganho de qualidade no produto batimétrico final, ao permitir que falhas no processo de detecção, geradas pelo sistema de aquisição de dados, sejam sanadas, no processamento, pelo hidrógrafo com uso das linhas já existentes, evitando impactos nos custos da comissão e promovendo incremento na Segurança da Navegação.

Palavras-chave: Multifeixe. Coluna de Água. Processamento de dados. CT Paraíba.

¹Oficial do Corpo da Armada, Hidrógrafo, Mestre em Ciências da Terra – Mapeamento Oceânico (Earth Sciences - Ocean mapping) pela University of New Hampshire – UNH, servindo presentemente no Centro de Hidrografia da Marinha – CHM. Email: gomes.araujo@marinha.mil.br



ABSTRACT.

With the goal of promoting the update of nautical documents around the wrecked hull of the former CT Paraíba, multibeam data, with water column information, collected opportunistically, were analyzed and processed in CARIS HIPS and SIPS, exploring the tools provided by the software for this type of additional information. The results of the current study, besides allowing observations of the ship with a wealth of details, show a considerable quality improvement in the final bathymetric product, by enabling errors in the detection process, generated by the data acquisition system, to be corrected by the hydrographer, in processing, using the existing lines, avoiding impacts on the costs of the commission and promoting an increase in Navigation Safety.

Keywords: Multibeam. Water Column. Data Processing. CT Paraíba.

1. INTRODUÇÃO

Para os navegantes, uma das informações mais valiosas encontradas em cartas náuticas é a profundidade. Inicialmente adquirida manualmente, por meio de instrumentos simples como o prumo de mão, essa prática foi substituída de forma gradual por medições eletrônicas (OHI, 2005). A exploração dos fenômenos acústicos e o avanço dos componentes eletrônicos possibilitaram o surgimento dos eco-batímetros, que se tornaram a principal fonte de dados batimétricos. Inicialmente equipados com um único feixe, ao longo do tempo, passaram por aprimoramentos, e versões comerciais com múltiplos feixes se tornaram disponíveis. Atualmente, esses sistemas multifeixe são reconhecidos pela qualidade e alta resolução, sendo

considerados os mais precisos para medições batimétricas (Clarke *et al.*, 1996).

Apesar da existência de algoritmos de detecção altamente precisos (SI, 2000), é sabido que problemas de detecção podem ocorrer na presença de alvos com características peculiares, como os mastros de navios naufragados (CLARKE, 2006). Tais problemas podem resultar na falha do registro das profundidades mínimas, valores esses considerados críticos para a segurança da navegação (ARAUJO, 2020).

Dando continuidade ao processo de aprimoramento mencionado, os eco-batímetros multifeixe, além de registrarem informações batimétricas do fundo marinho, passaram a disponibilizar os dados de intensidade acústica registrados ao longo de toda a trajetória do pulso sonoro na água, desde o transdutor até o fundo (Colbo *et al.*, 2014). Essas informações, conhecidas como “dados de coluna de água” (“*Water Column Data*”), permitem a inclusão de dados complementares ao projeto, exigindo alguns passos adicionais no processamento.

Visando explorar o assunto e ampliar seu emprego no âmbito do Complexo Naval da Ponta da Armação (CNPA), o tema “Os dados de coluna de água e sua aplicação em hidrografia”, proposto pelo presente autor, foi aceito como um dos Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC) dos alunos do Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais (CAHO), ministrado em 2023 no Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino (CIAARA). Nesta ocasião, duas linhas que continham dados de coluna de água, registradas onde se encontram os cascos soçobrados do ex-HMCS (*His Majesty's Canadian Ship*) Mackenzie (Marinha do Canadá e do ex-Contratorpedeiro (CT) Paraíba (Marinha do Brasil), foram entregues a um dos alunos, possibilitando-o avaliar os dados e desenvolver sua monografia.

No entanto, em que pese o trabalho no casco soçobrado do ex-CT Paraíba ter sido desenvolvido com as restrições de emprego de uma única linha de sondagem multifeixe e sem redução de marés, por peculiaridades do estudo desenvolvido, os resultados obtidos chamaram a atenção de modo significativo, devido às grandes variações de profundidades observadas, substituindo a profundidade mínima de 38 metros por 30,5 metros (BENENGUEYE, 2023), demandando geração de matéria para divulgação em “Aviso aos Navegantes” e alteração do valor presente na carta náutica número 1506, em vigor para a região do casco.

Para este artigo, um novo processamento foi necessário, com o objetivo de promover a atualização dos documentos náuticos dentro do rigor hidrográfico. Dessa vez, considerou-se as linhas de sondagem anteriormente omitidas. Todos os dados adquiridos sobre o casco soçobrado foram examinados, e as informações maregráficas

foram aplicadas na redução das sondagens. Tais inclusões garantem uma representação mais precisa e abrangente da área estudada. Este aprimoramento metodológico não apenas eleva a qualidade das cartas náuticas, como também reforça a importância de uma abordagem holística na análise hidrográfica.

2. O CONTRATORPEDEIRO PARAÍBA

Pertencente à Classe Pará, o Contratorpedeiro Paraíba (D-28), ilustrado na Figura 1, serviu inicialmente à Marinha dos Estados Unidos, sob o nome de *USS Davidson* (FF-1045), e foi incorporado à Marinha do Brasil em 1989 (JFS, 1990). Possuidor de 126,3 metros de comprimento, boca de 13,5 metros e 7,3 metros de calado (JFS, 1990), em 2002 foi submetido à Mostra de Desarmamento e, em 2005, foi vendido em leilão. Em seu reboque para desmonte, afundou ao largo das Ilhas das Maricás, no Estado do Rio de Janeiro (NGB, 2024).



Figura 1 – Contratorpedeiro Paraíba.

Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brazilian_destroyer_CT_PARAIBA.JPEG>



3. A DETECÇÃO MULTIFEIXE, SUAS FALHAS E A NECESSIDADE DE INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

A principal função de um ecobatímetro é determinar profundidades, convertendo o tempo de ida e de volta em distância, desde que se conheça a velocidade do som na coluna d'água e sejam empregados algoritmos de detecção (OHI, 2005). Um pulso acústico é transmitido, e os sinais que retornam ao transdutor são analisados para se obter, para cada feixe, gerado sob um ângulo conhecido, um instante de detecção, formando um par ângulo-tempo (LURTON, 2010).

O método de detecção mais consagrado atualmente consiste em analisar a série temporal de cada feixe e determinar quais os instantes em que ocorreram interações entre o pulso sonoro e o alvo, por meio de técnicas conhecidas como detecção por amplitude e detecção por fase, cujo detalhamento foge ao escopo deste trabalho.

A Figura 2 exemplifica o conceito de detecção por amplitude. Os dados registrados de uma varredura multifeixe são exibidos ao longo de toda a coluna de água, em local

de fundo plano e sem feições de destaque. Os sinais mais fortes estão indicados em cor vermelha e representam a região onde se encontra o leito marinho. Os sinais mais fracos estão indicados em cor azul e se mostram presentes desde a posição do transdutor (local da transmissão) até o instante em que o primeiro contato com o leito marinho é realizado, ao centro da varredura. Sinais de amplitude intermediária são exibidos em tonalidades entre verde e amarelo e estão associados à detecção do leito marinho por lóbulos secundários do transdutor. Considerando os dados do feixe cuja série temporal foi representada em branco, nota-se que o sinal registrado apresenta valores baixos ao longo de toda a coluna de água, sofre uma elevação quando um lóbulo secundário registra o encontro do feixe nadiral (ponto diretamente abaixo da posição de observação) com fundo, e exibe seus maiores valores em faixa que engloba o contato do feixe com o fundo, reduzindo em seguida. Os algoritmos avaliam esta faixa de maiores valores, a fim de definir qual o instante (tempo) representativo da detecção. Uma vez que o feixe possui ângulo de recepção conhecido, um par ângulo-tempo é formado, e a detecção é registrada.

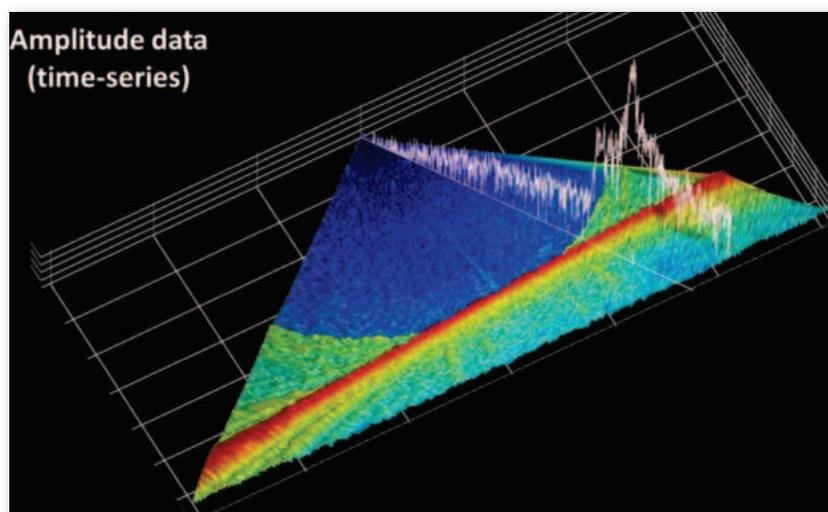


Figura 2 – Dados de uma varredura multifeixe. Em destaque, sob plano transversal, tem-se a série temporal de um feixe, com os valores de amplitude ao longo da coluna de água. Fonte: elaboração própria

Ressalta-se, no entanto, que a exibição dos feixes de um pulso, ou sua total reconstrução sob a forma de imagem de coluna d'água, tal como feito na Figura 2, não se trata de recurso disponível livremente para o operador. Em geral, apenas os resultados dos algoritmos de detecção são salvos nos dados brutos, não permitindo ao usuário qualquer tipo de avaliação sobre possíveis feições ignoradas. As Figuras 3 e 4 ilustram essa afirmação. Em ambas, o eixo das abscissas, representado em metros, indica a localização espacial das soluções batimétricas tomando o nadir como origem das posições. Soluções registradas por bombordo são exibidas na cor vermelha, e as registradas por boreste, em cor verde. O eixo das ordenadas indica a profundidade, em metros, tendo como origem a posição vertical do transdutor.

Na Figura 3, são apresentadas, em vermelho e verde, as soluções batimétricas de uma varredura. Com base nelas, pode-se afirmar que, ao se distanciar mais de vinte metros do centro, identifica-se uma topografia predominantemente plana ao longo de ambos os bordos. Contudo, na zona central, especificamente do lado esquerdo (bombordo) a partir de 10 metros e estendendo-se até aproximadamente 15 metros

à direita (boreste) do nadir, destaca-se uma feição, que se eleva e se diferencia do terreno adjacente, indicando a presença de um objeto significativo. Entretanto, é importante notar que, com base apenas na batimetria disponível, não é possível inferir a qualidade dessa detecção ou sua completude, existindo a possibilidade de que algo pode ter sido omitido ou ignorado no processo de detecção. De maneira a exemplificar este argumento, o círculo pontilhado amarelo inserido na figura marca uma área dentro da qual as conclusões permanecem incertas, devido à falta de informações.

A Figura 4, por sua vez, exibe a mesma varredura, porém, dessa vez, incluindo a imagem da coluna de água. De posse dessa imagem, é possível observar o contorno do objeto encontrado na região central e avaliar a qualidade das detecções. Embora o fundo praticamente plano tenha sido delineado corretamente, nota-se, no círculo amarelo posicionado tal como na figura anterior, que parte da feição não possui solução batimétrica gerada pelos algoritmos de detecção, indicando uma falha do sistema e um problema grave em termos de segurança da navegação, uma vez que o trecho ignorado possui menores profundidades e, portanto, representa maior risco ao navegante.

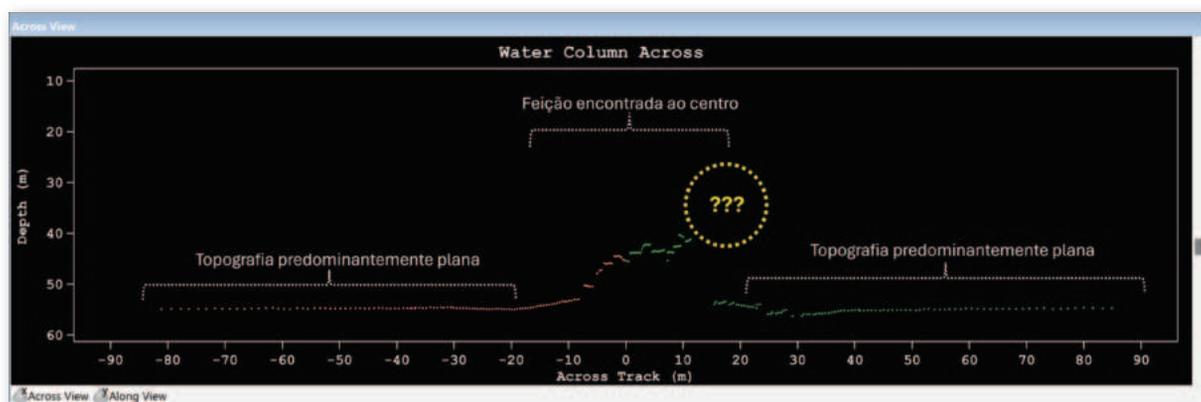


Figura 3 – Soluções batimétricas de uma varredura. Fonte: elaboração própria

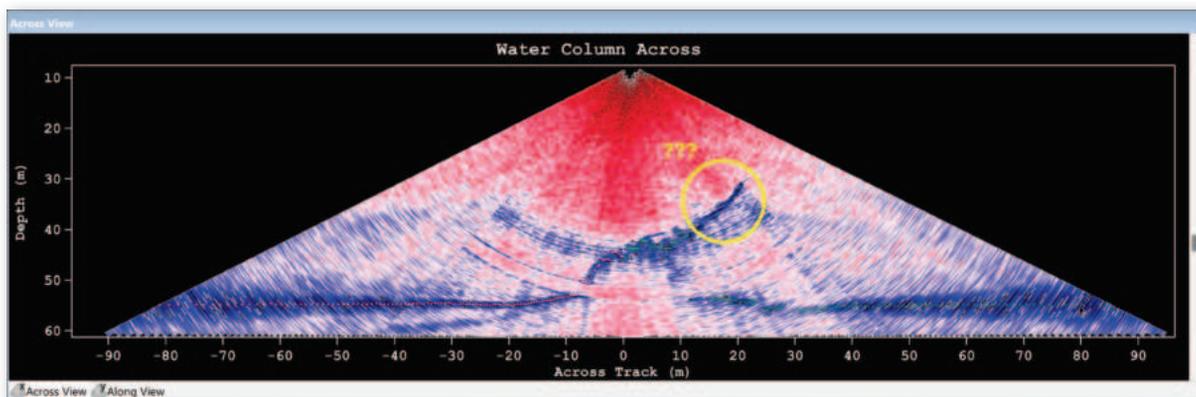


Figura 4 – Dados de coluna de água de uma varredura. Fonte: elaboração própria

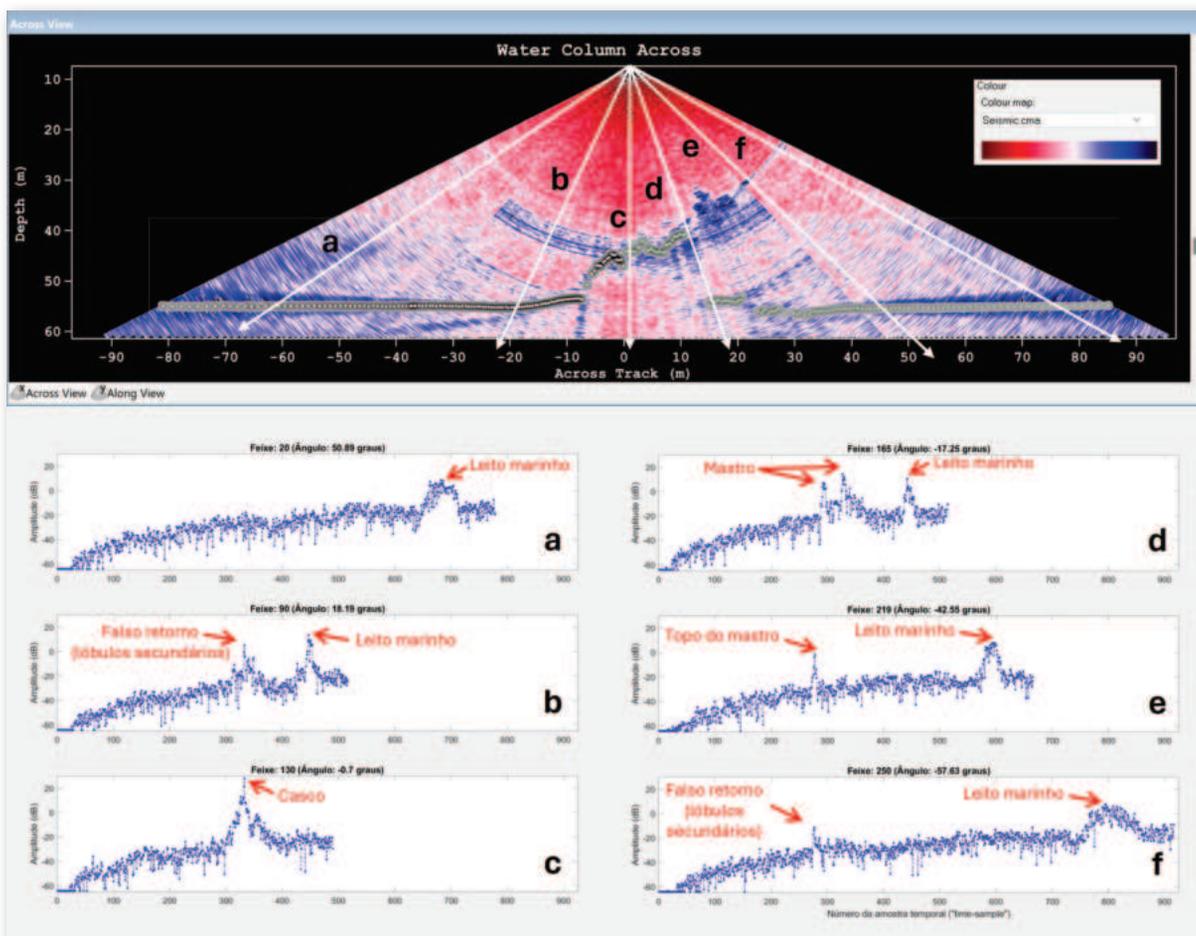


Figura 5 – Representação de série temporal de seis feixes. Fonte: elaboração própria



Para ilustrar como falhas na detecção podem ocorrer, a Figura 5 exibe um registro dos dados de coluna de água coletados por ecobatímetro multifeixe acima do mastro do ex-CT Paraíba. A varredura selecionada é exibida na parte superior da figura, com os eixos definidos conforme detalhado para a Figura 4. Seis feixes, de “a” até “f”, são destacados por setas brancas para análise detalhada. Na parte inferior, as séries temporais de amplitude são apresentadas sequencialmente, em que o eixo das ordenadas reflete a intensidade acústica do sinal recebido em decibéis (dB), já ajustado pelo sistema multifeixe para incluir um *offset* de +20 dB e ganho variável no tempo ($30 \log R$). O eixo das abscissas indica o número da amostra temporal (time-sample) associada ao registro de intensidade, considerando a emissão como origem, e seguindo uma numeração sequencial conforme a taxa de registro (sample frequency) definida no ecobatímetro.

Na análise dos feixes de “a” a “f”, comportamentos distintos refletem a interação do feixe com o ambiente. No caso “a”, o feixe transita sem interferências relevantes através da coluna de água, com retorno significativo apenas no fundo marinho, exemplificando um comportamento padrão previsto pelos algoritmos de detecção. No caso “b”, apesar de similaridades com o primeiro caso quanto à interação com o fundo marinho, identificam-se dois picos de amplitude nas amostras temporais 330 e 450. A análise indica que o primeiro pico, resultante da interação dos lóbulos secundários com o casco soçobrado, não deve contribuir para a solução batimétrica, diferentemente do segundo pico, que reflete a interação correta com o leito marinho. Esta escolha é validada pela coerência com as detecções adjacentes.

Nos casos “c” e “d”, destaca-se a necessidade de interpretar corretamente os picos de amplitude. Um único pico

no caso “c” valida a detecção do casco soçobrado, enquanto no caso “d”, três picos surgem, mas somente o último, associado ao fundo, é reconhecido pelo algoritmo, que ignora os dois contatos com o mastro devido à discrepância com as detecções feitas nos feixes adjacentes, demonstrando os primeiros indícios de falhas na detecção quando múltiplas interações ocorrem em um mesmo feixe.

O caso “e” demonstra um padrão semelhante, em que a batimetria do fundo é reconhecida em detrimento da interação anterior, neste caso com o topo do mastro. Consequentemente, apenas a interação com o fundo é mantida como válida.

Por fim, no caso “f”, uma breve elevação de amplitude indica a interação de lóbulos secundários com o mastro, mas é o pico maior, relacionado ao fundo, que predomina, sublinhando as limitações dos algoritmos em diferenciar entre tais interações em cenários complexos.

Trabalhos anteriores identificaram esses problemas na detecção de mastros (CLARKE, 2006) ou de feições antrópicas similares, cuja extensão lateral está confinada principalmente dentro de uma pequena faixa de ângulos de incidência, exigindo assim múltiplas detecções dentro de um mesmo feixe (PEREIRA, 2015; ARAUJO, 2020).

Tais problemas de falhas na detecção podem ser contornados com a inclusão de informações complementares. Uma das maneiras consiste no incremento da densidade batimétrica do fundo, ao se executar várias outras linhas de sondagem multifeixe na região, alterando a geometria da ensonificação por meio de linhas espaçadas e paralelas, permitindo que um mesmo trecho receba informações de diferentes feixes (nadirais, meia varredura e feixes externos), aumentando a chance do mastro ser delineado por soluções batimétricas. Como ônus, este procedimento



eleva o tempo dispendido na região, implicando maior consumo de combustível, duração do levantamento hidrográfico e gastos da comissão.

Por outro lado, outra maneira de contornar as falhas de detecção consiste no emprego dos dados de coluna de água, tal como explorado no presente artigo. Caso estejam disponíveis, esses dados podem ser processados, e um conjunto de batimetria adicional pode ser incorporado ao projeto, garantindo que as profundidades críticas das feições encontradas sejam corretamente representadas, sem a necessidade de executar novas linhas na mesma região, reduzindo os custos do levantamento hidrográfico. No entanto, sua disponibilidade

está associada a um custo inicial, pois depende de licença de software válida para que os dados sejam salvos, tratando-se de recurso a ser adquirido de modo complementar aos ecobatímetros multifeixe. Além disso, observa-se um significativo aumento no volume dos dados brutos, exigindo computadores com maior capacidade de armazenamento e processamento.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Dados

As características dos dados de coluna de água utilizados no presente estudo estão compiladas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características dos dados processados

Embarcação	Navio de Pesquisa Hidroceanográfico (NPqHo) "Vital de Oliveira"
Levantamento Hidrográfico	Dados coletados por oportunidade, durante comissão de "Health Check" dos ecobatímetros
Área	Região onde se encontra o casco soçobrado do ex-Contratorpedeiro Paraíba, nas proximidades da posição 23°05'44"S e 042°59'44"W, no Rio de Janeiro, Brasil
Carta Náutica da região	CN 1506 – Brasil – Costa Sul – Proximidades da Baía de Guanabara
Data de coleta dos dados	12 de setembro de 2022
Tipo de dados	Batimetria multifeixe com registro de informações de coluna de água
Ecobatímetro	EM 710 (Multifeixe)
Formato dos dados	Dados brutos, em extensão .ALL e .WCD
Quantidade de linhas	13 linhas de sondagem
Tamanho dos dados batimétricos (.ALL)	536 MB
Tamanho dos dados de coluna de água (.WCD)	2.77 GB
Sistema de aquisição	SIS 4.3.2, da Kongsberg
Posicionador	Kongsberg Seatex SeaPath 300 com MRU-5

Correções diferenciais	DGNSS 3610 Fugro
Perfilador de velocidade do som	CTD Seabird 9 plus
Medidor de velocidade do som no transdutor	AML Micro X
Marés	Os dados para redução de marés foram fornecidos pela Seção de Oceanografia Costeira e Águas Interiores (CH-113), utilizando-se o nível médio diário da Ilha Fiscal e realizando seu transporte para a estação da Ilha Rasa
Programa usado no processamento de dados	<i>CARIS HIPS and SIPS</i> , versão 11.4

O levantamento está concentrado exclusivamente no casco soçobrado (Figura 6), não havendo necessidade de comparações com outras profundidades ou isobatimétricas na região, exceto pela profundidade mínima, alterada com o presente estudo.

do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). O processamento clássico dos dados batimétricos precede o processamento dos dados de coluna de água. Neste contexto, empregando-se o *CARIS HIPS and SIPS* 11.4, foi criado um arquivo de embarcação, todas

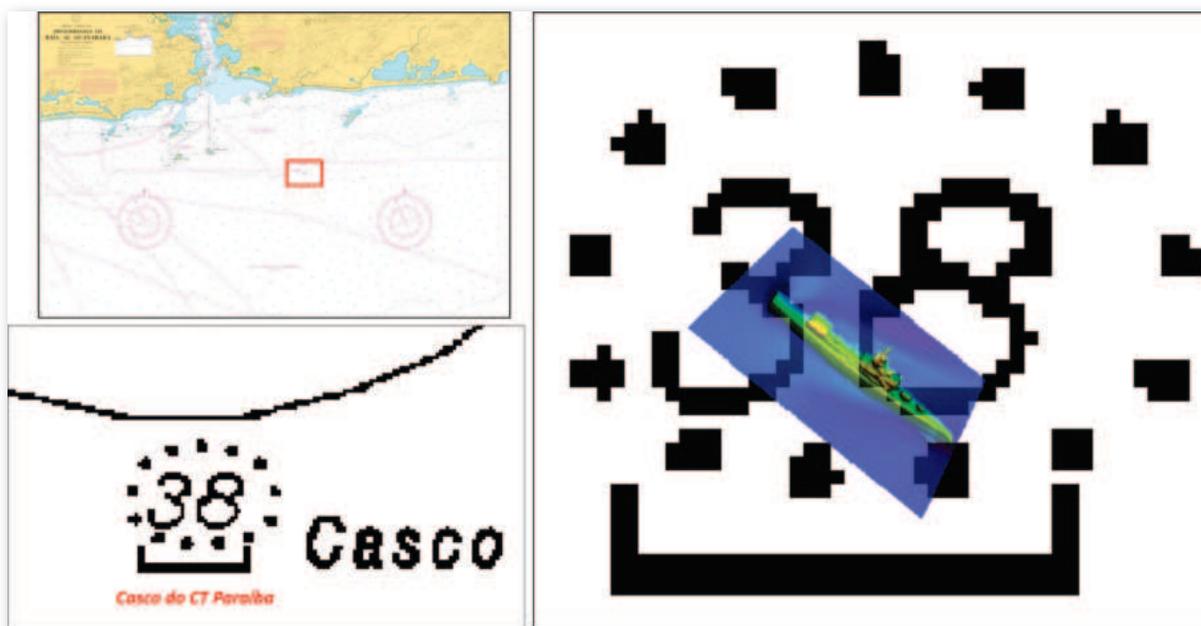


Figura 6 – Visão geral da Carta Náutica 1506 (imagem superior esquerda), com ênfase na representação do casco soçobrado do ex-CT Paraíba (imagem inferior esquerda), e a área do levantamento hidrográfico (imagem da direita). Fonte: elaboração própria

4.2 Processamento dos Dados de Coluna De Água

Todo processamento dos dados, desde os arquivos brutos até os produtos finais, foi conduzido na Seção de Análise (CH-312)

as 13 linhas de sondagens, com seus respectivos arquivos de dados de coluna de água, foram importadas, foi criada uma superfície batimétrica referenciada geograficamente, com resolução de 25 cm, e o datum vertical foi ajustado pelo arquivo de marés inserido.



Foram observados, em cada linha, os dados de atitude, de navegação e de varredura. Considerou-se desnecessária a aplicação de correções à velocidade do som, uma vez que os valores inseridos durante a aquisição estavam adequados, sem indícios de desvios por refração erroneamente modelada. Em seguida, conjuntos de linhas, avaliadas por área, foram observadas, em trechos pequenos, com foco na coerência das informações provenientes por diferentes linhas e feixes. A nuvem de pontos de cada seleção feita foi exibida em 2D e em 3D, ampliando a visão situacional do operador perante os dados. Ao longo desse processo, eventuais dados espúrios encontrados foram removidos. Em razão da área envolvida e pequena quantidade de linhas, nenhum filtro foi aplicado, tendo todo o processo ocorrido de maneira manual.

Uma vez considerado finalizado o processamento dos dados batimétricos, seguiu-se a análise dos dados de coluna de água. Especificamente no caso do *CARIS HIPS and SIPS*, quando uma linha contém esses dados, o editor de varredura e o de área passam a exibir novas ferramentas que viabilizam sua manipulação. Dentre as opções disponíveis, é possível exibir a imagem da coluna de água em conjunto com as soluções batimétricas geradas pelo algoritmo de detecção, tal como indicado na

Figura 7. Nesta figura, nota-se que não ocorreu detecção na parte superior do mastro. Essa região pode ser inserida como batimetria adicional por meio do processamento da coluna de água.

O fluxo geral de processamento consta em BENENGUEYE (2023), e consiste em:

a) Delimitar a área de estudo – Tem como objetivo diminuir o número de pontos apresentados, o que resulta em menos dados a serem processados, contribuindo para otimizar o desempenho do software de processamento.

b) Efetuar uma análise inicial com o Editor de Varredura (*“Swath Editor”*) – Os dados de amplitude salvos em arquivos de coluna de água, em geral, são exibidos em uma escala que varia de -64db até +64dB, englobando todos os dados. A fim de limitar a exibição dos dados apenas às estruturas de interesse, um filtro de amplitude se faz necessário. Para tal, o editor de

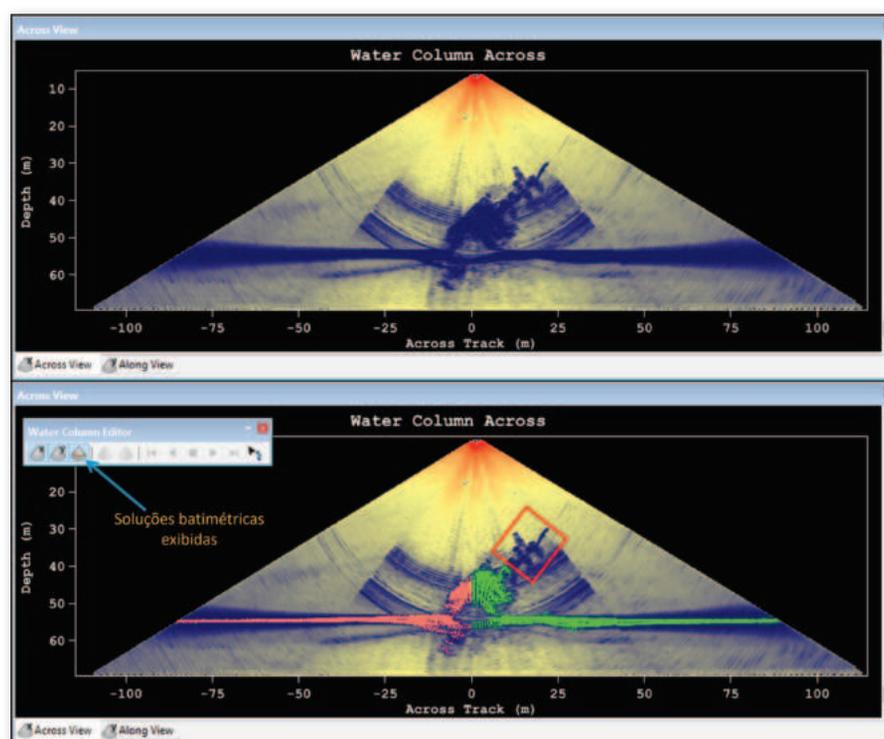


Figura 7 – Superior: Imagem unicamente da coluna de água. Inferior: Exibição em conjunto com as soluções batimétricas. O retângulo encarnado ressalta que o mastro não foi detectado corretamente. Fonte: elaboração própria.

varredura permite avaliar cada linha isoladamente, possibilitando atuar nos valores mínimos e máximos do filtro, de modo a exibir a feição de interesse e ocultar os dados de menor relevância.

Além disso, é possível visualizar, empregando-se diferentes mapas de cores, a imagem da coluna de água de uma única varredura isoladamente ou de um conjunto de varreduras adjacentes empilhadas, bem

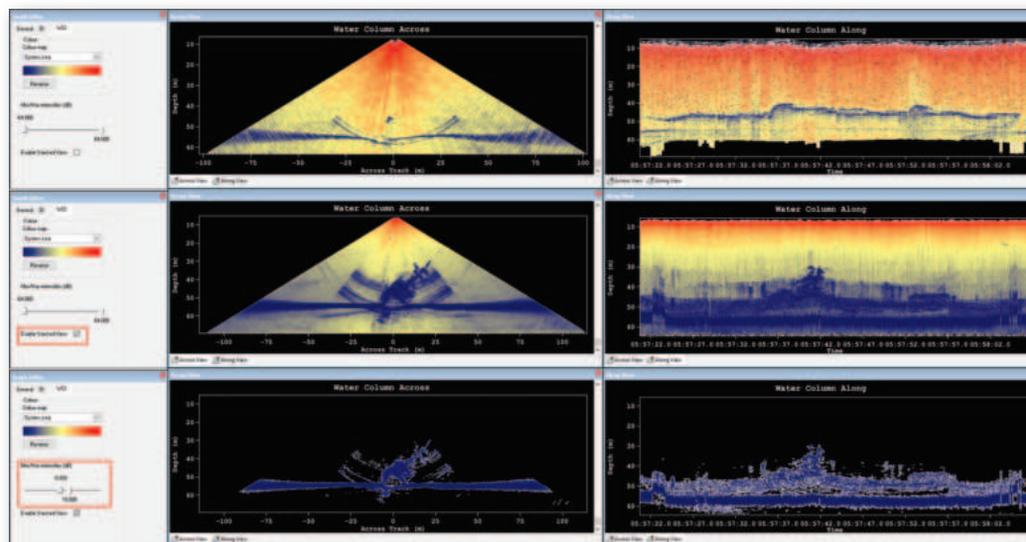


Figura 8 – Diferentes tipos de exibição da imagem de coluna de água. Esquerda: Configuração aplicada ao editor. Meio: Exibição transversal dos dados. Direita: Exibição longitudinal dos dados. Superior: Dados de uma única varredura, sem filtros. Central: Dados de múltiplas varreduras adjacentes empilhadas (“stacked view”). Inferior: Dados com filtro de amplitude aplicado (valor mínimo de -5dB e máximo de 10dB). Fonte: elaboração própria

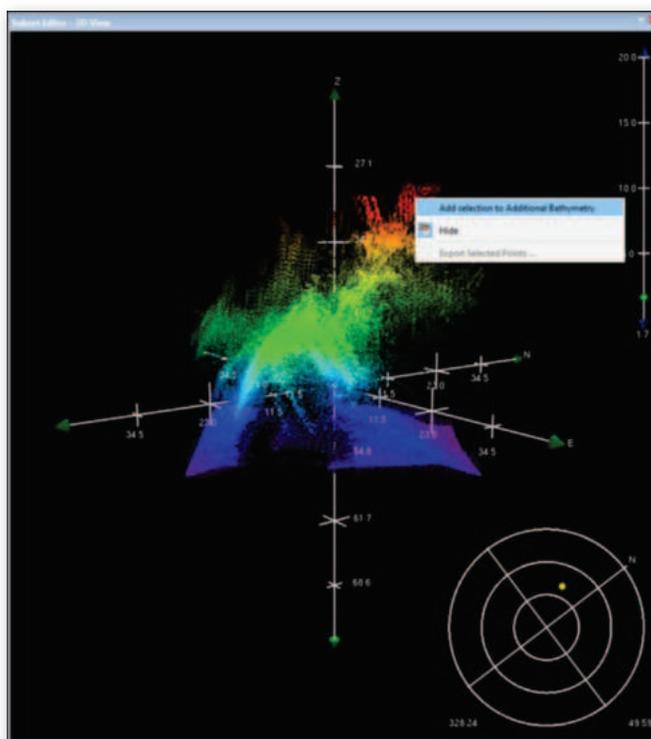


Figura 9 – “Subset editor” em 3D e a inclusão de batimetria adicional. Ao selecionar uma região de interesse, o operador aciona o comando de adicionar dados (Add selection to Additional Bathymetry). Fonte: elaboração própria



como observá-la no sentido transversal (“*across-track*”) ou longitudinal (“*along-track*”) à linha de sondagem, como indicado pela Figura 8.

Uma vez ajustada a visualização e constatada a necessidade de incluir batimetria adicional proveniente dos dados de coluna de água, deve-se atuar nos filtros de amplitude, de modo a manter a exibição da feição de interesse e ocultar o restante. Recomenda-se que o filtro seja testado em diferentes linhas, de modo a encontrar valores que melhor se aplicam a todo o projeto.

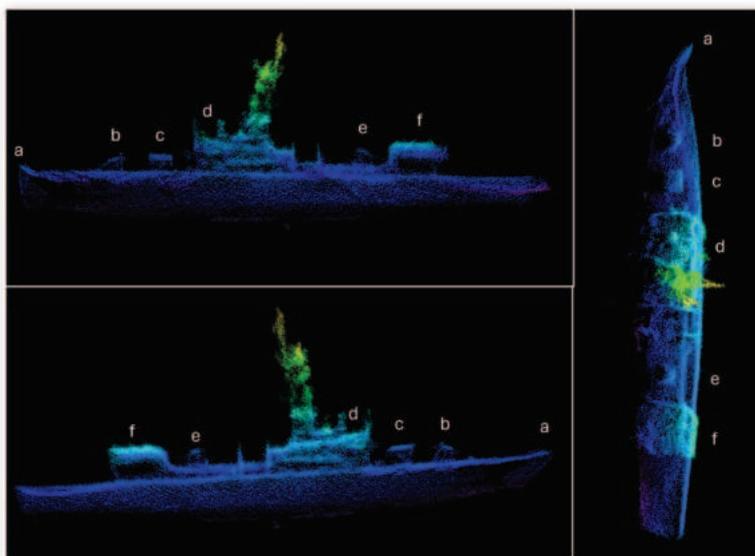


Figura 10 – Vistas de bombordo (imagem superior esquerda), de boreste (imagem inferior esquerda) e de topo (imagem da direita) do ex-CT Paraíba. Fonte: o autor

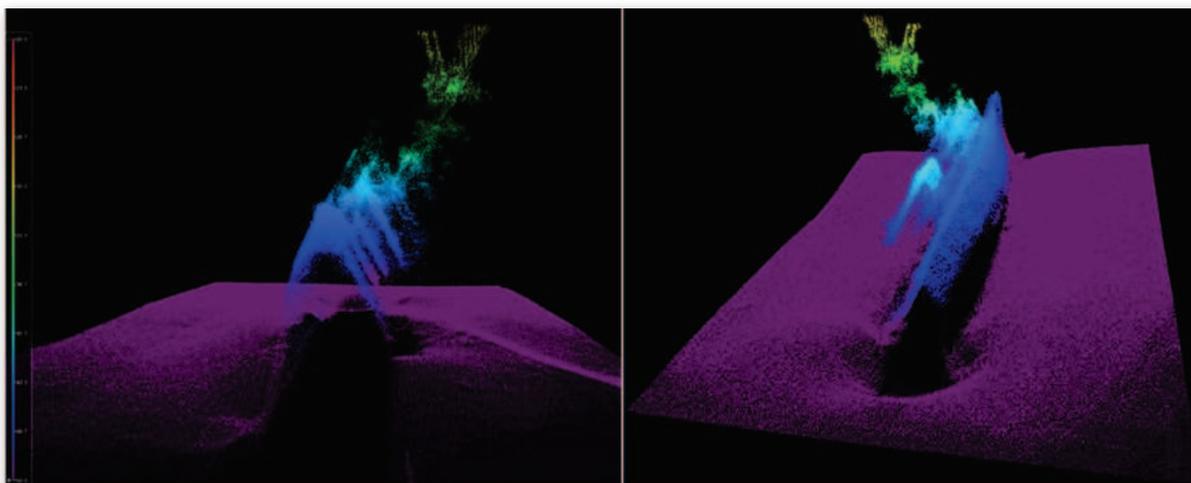


Figura 11 – Vista de vante (esquerda) e de ré (direita) do ex-CT Paraíba. Fonte: o autor

c) Incluir batimetria adicional com o Editor de Área (“*Subset Editor*”) – De posse dos valores mínimo e máximo de filtro de amplitude a serem aplicados no projeto, e com visualização da superfície batimétrica, para escolher a região geográfica a ser explorada, deve-se empregar o Editor de Área. Diferentemente do anterior, este editor não observa cada linha individualmente, pois permite que as análises sejam feitas em áreas, englobando múltiplas linhas de sondagens, com contribuições de vários feixes em diferentes

geometrias de ensonificação, e, consequentemente, fornecendo uma nuvem de pontos mais robusta para processamento.

Uma vez carregada a nuvem de pontos filtrada, ajustada sua visualização em 2D e em 3D, novas modificações podem ser feitas no filtro de amplitude. Também é possível restringir a análise a uma faixa de profundidades. Após isso, as regiões de interesse devem ser selecionadas, e o recurso de incluir batimetria adicional deve ser empregado, como exemplificado na Figura 9.

5. RESULTADOS

5.1. A nuvem de pontos, a estrutura do navio e sua inclinação.

Uma vez concluídos os passos citados no tópico anterior, com a inclusão de batimetria adicional nos locais onde ocorreu falha do algoritmo de detecção, o produto final se tornou uma nuvem de pontos processada e completa. As Figuras 10 e 11 representam, com riqueza de detalhes, o resultado obtido.

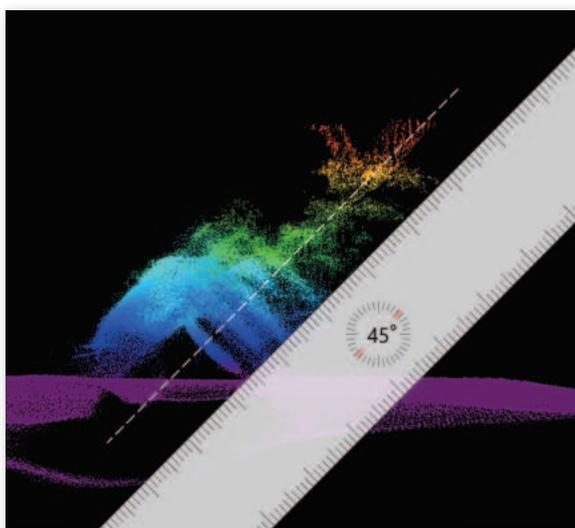


Figura 12 – Estimativa de inclinação em 45 graus. Fonte: o autor

É importante ressaltar que, em última análise, todos os pontos observados nas imagens foram gerados por tratamento eletrônico do sinal acústico recebido no transdutor. Assim, pode-se afirmar metaforicamente que se está “enxergando com os ouvidos”.

Baseando-se na Figura 10, ao se observar a silhueta do navio obtida com o processamento de dados multifeixe com suas fotos históricas, nota-se que a embarcação se encontra inteira, com sua estrutura, em geral, preservada no leito marinho. Como exceção, nota-se um desvio na extremidade

frontal (a), indicando que a proa está danificada e inclinada para boreste, sugerindo que foi nesta região que ocorreu a colisão com o solo oceânico no momento de seu naufrágio. Seguindo da proa em direção à popa, é possível identificar cinco estruturas que podem ser associadas ao canhão de proa (b), lançador de mísseis (c), passadiço (d), canhão de popa (e) e hangar do helicóptero (f), respectivamente, corroborando com a afirmação de estrutura bem preservada.

Com base na Figura 11, nota-se que o casco soçobrado se encontra depositado no leito marinho com certa inclinação por seu bombordo. Visando estimar o valor angular desta inclinação, a nuvem de pontos foi rotacionada de modo a exibir a embarcação por vista frontal, garantindo o leito marinho na posição horizontal. Em seguida, foi posicionada, paralela ao plano diametral da embarcação, uma ferramenta com função de transferidor. A Figura 12 exibe o resultado desta medição. Com base nela, estima-se que a embarcação esteja inclinada sob um ângulo de aproximadamente 45 graus para bombordo com o leito marinho.

5.2. Mastro e sua profundidade crítica

Como pôde ser visto na Figura 7, o Mastro principal do casco soçobrado havia sido detectado apenas parcialmente. A inclusão de batimetria adicional, proveniente do processamento de coluna de água, possibilitou sua observação completa. Como consequência, a profundidade crítica na região foi alterada. Com o emprego de todas as linhas disponíveis, e com a redução de marés adequada, a menor profundidade na região passou a ser 28,355 m, em 23° 05.72' S 042° 59.71' W.

A seleção de sondagens na região é exibida na Figura 13. Uma vez que as profundidades maiores que 21 metros e menores que 31 metros devem ser

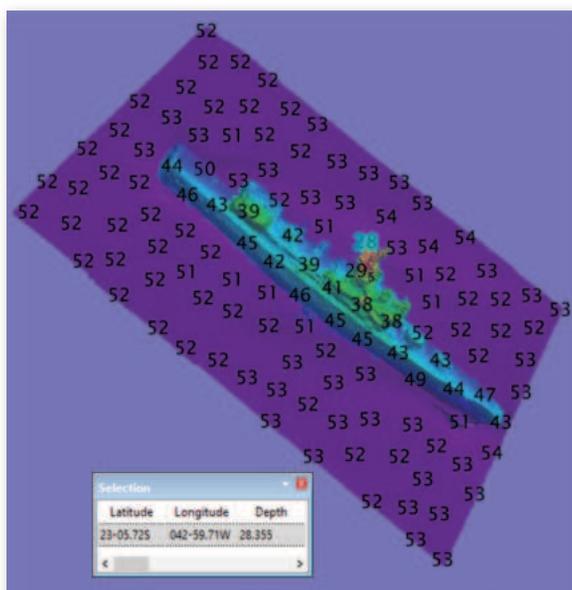


Figura 13 – Estimativa de inclinação em 45 graus.
Fonte: o autor

representadas arredondadas para baixo em passos de 50 cm (OHI, 2021), o valor de 28,355 m foi representado na carta como sendo 28 m, razão pela qual tal número é exibido em destaque nesta figura. Nesta mesma seleção de sondagens, observa-se que o casco soçobrado se encontra em uma profundidade média de 52 metros.

Em consequência da alteração na profundidade crítica, o aviso anterior foi cancelado e um novo Aviso-Rádio Náutico foi emitido, divulgando o novo valor para os navegantes.

6. CONCLUSÕES

Embora os ecobatímetros multifeixe sejam considerados uma das melhores ferramentas para a medição de profundidades, algumas falhas de detecção podem ocorrer. Este problema pode ser mitigado com a inclusão de mais informações, como um incremento no número de linhas na região do levantamento hidrográfico. Como revés, esta inclusão impacta em maiores custos envolvidos. Por outro lado, o registro simultâneo

dos dados de coluna de água pode ser empregado como valiosa ferramenta, capaz de sanar eventuais problemas de detecção.

O emprego desses dados representa um avanço significativo para a análise hidrográfica e sua respectiva representação cartográfica. Apesar de enfrentar desafios, como o aumento do volume de dados para armazenamento e processamento, bem como o incremento nos custos iniciais associados à aquisição da licença de software necessária para registrar esses dados, os óbices se mostram pequenos em comparação ao significativo ganho de informação para a Segurança da Navegação.

Utilizando linhas de sondagem coletadas por oportunidade sobre o casco soçobrado do ex-CT Paraíba, e seguindo procedimento complementar de processamento de dados, a inclusão de batimetria adicional permitiu a geração de uma nuvem de pontos rica em detalhes, possibilitando diversas análises sobre o navio. A arte de “ver com o som” possibilitou notar que o CT Paraíba está inteiro, com sua estrutura, em geral, preservada, em localidade com profundidade média de 52 metros. É possível estimar que a embarcação esteja inclinada no fundo sob um ângulo de aproximadamente 45 graus para bombordo. Uma avaria em sua proa sugere que o impacto com o leito marinho ocorreu nesta região durante seu afundamento. Estruturas como canhões, lançador de mísseis e hangar do helicóptero podem ser identificados, e a menor profundidade encontrada no levantamento hidrográfico foi de 28.355 metros, fato este que promoveu alterações na carta náutica 1506.

Por fim, este “mergulho no passado” permitiu que fossem revelados alguns segredos desta nau que serviu à Marinha do Brasil, com produtos que empolgam os amantes de hidrografia e que trazem lembranças àqueles marinheiros que passaram com orgulho por esses conveses.



7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, L. G. Potential for non-conventional use of split-beam phase data in bottom detection. 2020. Dissertação (Mestrado em Earth Sciences: Ocean mapping) – University of New Hampshire, New Hampshire, Estados Unidos.

BENENGUEYE, A. M. Os dados de coluna de água e a sua aplicação em hidrografia. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação “latu sensu”) – MB/CIAARA, Rio de Janeiro.

CLARKE, J. E H. Applications of Multibeam Water Column Imaging for Hydrographic Survey. The Hydrographic Journal, v. 120, p. 3-15, abr. 2006.

CLARKE, J. E. H.; MAYER, L. A.; WELLS, D. E. Shallow-water imaging multibeam sonars: A new tool for investigating seafloor processes in the coastal zone and on the continental shelf. Marine Geophysical Researches, v. 18, p. 607-629, 1996.

COLBO, K.; ROSS, T.; BROWN, C.; WEBER, T. A review of oceanographic applications of water column data from multibeam echosounders. Estuarine, Coastal and Shelf Science, v. 145, p. 41-56, 2014.

JANE'S FIGHTING SHIPS 1990-91 (JFS). 93. ed. Editado por Richard Sharpe RN. Reino Unido: Jane's Information Group, 1990.

LURTON, X. An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications. 2. ed. London: Springer, 2010.

NAVIOS DE GUERRA BRASILEIROS (NGB). CT Paraíba: D 28. Disponível em: <https://www.naval.com.br/ngb/P/P028/P028.htm>. Acesso em: 19 fev. 2024.

ORGANIZAÇÃO HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL (OHI). Regulations of the IHO for international (INT) charts and chart specifications of the IHO (S-4). Edição 4.9.0. 2021.

ORGANIZAÇÃO HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL (OHI). Manual on Hydrography (Publication C-13). 1. ed. 2005.

PEREIRA, D. L. S. Improving Shallow-Water Multibeam Target Detection at Low Grazing Angles. 2015. Dissertação (Mestrado em Geodesy and Geomatics Engineering) – University of New Brunswick, Fredericton, Canadá.

SEABEAM INSTRUMENTS (SI). Multibeam sonar theory of operation (Manual). 2000. East Walpole, Estados Unidos.



USO DO MÉTODO DAS IMAGENS MODIFICADO PARA LOCALIZAÇÃO DA FONTE POR MÉTODOS PASSIVOS EM ÁGUAS ULTRARRASAS USANDO UM ÚNICO HIDROFONE

*Capitão de Corveta Wendel Quintana
Freitas de Lima¹; e
Capitão de Fragata (T) Rogério de Moraes
Calazan²*

RESUMO

Nesta pesquisa, é relatada uma aplicação que utiliza a transmissão e recepção de sinais de banda larga para estimar a profundidade e distância de uma fonte submarina em um ambiente de águas ultrarrasas. Para tanto, é descrita uma técnica de localização usando apenas um hidrofone, em um ambiente com incertezas sobre os parâmetros do fundo marinho. Os dados experimentais utilizados nesse artigo foram coletados na Enseada dos Anjos, situada em Arraial do Cabo, no estado do Rio de Janeiro, em 25 de outubro de 2023. O algoritmo de processamento de campo casado é utilizado para encontrar a melhor correspondência entre o sinal recebido e o sinal de réplica gerado utilizando o método das imagens modificado. Os resultados da simulação e da análise dos dados experimentais indicam a possibilidade de localizar fontes de banda larga, em um ambiente de águas ultrarrasas, caracterizado por múltiplos caminhos de reflexão.

¹Oficial do Corpo da Armada graduado em Engenharia Mecânica (UERJ). Mestrando em Acústica Submarina pelo IEAPM-MB. Email: wendelqlima@yahoo.com.br

²Oficial do Quadro Técnico (RM-1) graduado em Ciência da Computação (Universidade Católica de Petrópolis). Mestrado em Engenharia Eletrônica na área de Sistemas Inteligentes e Automação (UERJ). Doutorado em Engenharia Eletrônica e Telecomunicações na área de acústica submarina (Universidade do Algarve). Atualmente é pesquisador do Projeto SISPRES no Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) e professor do Programa de Pós-Graduação em Acústica Submarina. Email: moares.calazan@marinha.mil.br



Palavras-chave: Acústica submarina. Método das imagens. Localização passiva.

ABSTRACT

In this research, an application is reported that uses the transmission and reception of broadband signals to estimate the depth and distance of an underwater source in an ultra-shallow water environment. To this end, a localization technique using only a hydrophone is described, in an environment with uncertainties about the parameters of the seabed. The experimental data used in this article were collected in Enseada dos Anjos, located in Arraial do Cabo, in the state of Rio de Janeiro on October 25, 2023. The matched field processing algorithm is used to find the best correspondence between the signal received and the replica signal generated using the modified imaging method. The results of the simulation and analysis of experimental data indicate the possibility of locating broadband sources in an ultra-shallow water environment, characterized by multiple reflection paths.

Keywords: Underwater acoustics. Image method. Passive location.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento dos veículos submarinos não tripulados (*Unmanned Underwater Vehicles* - UUVs) tem levantado preocupações sobre a segurança das instalações portuárias, dada sua habilidade para operar em áreas de difícil acesso. Isso aumenta a relevância da detecção de fontes sonoras em contextos costeiros de águas ultrarrasas. O ambiente oceânico raso é extremamente complicado (Kuperman, et. al, 2004) e, de acordo com (JENSEN, et. al, 2011), a presença de múltiplos caminhos de propagação, que é uma característica típica

de guias de onda em águas rasas, é ampliada no guia de ondas. Neste contexto, a complexidade do processamento do sinal é ampliada devido às intensas variações na amplitude e fase do sinal.

O método de processamento de campo casado (*Matched Field Processing* - MFP) é uma abordagem para a localização de fontes em ambientes acústicos que possuem múltiplos caminhos (Worthmann, et. al, 2015). A utilização de técnicas de banda larga tornou-se uma estratégia para ampliar a quantidade de dados e melhorar a estabilidade do processo de estimativa. Uma vez que incertezas sobre o ambiente podem impedir a localização da fonte pelo método MFP (Soares & Jesus, 2003).

No trabalho apresentado por (Aubauer, et. al, 2000) os autores desenvolveram uma técnica de localização de golfinhos em águas rasas usando apenas um hidrofone, baseada nos atrasos dos caminhos direto e com reflexão. Na pesquisa desenvolvida em (Wilmot, et. al, 2007) um modelo de propagação baseado no método de imagens é desenvolvido para calcular campos de réplica para a inversão de dados de campo acústico em um conjunto de hidrofones. Em (LI, X. et. al, 2023) os autores propõem um método baseado na teoria de modos normais que pode estimar o alcance de propagação em ambiente marinho desconhecido com um único hidrofone. A pesquisa realizada por (Liang, N. et. al, 2020) consiste estimativa de alcance da fonte passiva de hidrofone único usando filtro de correspondência de fase.

A ausência de informações prévias sobre o ambiente marinho torna complexo o uso de um único hidrofone para detectar fontes sonoras. Adicionalmente, nos artigos pesquisados na literatura, não foram encontradas pesquisas sobre localização de fontes de banda larga para a profundidade do guia de ondas analisada neste artigo.



2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é descrever uma técnica de localização usando apenas um hidrofone em um ambiente marinho de águas ultrarrasas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, um algoritmo de MFP foi utilizado para encontrar a melhor correspondência entre o sinal recebido e o sinal de réplica. As réplicas foram geradas utilizando o método das imagens (MI) modificado, que considera as interações com o fundo elástico, utilizando uma batimetria e um perfil de velocidade do som constante.

3.1. Base teórica

A equação geral de uma onda sonora para a pressão acústica pode ser escrita no domínio do tempo, baseada nos princípios fundamentais da conservação da massa, a equação de Euler (segunda lei de Newton) e a equação de estado adiabática, da seguinte forma (Jensen, et. al, 2011)

$$\nabla^2 p - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0,$$

a solução geral dessa equação utilizando coordenadas esféricas é dada por

$$p = \frac{\hat{p}}{r} e^{j(\omega t - kr)},$$

onde \hat{p} é a amplitude complexa da pressão sonora, $\omega=2\pi f$ é a frequência angular, $k=2\pi/\lambda$ é o número de onda, λ é o comprimento de onda e r é a distância entre a fonte e o receptor.

A resposta em frequência do canal para o sinal da fonte pontual impulsiva é transformada de Fourier da resposta ao impulso do canal (*Channel Impulse Response* –

CIR), e a resposta em frequência do canal é a combinação ponderada dos vários percursos (ABRAHAM, DOUGLAS A, 2019).

$$H(f, z, r) = \sum_{i=1}^N a_i e^{-j2\pi f \tau_i},$$

onde $\alpha_i=1/r_i$ a é a amplitude do espalhamento esférico e $\tau_i=r_i/c$ é o atraso do i -ésimo caminho para a velocidade do som constante, $C_w = 1500$ m/s.

3.2. Método das imagens modificado

O MI combina as soluções do campo de pressão direto entre a fonte e o receptor com o campo produzido pelas fontes de imagem resultantes das reflexões nas fronteiras. No guia de ondas oceânico ideal, as propriedades são independentes do alcance, apresentando uma velocidade constante na coluna d'água e limites perfeitamente refletivos (Jensen, et. al, 2011).

O MI modificado (MI+), implementado neste trabalho, consiste em considerar o coeficiente de reflexão no fundo elástico.

Os caminhos produzidos pelas fontes de imagem são determinados pela seguinte expressão

$$R_{mn} = \sqrt{2r + z_{mn}^2}$$

onde, $z_{m1} = 2Dm + z_s + z_r$, e

$$z_{m2} = 2D(m + 1) - z_s + z_r.$$

Dessa forma, a expressão para os campos de réplica de banda larga,

$$P(f, z, r) = \sum_{m=0}^{\infty} (R_s R_f)^m \left[\frac{e^{jkR_{m1}}}{R_{m1}} + R_s \frac{e^{jkR_{m2}}}{R_{m2}} \right]$$

onde $R_s=-1$ e o coeficiente de reflexão R_f para um fundo elástico é (Rodriguez, O., 2021)

$$R_f(\theta) = \frac{C(\theta)\cos\theta-1}{C(\theta)\cos\theta+1}$$

$$\text{onde, } C(\theta) = A_1 \left(A_2 \frac{1-A_7}{\sqrt{1-A_6^2}} + A_3 \frac{A_7}{\sqrt{1-\frac{A_5}{z}}} \right)$$

$$\begin{aligned} A_1 &= \rho_2/\rho_1, \\ A_2 &= \tilde{c}_{p2}/c_{p1}, \\ A_3 &= \tilde{c}_{s2}/c_{s1}, \\ A_4 &= A_3 \sin\theta, \\ A_5 &= 2A_4^2, \\ A_6 &= A_2 \sin\theta, \text{ e} \\ A_7 &= A_5(2-A_5). \end{aligned}$$

A onda que reflete em um fundo elástico excita a propagação das ondas longitudinal e transversal. A_1 é a razão das densidades, A_2 é a razão entre a velocidade da onda de compressão no fundo e a velocidade de propagação do som na água, e A_3 é a razão entre a velocidade da onda de cisalhamento e a velocidade de propagação do som na água. A atenuação da onda de compressão e a atenuação da onda de cisalhamento são definidas pelas variáveis α_p e α_s , respectivamente (RODRIGUEZ, O., 2021).

$$\begin{aligned} \tilde{c}_{p2} &= c_{p2} (1 - i\tilde{\alpha}_{cp}) / (1 - i\tilde{\alpha}_{cp}^2) \\ \tilde{c}_{s2} &= c_{s2} (1 - i\tilde{\alpha}_{cs}) / (1 - i\tilde{\alpha}_{cs}^2) \\ \tilde{\alpha}_{cp} &= \alpha_{cp} / 40\pi \log e \\ \tilde{\alpha}_{cs} &= \alpha_{cs} / 40\pi \log e \end{aligned}$$

3.3. Processamento de campo casado

Inicialmente foi calculada a matriz de covariância dos dados:

$$R = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L d \tilde{d}$$

onde \tilde{d} é o conjugado complexo da observação, d é a observação e L representa o número de elementos. O estimador de Bartlett definido como (RODRIGUEZ, O., 2021):

$$B(r, z) = e^{\tilde{R}e}$$

onde e é a previsão modelada com o método das imagens.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A metodologia apresentada é demonstrada usando dados experimentais coletados na Enseada dos Anjos, situada em Arraial do Cabo, no estado do Rio de Janeiro, em 25 de outubro de 2023. Um único hidrofone foi implantado a uma profundidade de aproximadamente 3 m. Neste experimento, um projetor acústico foi instalado a uma distância de aproximadamente 480 m do hidrofone, a uma profundidade de 6 m. A transmissão de uma sequência de sinais lineares modulados em frequência (*Linear Frequency Modulation – LFM*) foi realizada por um projetor acústico, e a recepção, por um hidrofone conforme mostrado na Figura 1. A sensibilidade do hidrofone empregado foi de -153 dB re 1 V / μ Pa.

O sinal LFM transmitido pode ser expresso como um sinal cosseno com frequência variando linearmente, onde $f_o = 5$ kHz é a frequência inicial, que varia em função do tempo. A inclinação (Hz/s) da frequência é a divisão da largura da banda $B = 5$ kHz pela largura do pulso $\tau_p = 100$ ms. Foi aplicada a janela Tukey ao sinal e cada transmissão era seguida por um intervalo de 1 s de silêncio. Ao todo, foram realizadas 50 transmissões. Os dados acústicos obtidos pelo hidrofone foram gravados em arquivos de áudio (.WAV), com a frequência de amostragem $f_s = 50$ kHz.

O uso da correlação cruzada permitiu detectar o sinal nas gravações e separar os intervalos das recepções. Em seguida, para gerar o sinal medido, a transformada rápida de Fourier (*Fast Fourier Transform – FFT*) foi aplicada nos intervalos selecionados das recepções.

A técnica fundamentada em MFP foi implementada em intervalos ampliados a fim de incorporar incertezas no



ambiente. Além disso, foram conduzidos processamentos com diferentes tipos de fundos, conforme apresentado na Tabela 1. As matrizes de busca para ambos os

ambientes, simulado e experimental, foram determinadas usando distâncias que variavam de 0 a 1000 m e profundidades que variavam de 0 a 10 m.



Figura 1 – Localização do projetor acústico, em vermelho, e do receptor, em verde. Fonte: Adaptado de GOOGLE MAPS

Tabela 1. Parâmetros do fundo (Rodríguez, O., 2021)

Tipo	$\rho(\text{kg/m}^3)$	$c_p(\text{m/s})$	$c_s(\text{m/s})$	$\alpha_p(\text{dB/})$	$\alpha_s(\text{dB}/\lambda)$
Areia Fina	1.900	1.650	200	0,8	2,5
Lama	1.800	1.600	400	0,2	1,8
Gravilha	1.500	1.700	180	0,8	1,5
Areia	2.000	1.800	600	0,1	2,0
Argila Arenosa	1.700	1.820	260	0,4	0,6
Areia Grossa	2.100	1.950	350	0,5	0,9
Calcário	2.700	3.000	1.500	0,1	0,2
Basalto	2.400	5.250	2.500	0,1	0,2

4.1. Resultados simulados

Nessa subseção, são apresentados os resultados decorrentes das variações da geometria, utilizando um ambiente simulado. A Figura 2 ilustra o resultado obtido empregando o MI clássico, sem a consideração

dos coeficientes de reflexão no fundo, enquanto a Figura 3 demonstra o resultado encontrado com o MI+, levando em conta o fundo de areia. A modelagem das réplicas de banda larga do sinal resultou em uma precisão de 100% para a profundidade e a distância.

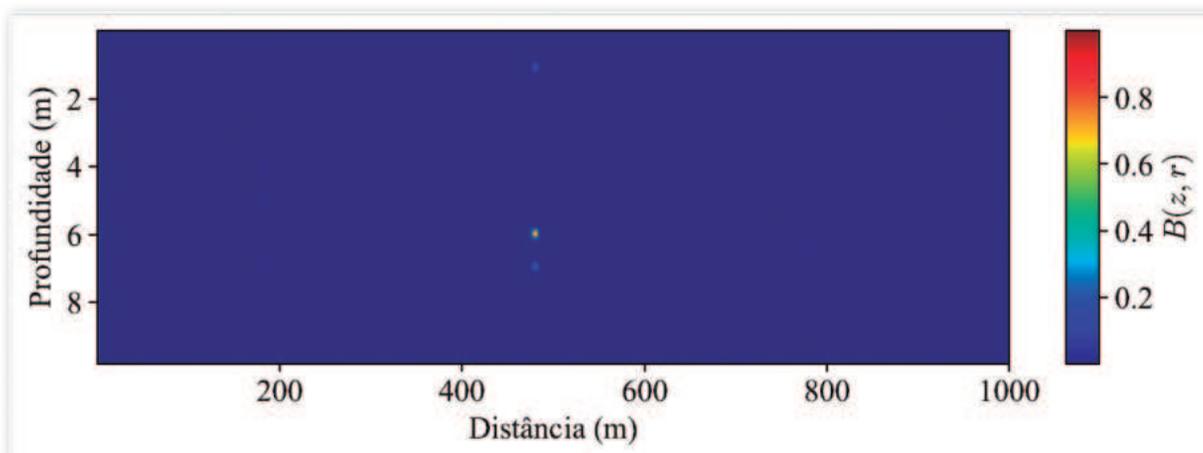


Figura 2 – $B(z,r)$ do ambiente simulado, calculado com o MI clássico. $z_0 = z = 6$ m, $r_0 = r = 480$ m

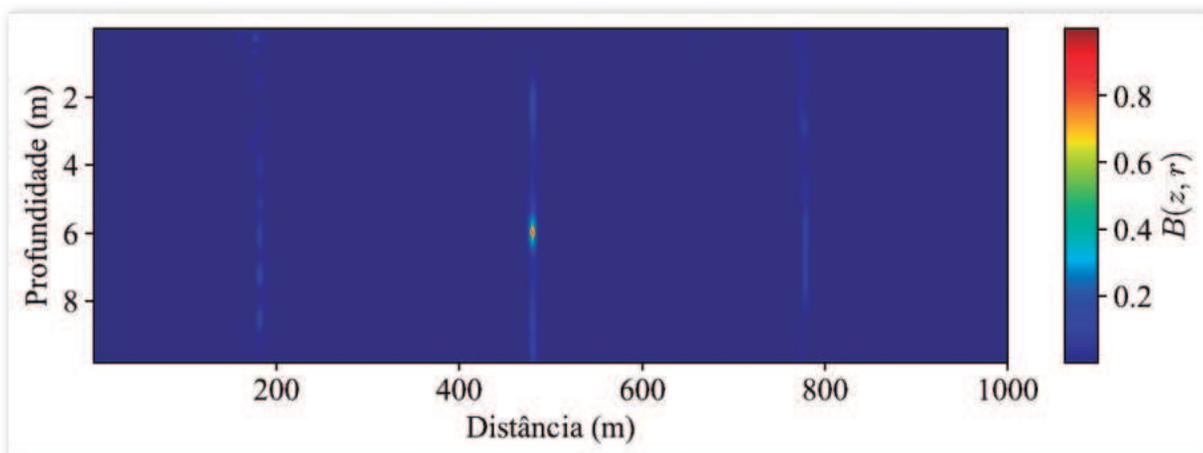


Figura 3 – $B(z,r)$ do ambiente simulado, calculado com o MI+. $z_0 = z = 6$ m, $r_0 = r = 480$ m



4.2. Resultados experimentais

Os resultados do processamento dos dados experimentais, provenientes das variações na geometria e no fundo, são apresentados nas figuras seguintes. A Figura 4 é referente ao MI clássico e as Figuras 5 a 12 são referentes ao emprego do MI+, utilizando os parâmetros do fundo apresentados na Tabela 1.

As superfícies de ambiguidade para os fundos testados surgem em distâncias parecidas, entretanto, para alguns fundos, a dispersão é maior.

A Tabela 2 mostra os resultados da localização estimada, em profundidade e distância, de cada processamento, utilizando os valores máximos das matrizes $B(z,r)$.

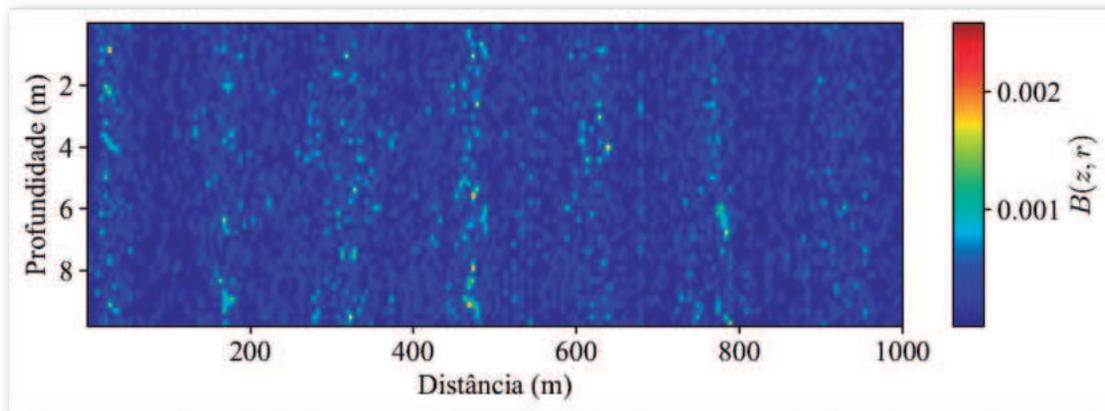


Figura 4 – $B(z,r)$ empregando o MI clássico. Fonte: Elaboração própria

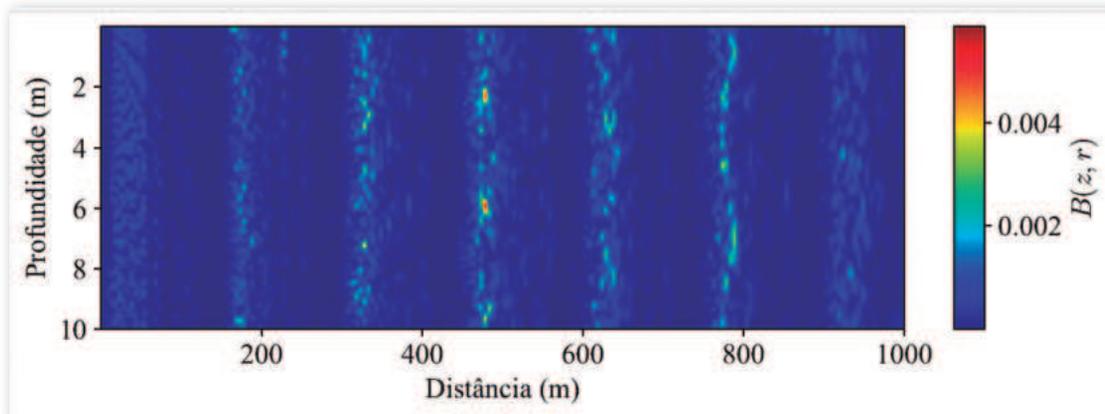


Figura 5 – $B(z,r)$ para o fundo de areia fina, empregando o MI+. Fonte: Elaboração própria

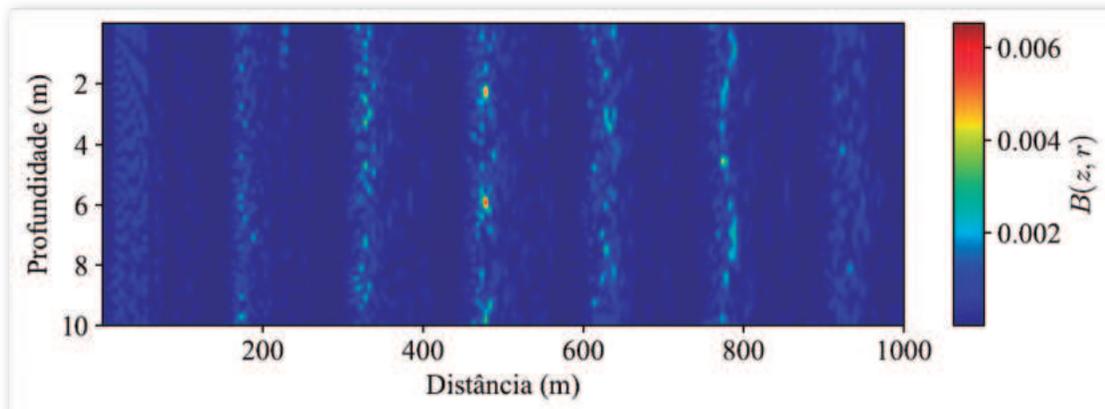


Figura 6 – $B(z,r)$ para o fundo de lama, empregando o MI+. Fonte: elaboração própria

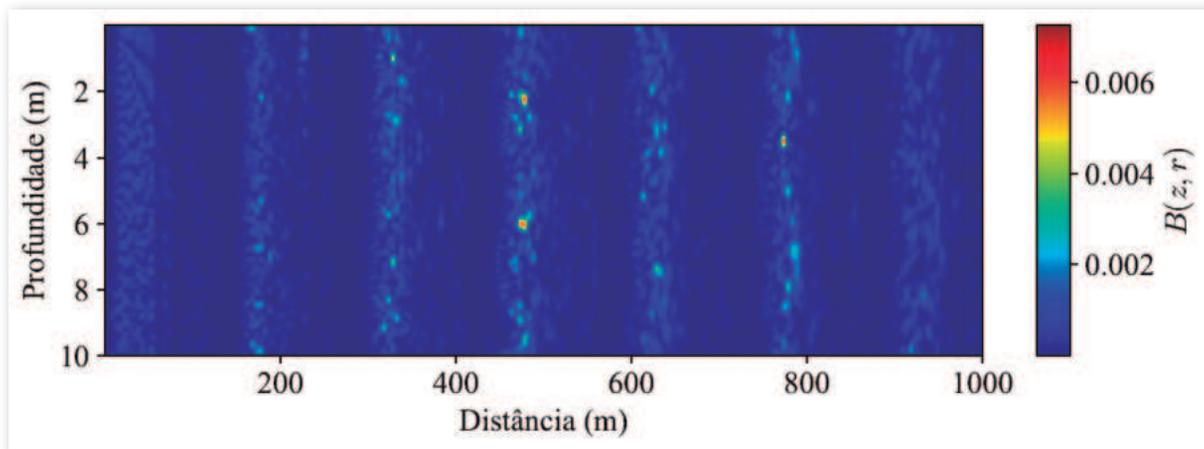


Figura 7 – $B(z,r)$ para o fundo de gravilha, empregando o MI+. Fonte: elaboração própria

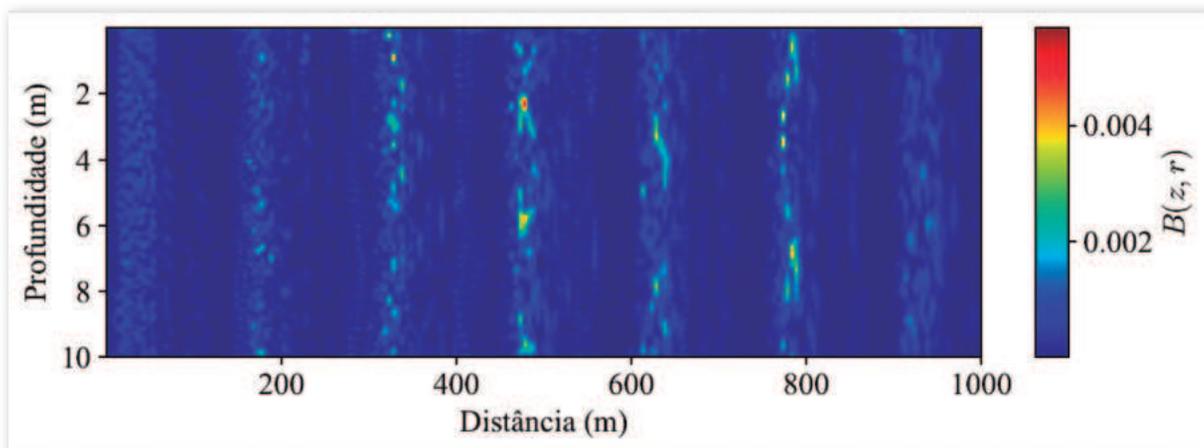


Figura 8 – $B(z,r)$ para o fundo de areia, empregando o MI+. Fonte: elaboração própria

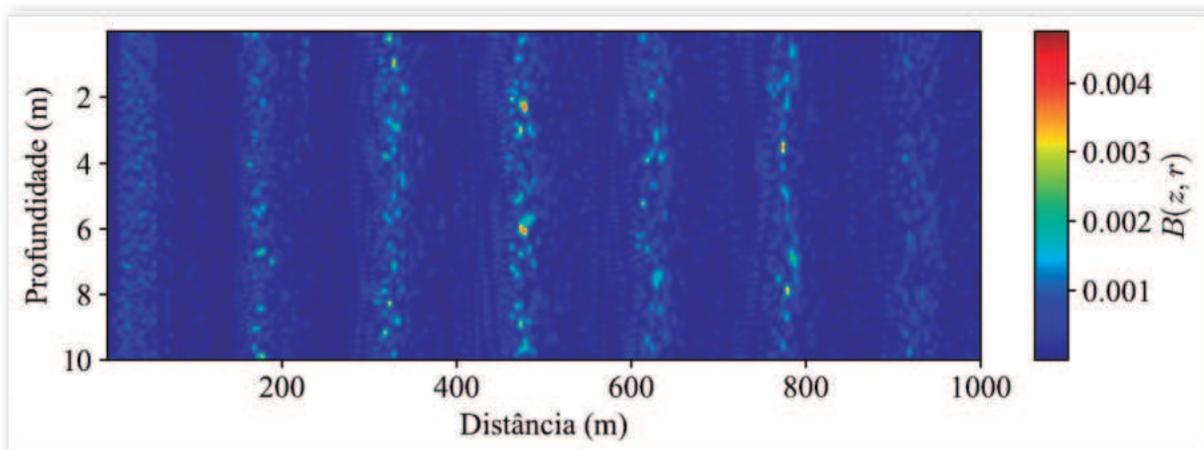


Figura 9 – $B(z,r)$ para o fundo de argila arenosa, empregando o MI+. Fonte: elaboração própria

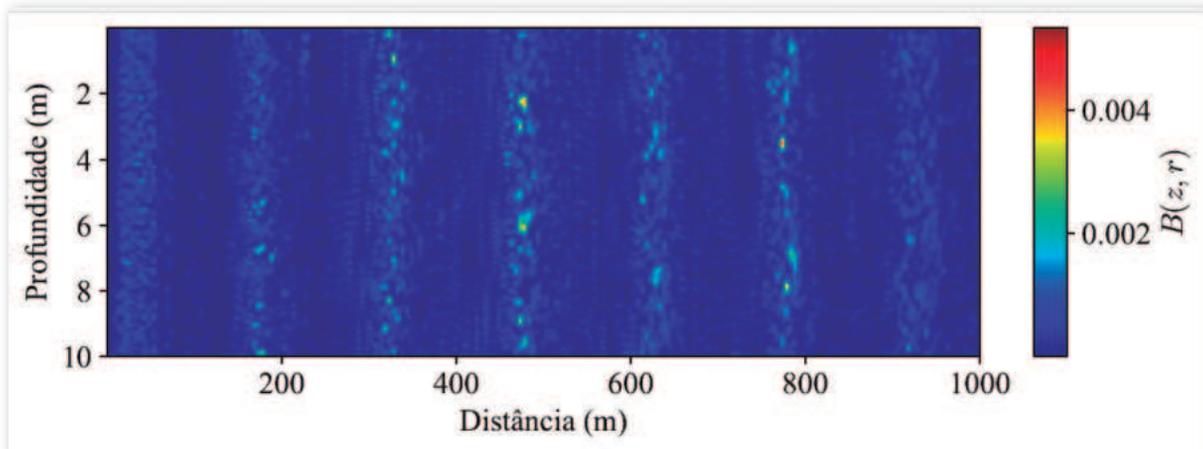


Figura 10 – $B(z,r)$ para o fundo de areia grossa, empregando o MI+. Fonte: elaboração própria

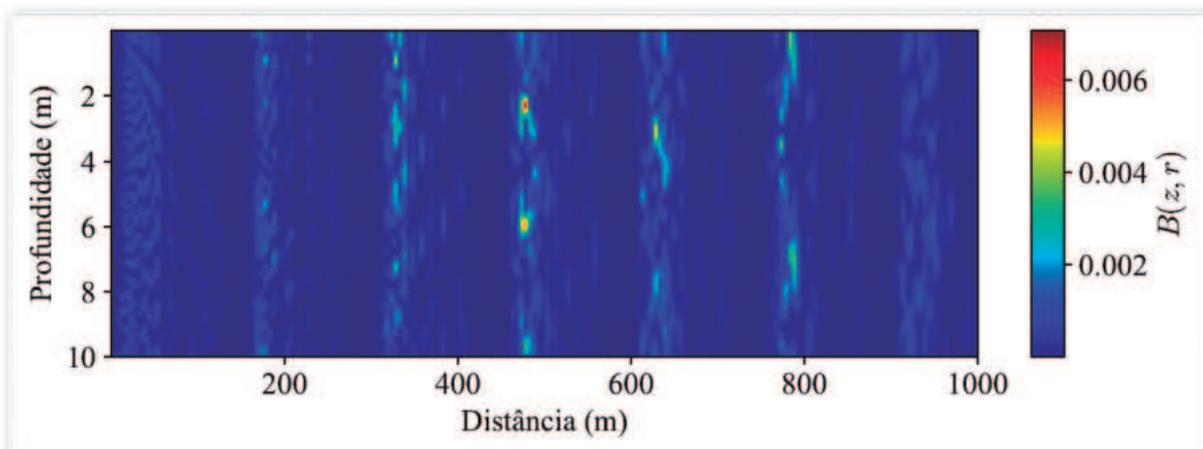


Figura 11 – $B(z,r)$ para o fundo de calcário, empregando o MI+. Fonte: elaboração própria

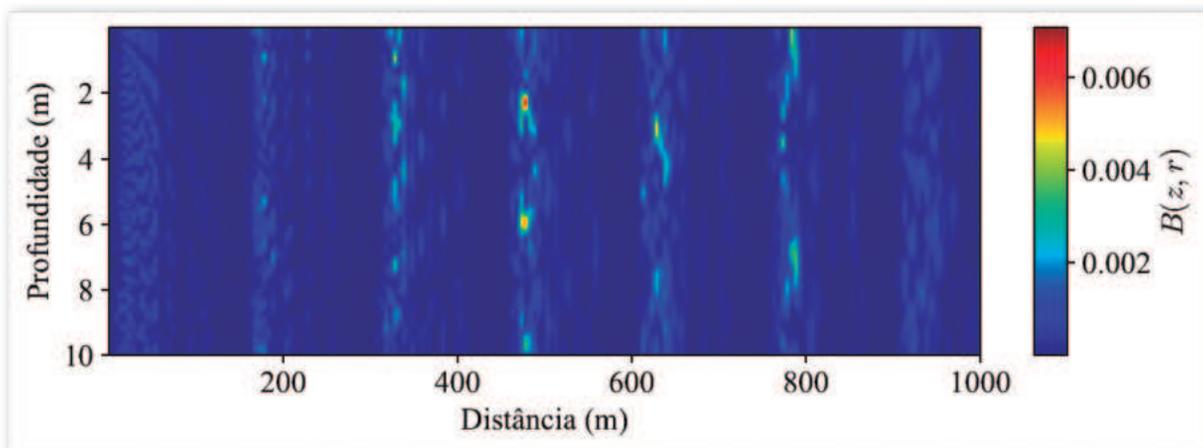


Figura 12 – $B(z,r)$ para o fundo de basalto, empregando o MI+. Fonte: elaboração própria

Tabela 2. Resultados da localização. Fonte: Elaborado pelo autor

MI	Figura	Fundo	Profundidade (m)	Distância (m)
Clássico	4	-	5,6	472,4
	5	Areia Fina	6,0	477,4
	6	Lama	6,0	477,4
	7	Gravilha	3,5	773,9
Modificado	8	Areia	2,3	477,4
	9	Argila Arenosa	3,5	773,9
	10	Areia Grossa	3,5	773,9
	11	Calcário	2,3	477,7
	12	Basalto	3,0	462,3

As estimativas alcançadas com o MI+ são mostradas a seguir, nas Figuras 13 e 14, para profundidade e distância, respectivamente. Os fundos de areia fina e lama apresentaram os resultados mais precisos, por outro lado, os fundos de areia grossa, gravilha e argila arenosa foram os que tiveram as maiores discrepâncias com relação à distância. Além disso, os fundos de basalto, calcário e areia exibiram precisão somente em distância, embora o fundo de basalto tenha sido o único com resultados diferentes dos demais.

Os resultados precisos obtidos para o fundo de areia fina coincidem com as características reais do fundo do ambiente.

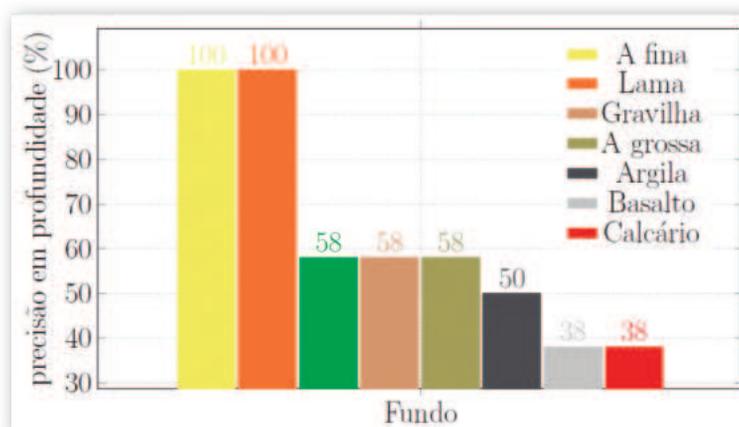


Figura 13 – Estimativas da profundidade (MI+)

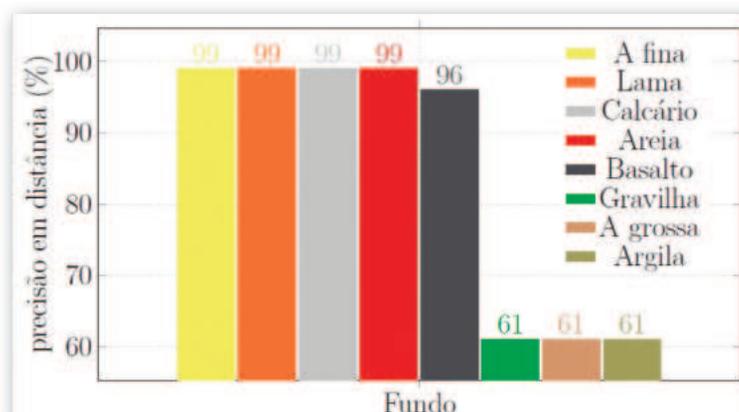


Figura 14 – Estimativas da distância (MI+)



5. CONCLUSÕES

Neste artigo, apresentou-se uma técnica baseada no MFP para detecção de fontes de banda larga. A estrutura do MFP foi adotada, com ajustes apenas no mecanismo de geração dos campos complexos de pressão sonora utilizando o MI+.

O MI+ foi implementado considerando o coeficiente de reflexão do fundo elástico, a fim de permitir a criação de réplicas com suas componentes de frequência calculadas para um sinal de banda larga. A geração das réplicas foi realizada variando os parâmetros geométricos de distância e profundidade da fonte. Além disso, foram considerados diferentes tipos de fundos para analisar a eficiência do algoritmo modificado. A precisão do algoritmo foi avaliada em um ambiente raso no litoral de Arraial do Cabo, e demonstrou-se que uma fonte emitindo sinal LFM de banda larga a uma distância de

480 m e profundidade de 6 m poderia ser detectada usando um único hidrofone, bem como usando o estimador proposto.

Adicionalmente, um desafio significativo ocorre quando a batimetria do guia de ondas do experimento apresenta uma ligeira variação com a distância. A profundidade do mar na posição do projetor é de 7 m, enquanto na posição do receptor é de 4 m. No entanto, apesar das limitações associadas à profundidade constante ao longo do alcance, assim como a consideração da velocidade de propagação do som na água do mar constante, o MI+ produziu resultados satisfatórios. A aplicação do MI+ resultou em uma melhoria em relação ao MI clássico, conforme indicado pelos resultados do experimento. Estes resultados sugerem que o método pode ser utilizado para estimativas mesmo em cenários em que o perfil de velocidade do som, as propriedades do fundo e a batimetria não são precisamente conhecidos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAM, D. A. Underwater Acoustic Signal Processing: Modeling, Detection, and Estimation. Springer, 2019.

AUBAUER, R.; LAMMERS, M. O. One-hydrophone method of estimating distance and depth of phonating dolphins in shallow water. The Journal of the Acoustical Society of America, 2000, 107(5), 2744-2749.

JENSEN, F. B.; KUPERMAN, W. A.; PORTER, M. B.; AND SCHMIDT, H. Computational ocean acoustics. Vol. 2011. New York, NY: Springer New York, 2011.

KUPERMAN, WILLIAM A.; LYNCH, JAMES F. Shallow-water acoustics. Physics Today, 2004, 57.10: 55-61.

Li, X.; CHEN, H.; LU, H.; BI, X.; & Mo, Y. A method of underwater sound source range estimation without prior knowledge based on single sensor in shallow water. Frontiers in Physics, 2023, 11, 53.



LIANG, N.; ZHOU, J.; YANG, Y. Single Hydrophone Passive Source Range Estimation Using Phase-Matched Filter. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2022, 10.7 : 866.

RODRIGUEZ, O. "Fundamentos de acústica submarina." 2021.

SOARES, C.; JESUS, S. M. Broadband matched-field processing: Coherent and incoherent approaches. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 113, n. 5, 2003, p. 2587-2598.

WORTHMANN, B. M.; SONG, H. C.; DOWLING, D. R. High frequency source localization in a shallow ocean sound channel using frequency difference matched field processing. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 138, n. 6, 2015, p. 3549-3562.

WILMUT, M. J.; CHAPMAN, N. R.; HEARD, G. J.; & EBBESON, G. R. Inversion of Lloyd mirror field for determining a source's track. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2007, 32(4), 940-947.

GOOGLE MAPS. "Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, BR". Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-22.9925148,-42.0222381,12.75z?entry=ttu>, 2024. Acessado em: 19 de fevereiro de 2024.21.





VALIDAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DE CICLONES TROPICAIS E SUBTROPICAIS NA METAREA V, UTILIZANDO ESTIMATIVAS DE SATÉLITES

*Primeiro-Tenente (T) Fellipe Romão Sousa
Correia¹
Primeiro-Tenente Max Rodrigues Baptista²*

RESUMO

Ciclones tropicais e subtropicais são um tipo particular de centros de baixa pressão, que estão associados a ventos intensos e podem ocasionar mau tempo, principalmente em regiões marítimas, afetando, assim, a segurança da navegação. O presente estudo buscou validar as classificações destes eventos, realizadas pelo Serviço Meteorológico Marinho (SMM), compiladas por Correia et al. (2022), que afetaram a região da METAREA V, no oceano Atlântico Sul, entre os anos de 2011 e 2022. Uma aplicação prática direta, resultante desta pesquisa, foi o desenvolvimento de rotinas computacionais operacionais em *Python* que apresentassem a velocidade máxima do vento e as coordenadas geográficas associadas a cada evento e que podem ser aplicadas para casos futuros. De forma geral, identificou-se que há uma superestimação sistemática da velocidade do vento pelos produtos analisados visualmente

¹Oficial do Quadro Técnico graduado em Meteorologia (UFRJ). Mestre em Meteorologia (UFRJ), servindo presentemente no Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Email: romao@marinha.mil.br

²Oficial do Corpo da Armada graduado em Ciências Navais pela Escola Naval. Aperfeiçoado no Curso de Hidrografia para Oficiais (CAHO), servindo presentemente no NPqHo "Vital de Oliveira". Email: max.baptista@marinha.mil.br



no meio operacional, apresentando erros médios próximos a 4 nós, muitas das vezes, gerados por arredondamentos dos valores obtidos dos sensores satelitais.

Palavras-chave: Ciclone subtropical. Ciclone tropical. Escaterômetro. METAREA V.

ABSTRACT

Tropical and subtropical cyclones are a particular type of low pressure centers, which are associated with intense winds and can cause severe weather, especially in maritime regions, thus affecting navigation safety. The present study aimed to validate the classifications of these events, carried out by the Marine Meteorological Service (SMM), compiled by Correia et al. (2022), which affected the METAREA V region, in the South Atlantic Ocean, between the years 2011 and 2022. A direct practical application, resulting from this research, was the development of operational computational routines in Python that present the maximum wind speed and geographic coordinates associated with each event and that can be applied to future cases. In general, it was identified that there is a systematic overestimation of wind speed by products visually analyzed in the operational environment, leading to average errors close to 4 knots, often generated by rounding of values obtained from satellite sensors.

Keywords: Subtropical cyclone. Tropical cyclone. Scatterometer. METAREAV.

1. INTRODUÇÃO

Os ciclones subtropicais e tropicais são sistemas meteorológicos caracterizados por um centro de baixa pressão atmosférica que possui forte gradiente bórico, ventos intensos e ondas elevadas no seu entorno. Esses fenômenos, tipicamente marítimos,

são de baixa frequência no oceano Atlântico Sul, com média de 1,2 (0,1) ciclone subtropical (tropical) por ano na METAREA V (Correia et al., 2022). Além disso, a distinção entre sistemas pode ser feita levando-se em consideração seu perfil térmico vertical, intensidade dos ventos e localização geográfica (WMO 1194, 2017).

Em particular, a classificação dos ciclones é fundamental para a segurança das operações marítimas, principalmente da costa brasileira, pois permite uma melhor compreensão dos riscos envolvidos na navegação em áreas afetadas, a depender da intensidade do fenômeno. No Brasil, o Serviço Meteorológico Marinho (SMM), operado pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), é responsável por identificar, classificar e monitorar ciclones subtropicais e tropicais que eventualmente afetam sua área de responsabilidade, conhecida como METAREA V.

O monitoramento desses ciclones é feito por meio do acompanhamento de variáveis meteoceanográficas, tais como a velocidade do vento, a pressão atmosférica e a Temperatura da Superfície do Mar (TSM). Contudo, devido à escassez de dados observados, como os provenientes de boias meteoceanográficas, nas áreas de atuação desses eventos, recorre-se ao uso de métodos alternativos, como o uso de sensores satelitais, a exemplo do escaterômetro, que opera a bordo de satélites de órbita polar e fornece estimativas da direção e velocidade do vento sobre a superfície do mar.

No entanto, no âmbito operacional, os dados dos escaterômetros são conferidos em imagens que, por vezes, possuem baixa qualidade, limitando os usuários a uma análise visual e subjetiva para encontrar características específicas dos ciclones, a exemplo do vento máximo associado. A disposição das barbelas (representação gráfica da direção e da velocidade do vento), como é possível visualizar na Figura 1, não revela a real



resolução espacial dos dados originais, podendo inclusive mascarar valores decisivos, especialmente durante a classificação dos ciclones. As imagens pós-processadas obtidas junto ao STAR/NESDIS, conforme exemplo da Figura 1, constituem a fonte de informação operacional disponível para os previsores no momento da análise.

Com o intuito de automatizar o processo operacional de classificação de fenômenos, validando os prognósticos dos modelos numéricos atmosféricos, e baseando-se em informações de boa qualidade e que permitam a rápida tomada de decisão, é necessário obter informações mais precisas dos dados dos escaterômetros, inclusive processando-os nos próprios centros de previsão.

Desta forma, este trabalho se propôs a validar as classificações de tempestades tropicais e subtropicais realizadas pelo SMM, entre 2011 e 2022, na METAREA V. Para tal, procedeu-se com a comparação dos resultados compilados por Correia et al. (2022) com os obtidos diretamente dos escaterômetros, identificados por meio de rotinas computacionais em *Python*. Estas rotinas analisam os dados brutos dos sensores satelitais e identificam a velocidade máxima e sua localização geográfica na área de ocorrência de cada ciclone. Secundariamente, logra-se que a mesma rotina computacional seja útil para eventos futuros, de modo a otimizar o tempo ao entregar dados precisos e de confiança que subsidiarão tomada de decisões e elaboração de relatórios pós-eventos.

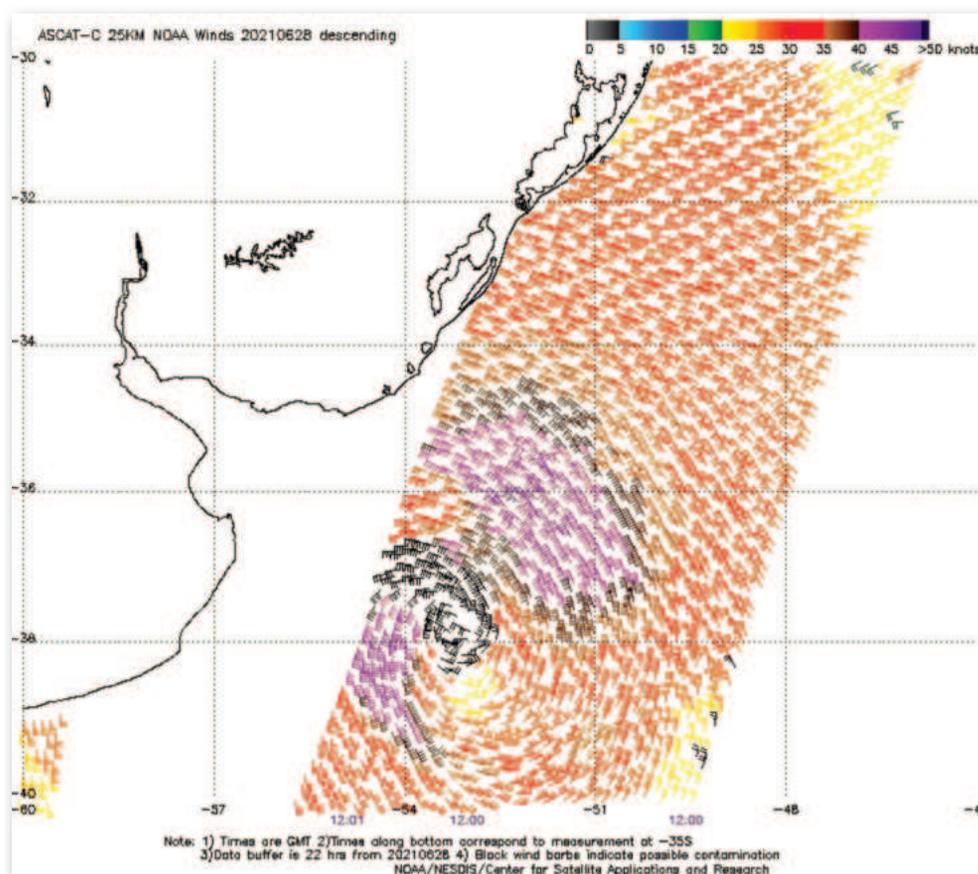


Figura 1 – Estimativa de direção e velocidade do vento realizadas pelo escaterômetro ASCAT a bordo do satélite METOP-C Às 12:00Z do dia 28 de junho de 2021, durante a ocorrência da Tempestade Subtropical Raoni. Este tipo de produto é geralmente utilizado para classificar o ciclone. Fonte: Center for Satellite Applications and Research (STAR/NESDIS)



2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ciclones Tropicais e Subtropicais

2.1.1. Processos de formação, características e classificação

O Brasil está exposto a uma região marítima suscetível a ciclogêneses tropical e subtropical devido a alguns fatores específicos, da termodinâmica e dinâmica da atmosfera e do oceano. A formação desses ciclones sobre o mar é influenciada por fatores como a temperatura do ar e do mar, a umidade do ar, a circulação atmosférica e a presença de áreas de baixa pressão.

Durante o verão, a TSM é geralmente mais elevada e, quando combinada a uma região de fraco cisalhamento vertical do vento e algum gatilho dinâmico, cria um ambiente propício para a formação dos ciclones tropicais. No caso dos ciclones subtropicais, a TSM deixa de ser um fator preponderante, observando-se sua ocorrência ao longo de todo ano. Gozzo (2014) mostrou que ciclones subtropicais possuem características estruturais e de intensidade distintas para o verão, primavera e outono. Deve-se mencionar também que a presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) favorece a formação de áreas de baixa pressão e a ocorrência de chuvas intensas (Reboita et al., 2012), contribuindo, assim, para ambos os casos de ciclogênese. Outros fatores de baixa frequência, a exemplo do sinal das anomalias de TSM do oceano Pacífico central, que caracterizam a fase do módulo de variabilidade climática conhecido como El Niño Oscilação Sul (ENOS), também podem interferir na formação destes tipos de ciclones, apesar de não ter sido constatada uma relação clara entre ambos (Correia et al., 2022). Além disso, a interação desses ciclones com as correntes oceânicas pode

afetar seu desenvolvimento e trajetória (Vianna et al., 2010), tornando ainda mais complexa a sua análise e previsão.

De acordo com Hart (2003), Mathias (2012) e a NORMAM-701 (2023), os ciclones subtropicais e tropicais diferem em sua natureza térmica e estrutural nos seguintes aspectos:

- Tropicais: centros de baixa pressão com núcleo quente e profundo, formados em águas tropicais ou subtropicais, não associados a sistemas frontais e com convecção profunda organizada, além da circulação de vento na superfície fechada em torno de um centro bem definido; e
- Subtropicais: centros de baixa pressão não associados a sistemas frontais, que podem apresentar características tanto de ciclones tropicais como de extratropicais, com núcleo quente em baixos e médios níveis da troposfera, seguido de um núcleo mais frio na alta troposfera e campo de ventos e a distribuição de convecção menos simétricos.

Por outro lado, os ciclones também podem ser classificados quanto à velocidade do vento observada em seu entorno. Originalmente classificados como Depressão, são elevados à categoria de Tempestade quando os ventos a 10 metros da superfície do mar ultrapassam o limiar de 34 nós, recebendo inclusive um nome de acordo com o centro meteorológico responsável por sua área de formação. Caso o vento continue intensificando-se e ultrapasse 64 nós, a Tempestade passa a ser chamada de Furacão, mantendo o nome já atribuído. A lista de nomes das tempestades subtropicais e tropicais na METAREA V consta na NORMAM-701 (2023).



2.1.2. Localização do vento máximo

Em termos de previsão meteorológica, é importante saber onde espera-se que determinado sistema apresente seus ventos máximos. Segundo Hart (2003), os ciclones subtropicais possuem ventos mais fortes afastados do centro do sistema e tais ventos máximos ocorrem a, pelo menos, 60 milhas náuticas do centro, o que se assemelha a um campo de vento mais próximo de um ciclone extratropical.

O ciclone tropical, por sua vez, por apresentar maior homogeneidade estrutural, possui os máximos próximos às zonas de convecção, ou seja, no entorno do centro do ciclone, devido ao acentuado gradiente de pressão existente na região. A Figura 2 ilustra a distribuição média da pressão e a componente do vento à superfície tangencial às isóbaras em um ciclone tropical intenso típico (VAREJÃO-SILVA,

2006). Nota-se que há uma redução gradual da intensidade do vento conforme se afasta do centro e o gradiente de pressão diminui.

2.1.3. Monitoramento pelo SMM

Apesar de sua baixa frequência de formação em comparação aos ciclones extratropicais e às frentes frias, a compreensão e prevenção dos impactos causados pelos ciclones tropicais e subtropicais, por intermédio dos ventos intensos e alturas de ondas elevadas, são de grande importância para a população, em especial para aquela que vive próxima à costa e utiliza o mar. Devido à complexidade desses fenômenos, foi necessário estabelecer normas e linguagens padronizadas para facilitar a comunicação entre os órgãos competentes e a população. Nesse contexto, a Marinha do Brasil normatizou processos e definiu terminologias relacionadas a esses eventos (NORMAM-701, 2023), com base nas diretrizes estabelecidas pela

Organização Meteorológica Mundial (OMM). Desta forma, contribuiu-se para que a mídia veicule as informações corretas e de qualidade.

Por sua vez, oriundo do comprometimento internacional do Brasil através de sua presença como signatário da Convenção para Salvaguarda da Vida Humana no Mar (Safety of Life at Sea – SOLAS), coube ao CHM e ao SMM, dentre outras atividades, o papel de monitorar a formação de ciclones subtropicais e tropicais, analisando-os e divulgando suas características de forma

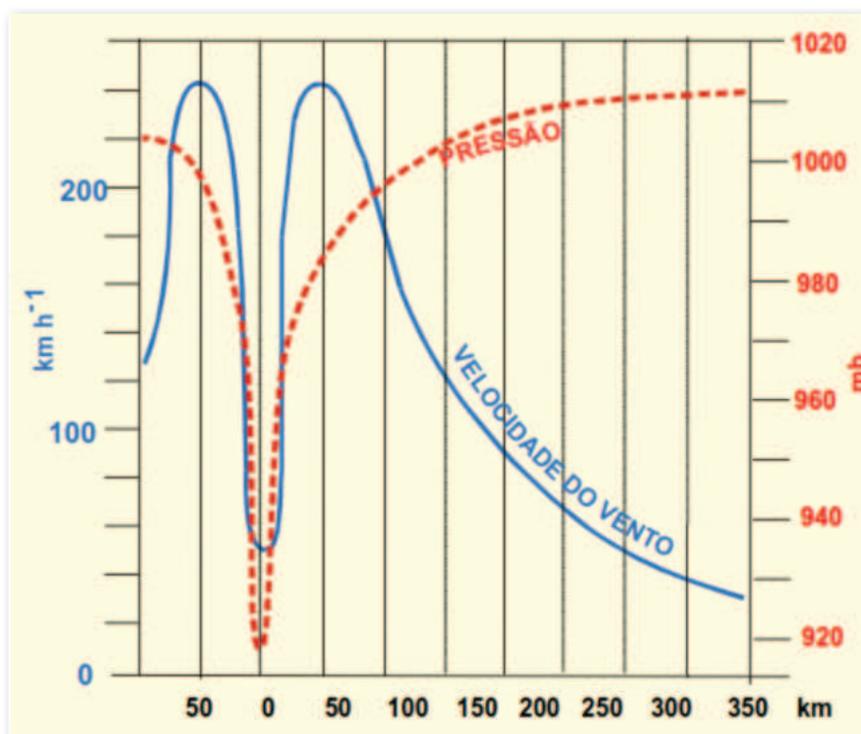


Figura 2 – Distribuição média da pressão e componente tangencial do vento em um ciclone tropical intenso típico. Fonte: Varejão-Silva (2006)



mais precisa e rápida possível, a fim de gerar uma sinalização de alerta e permitir que medidas preventivas sejam tomadas pelos órgãos responsáveis.

Atualmente, mediante iminência de formação de ciclones tropicais e subtropicais, o SMM adota protocolos específicos que permitem:

- a identificação do sistema com antecedência, com base na modelagem numérica;
- a avaliação da natureza do ciclone (tropical ou subtropical) com base no perfil térmico vertical e nas informações contidas nos diagramas de fase, de acordo com os critérios de Hart (2003);
- a divulgação de informações para toda a população, através da emissão de avisos de mau tempo, cartas sinóticas e notas oficiais à imprensa elaboradas em conjunto com outros órgãos nacionais de previsão do tempo; e
- o monitoramento e a atualização das informações relativas ao sistema, incluindo classificação e nomenclatura, trajetória estimada, direção e intensidade do vento e direção e altura das ondas associadas.

O CHM também mantém em seu site na internet um conjunto de relatórios pós-eventos, que consistem em um compilado de informações a respeito dos ciclones já ocorridos, sendo elas: ficha resumo, análise sinótica, avisos de mau tempo e notas à imprensa emitidas, trajetória e, por fim, dados observados e estimados.

2.2. Escaterômetros

Os satélites desempenham um papel crucial na coleta de dados meteorológicos e oceanográficos, especialmente em áreas

remotas e de difícil acesso, onde o uso de boias é impraticável ou inviável cuja instalação e manutenção requerem montantes significativos de tempo e dinheiro. Este papel se reflete na coleta de dados em grande escala, em tempo quase real e com frequência regular, sem a necessidade de intervenção humana constante. Os sensores instalados a bordo podem fornecer uma imagem panorâmica das condições ambientais, incluindo informações sobre a altura das ondas, a direção e intensidade do vento, TSM, distribuição de correntes oceânicas, cobertura de gelo marinho, dentre outros.

Particularmente em relação ao vento, pode-se contar com os dados obtidos por meio de escaterômetros, que são sensores a bordo de satélites de órbita polar, operando a uma altitude que pode variar de 800 a 1000 km. Estes aparelhos operam na frequência de micro-ondas, emitindo sinais e os recebendo de volta refletidos do planeta, o que permite a estimativa da velocidade e direção do vento próximo da superfície do oceano.

Entende-se que o vento que atua sobre a superfície do mar gera pequenas ondas, do comprimento de centímetros, conhecidas como ondas capilares. Quando o sinal emitido pelo radar do escaterômetro incide na superfície do mar sob ângulos específicos, ocorre uma interação especial entre as ondas eletromagnéticas e as ondas capilares, conhecida como ressonância de Bragg. Isto resulta em um aumento notável do sinal de retroespalhamento observado pelo radar. Em outras palavras, as pequenas ondas na superfície do mar agem como um refletor eficiente para o sinal de radar, fazendo com que ele retorne de forma mais intensa em direção ao sensor do satélite. A interação das ondas capilares com as ondas eletromagnéticas é mais intensa quando seus comprimentos de onda são próximos, pois, neste caso, ocorre ressonância, que intensifica o retroespalhamento (UCAR/COMET Program,



2015). As ondas capilares estão presentes tanto em mares calmos, quanto em agitados. Logo, quanto mais intenso o vento, maior é a quantidade de ondas capilares presentes e mais intenso será o sinal de retorno.

Em particular, os sensores Advanced Scatterometer (ASCAT), a bordo dos satélites da constelação METOP, emitem sinais que cobrem duas faixas do oceano com cerca de 550 km cada e separadas por uma distância de aproximadamente 680 km. Isso ocorre pois o satélite possui três antenas que são posicionadas com uma angulação variando de 25o a 65o, com azimutes distintos entre si. Essa configuração permite que a antena capte o sinal de retorno de forma mais precisa, realizando, assim, com o auxílio de modelos, o cálculo da direção e intensidade do vento a 10 metros acima da superfície do mar (UCAR/COMET Program, 2015).

Os dados dos escaterômetros estão sujeitos a ambiguidades geradas pelos métodos de cálculo, sendo perceptíveis em regiões de vento fraco e áreas de convergência ou divergência, e mais presentes nos cálculos de direção do que em intensidade (UCAR/COMET Program, 2015). Essas regiões podem aparecer com sinalização de dado contaminado, não sendo recomendado seu uso para análise operacional. Além disso, os dados de vento também podem ser afetados pela presença de chuva, já que as gotículas podem interagir com as ondas de radar, diminuindo a intensidade do sinal de retorno (Knaff et al., 2021). No caso do ASCAT, a tecnologia de banda C presente resulta em uma atenuação desses sinais nestas condições em comparação com satélites mais antigos que utilizavam banda Ku (Knaff et al., 2021). Isso faz com que os dados gerados pelo ASCAT sejam mais precisos e confiáveis para estimativas do vento em zonas oceânicas afetadas por chuva.

Cabe mencionar que apesar do amplo uso operacional, há uma faixa ótima de funcionamento do sensor. De forma geral,

os sensores fornecem medições confiáveis de velocidade do vento de até cerca de 65 nós, com erros médios em torno de 3 nós. No entanto, a detecção da velocidade do vento tem sensibilidade reduzida a partir de 50 nós, com saturação completa do sinal em aproximadamente 70 nós (Wentz e Smith, 1999; Verspeek et al., 2010; Ricciardulli e Wentz, 2015; Soisuvann et al., 2013; Stoffelen et al., 2017; Knaff et al., 2021). Os erros podem ser muito maiores em gradientes de velocidade do vento forte, como os encontrados próximos aos centros dos ciclones. Além disso, embora os sinais de saturação típica de escaterômetros apresentados anteriormente, os sensores ASCAT já registraram ventos de 85 nós (Knaff et al., 2021).

3. DADOS E METODOLOGIA

3.1. Dados

Foram utilizadas estimativas de escaterômetros que fornecem informações de posição, intensidade e direção dos ventos, com resolução espacial de 25 km e temporal de duas vezes por dia, por meio dos sensores ASCAT a bordo dos satélites METOP-A, METOP-B e METOP-C, obtidos junto ao Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PODAAC).

A área de interesse do estudo é a METAREA V, localizada no oceano Atlântico Sul, onde foram classificados e nomeados pelo SMM os ciclones tropicais e subtropicais no período entre 2011 e 2022. Não obstante, tomou-se por base os resultados obtidos por Correia et al. (2022) em complemento às informações obtidas nos relatórios pós-eventos disponibilizados pelo CHM.

Foram selecionados para este estudo os ciclones subtropicais e tropicais que atingiram a classificação de Tempestade, cujos nomes e períodos de atuação encontram-se resumidos no Quadro 1.

Tabela 1 – Tempestades que ocorreram na METAREA V entre 2011 e 2022. Fonte: Correia et al. (2022)

Ciclone	Período	Ciclone	Período	Ciclone	Período
Arani	14 – 16MAR2011	Guará	09 – 10DEZ2017	Oquirá	27 – 30DEZ2020
Bapo	15 – 08FEV2015	Iba	23 – 27MAR2019	Potira	19 – 24ABR2021
Cari	10 – 12MAR2015	Jaguar	19 – 21MAI2019	Raoni	28JUN – 01JUL2021
Dani	15 – 16NOV2016	Kurumi	23 – 24JAN2020	Ubá	09 – 12DEZ2021
Eçaí	04 – 06DEZ2016	Mani	25 – 27OUT2020	Yakecan	16 – 19MAR2022

3.2. Metodologia

Após a aquisição dos dados, procedeu-se com os procedimentos da Figura 3. As rotinas computacionais tinham o propósito de obter o máximo de velocidade para cada passagem do satélite durante o período de vigência do ciclone para, em seguida, verificar-se qual foi o máximo dentre os maiores valores encontrados. É válido ressaltar que, durante este processo, por mais que a velocidade encontrada fosse máxima, os demais valores de direção ou posição atrelados a ela pode-

riam apresentar o código “NAN” (*not a number*), que naturalmente carregam consigo uma incerteza alta, podendo comprometer a confiabilidade do produto final. Deste modo, como critério de controle de qualidade, foram descartados os dados de vento máximo que possuísem valores NAN de posição e direção.

Por fim, dado o conjunto de velocidade máxima do vento para cada ciclone, realizou-se a análise comparativa com as informações compiladas de Correia et al. (2022), de modo a validar ou não a classificação previamente atribuída pelo SMM aos ciclones.

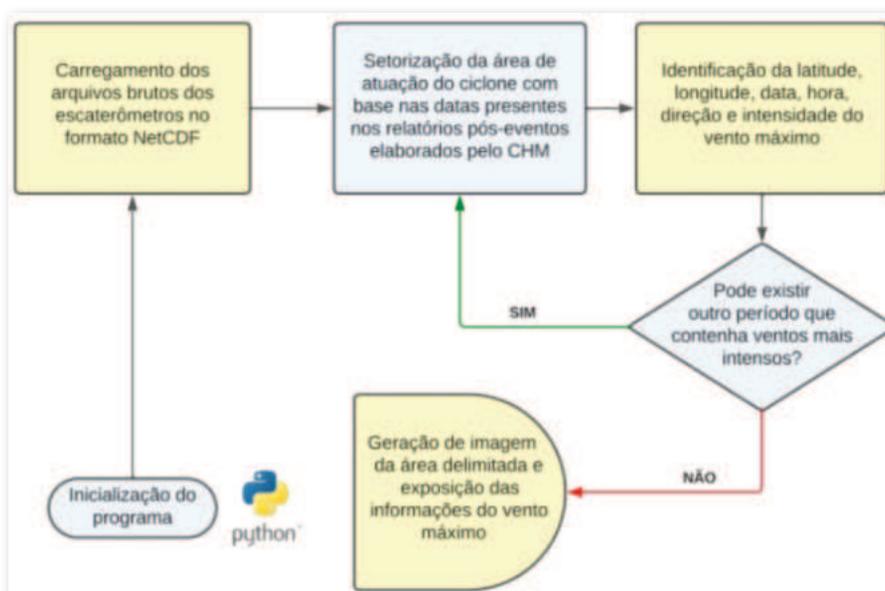


Figura 3 – Fluxograma da rotina em Python para tratamento dos dados de escaterômetro. Fonte: elaboração própria (2023)



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Velocidade máxima do vento

O Quadro 2 apresenta uma comparação dos máximos de velocidade do vento a partir da compilação realizada por Correia et al. (2022), com base nos relatórios pós-evento do CHM (coluna da esquerda); uma adaptação do mesmo trabalho, considerando apenas os máximos provenientes do ASCAT (coluna central); e os dados obtidos

por intermédio da rotina apresentada na Figura 3 (coluna da direita). Pode-se notar que há divergência entre as colunas da esquerda e central, tanto na intensidade do vento máximo quanto no momento de sua ocorrência. Esta diferença já era esperada, em parte, pois estão sendo levados em consideração diferentes sensores (anemômetros, radiômetros e escaterômetros). Por outro lado, a comparação direta entre os escaterômetros (colunas central e da direita) também apresenta diferenças entre valores e horários.

Quadro 2 – Velocidades máximas do vento para cada tempestade conforme constam nos relatórios pós-evento do CHM, considerando todos os sensores (esquerda), apenas o ASCAT (central) e as obtidas pelas rotinas computacionais em Python com base nos dados do PODAAC

Ciclone	Vento Máximo em nós (SMM)	Vento Máximo em nós (SMM - ASCAT)	Vento Máximo em nós (Python - ASCAT)
Arani	45 15MAR2011 (20:42Z) WindSAT	45 16MAR2011 (10:41Z) ASCAT (METOP-A)	40,14 16MAR2011 (10:41Z) ASCAT (METOP-A)
Bapo	50 06FEV2015 (16:28Z) GCOMW1 (AMSR-2)	40 06FEV2015 (12:38Z) ASCAT (METOP-B)	36,21 06FEV2015 (12:36Z) ASCAT (METOP-B)
Cari	35 10MAR2015 (16:28Z) GCOMW1 (AMSR-2)	30 11MAR2015 (12:53Z) ASCAT (METOP-B)	33,96 10MAR2015 (12:19Z) ASCAT (METOP-A)
Deni	40 16NOV2016 (00:54Z) ASCAT (METOP-B)	40 16NOV2016 (00:54Z) ASCAT (METOP-B)	37,67 15NOV2016 (23:59Z) ASCAT (METOP-A)
Eçai	40 05DEZ2016 (00:07Z) ASCAT (METOP-A)	40 05DEZ2016 (00:07Z) ASCAT (METOP-A)	43,83 05DEZ2016 (00:05Z) ASCAT (METOP-A)
Guará	45 10DEZ2017 (02:50Z) GCOMW1 (AMSR-2)	35 10DEZ2017 (12:01Z) ASCAT (METOP-A)	36,06 11DEZ2017 (00:27Z) ASCAT (METOP-A)
Iba	60 25MAR2019 (03:54Z) GCOMW1 (AMSR-2)	40 26MAR2019 (00:25Z) ASCAT (METOP-C)	33,92 26MAR2019 (00:26Z) ASCAT (METOP-C)
Jaguar	45 20MAI2019 (03:10Z) GCOMW1 (AMSR-2)	40 20MAI2019 (11:00Z) ASCAT (METOP-C)	38,68 19MAI2019 (23:07Z) ASCAT (METOP-A)
Kurumí	45 23JAN2020 (16:06Z) GCOMW1 (AMSR-2)	40 25JAN2020 (00:01Z) ASCAT (METOP-C)	35,49 24JAN2020 (01:09Z) ASCAT (METOP-B)
Mani	44 25OUT2020 (10:19Z) METAR (SBLB/REDEMET)	35 25OUT2020 (23:44Z) ASCAT (METOP-A)	33,59 25OUT2020 (11:16Z) ASCAT (METOP-A)
Oquirá	40 28DEZ2020 (03:35Z) GCOMW1 (AMSR-2)	35 28DEZ2020 (11:25Z) ASCAT (METOP-C)	34,52 28DEZ2020 (00:06Z) ASCAT (METOP-C)
Potira	45 21ABR2021 (22:21Z) ASCAT (METOP-A)	45 21ABR2021 (22:21Z) ASCAT (METOP-A)	41,35 21ABR2021 (00:50Z) ASCAT (METOP-C)
Raoni	50 29JUN2021 (02:00Z) ASCAT (METOP-C)	50 29JUN2021 (02:00Z) ASCAT (METOP-C)	47,02 29JUN2021 (02:00Z) ASCAT (METOP-C)
Ubá	40 10DEZ2021 (01:14Z) ASCAT (METOP-B)	40 10DEZ2021 (01:14Z) ASCAT (METOP-B)	34,50 10DEZ2021 (01:15Z) ASCAT (METOP-B)
Yakecan	55 18MAI2022 (04:13Z) GCOMW1 (AMSR-2)	50 17MAI2022 (13:04Z) ASCAT (METOP-B)	45,76 17MAI2022 (13:01Z) ASCAT (METOP-B)

De modo a ilustrar os resultados do Quadro 2, apresentam-se os dados reprocessados do ASCAT para a passagem correspondente à ocorrência dos ventos máximos da Tempestade Subtropical “Raoni” (Figura 4) e da Tempestade Subtropical “Yakecan” (Figura 5). O ciclone Raoni apresentou o máximo de 47,02 nós no setor sudoeste às 02:00Z do dia 29JUN2021, conforme estimado pelo ASCAT na passagem do satélite

METOP-C, o que difere em cerca de 3 nós a menos do apresentado nas figuras constantes nos relatórios do CHM. Por sua vez, o ciclone “Yakecan” apresentou o máximo de 45,76 nós, também no setor sudoeste, às 13:01Z do dia 17MAI2022, conforme estimado pelo ASCAT na passagem do satélite METOP-B. Este valor é cerca de 9 nós menor que o obtido pelo radiômetro GCOMW1 (satélite ASMR-2).

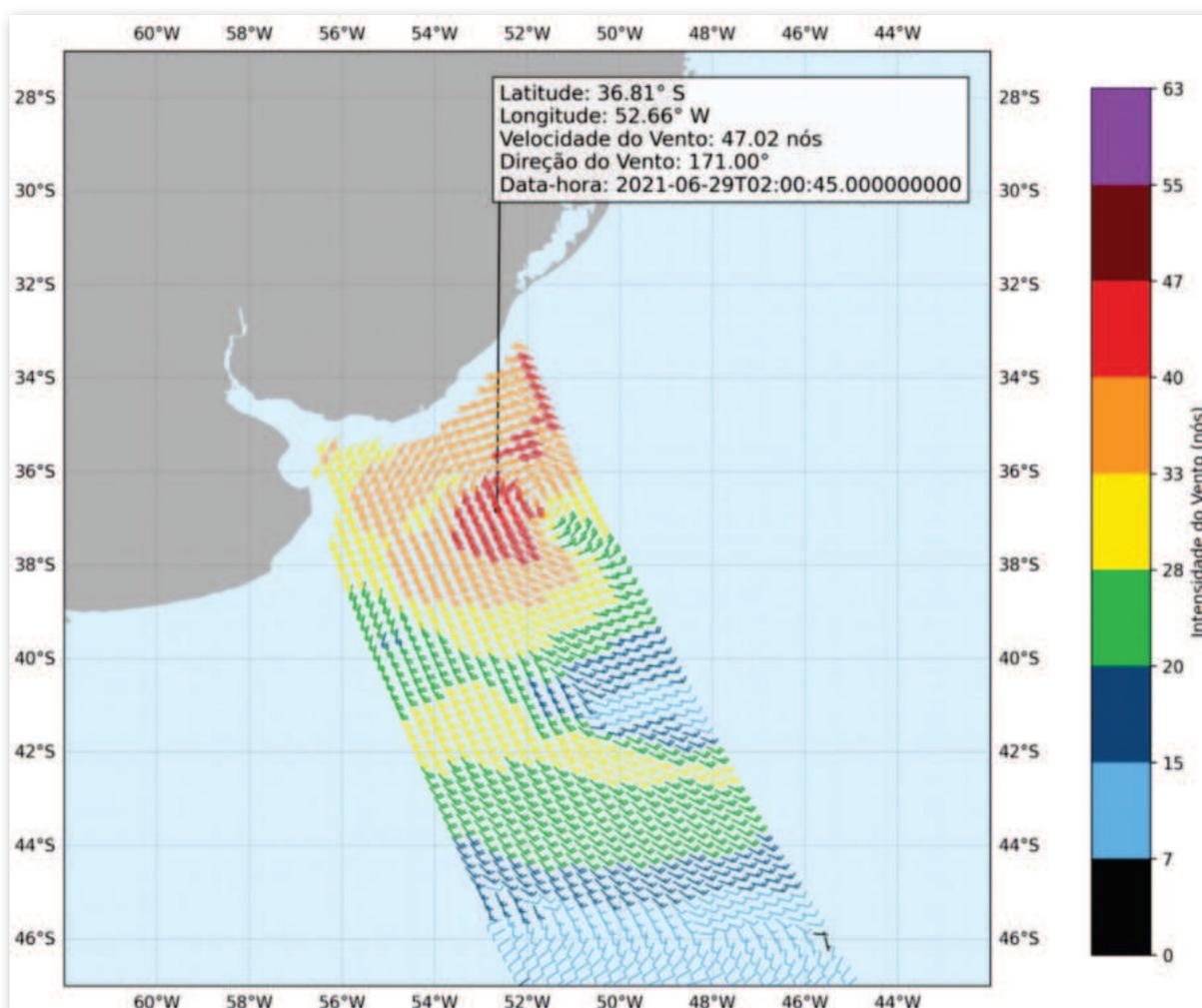


Figura 4 – Passagem do satélite METOP-C de 29JUN2021 (02:00Z) indicando a localização do vento máximo associado a Tempestade Subtropical “Raoni”, obtida pelo ASCAT. Fonte: Elaboração própria (2023)

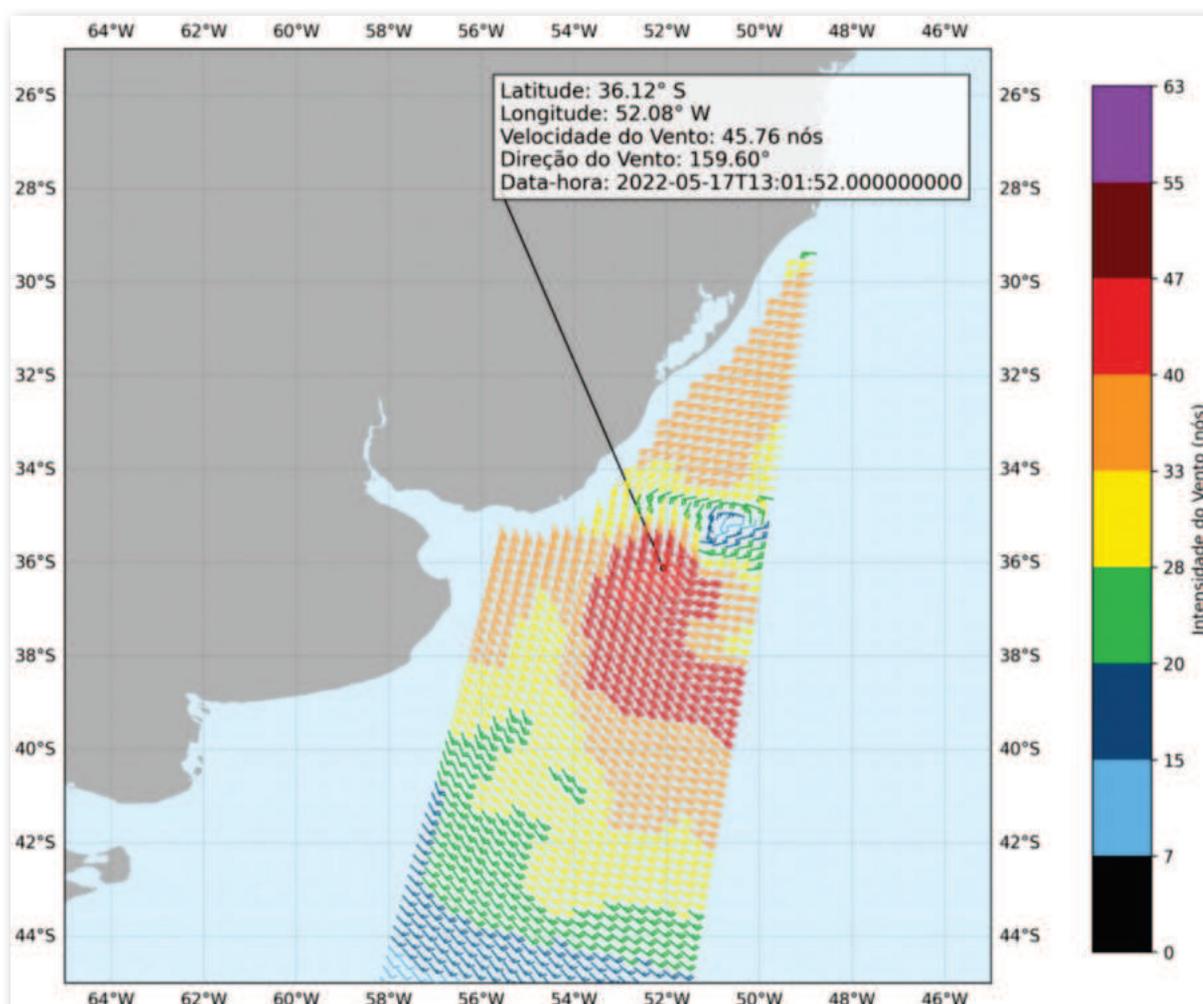


Figura 5 – Passagem do satélite METOP-B de 17MAI2022 (13:01Z) indicando a localização do vento máximo associado a Tempestade Subtropical “Yakecan”, obtida pelo ASCAT. Fonte: elaboração própria (2023)

De modo a ilustrar com maior ênfase as diferenças entre os máximos das velocidades do vento em cada tempestade apresentada no Quadro 2, propôs-se uma análise mais detalhada das informações que podem ser visualizadas no Quadro 3. Foram comparados os dados da rotina

computacional com os dados dos diferentes sensores (A) e com relação aos dados ASCAT (B), ambos dos relatórios do CHM. Além disso, foi verificado se o METOP analisado em B foi o mesmo do relatório e se a passagem do sensor satelital ocorreu no mesmo horário.



Quadro 3 – Comparação dos máximos de velocidade do vento obtidos para cada ciclone. A coluna A indica a diferença entre o valor obtido pela rotina computacional e o indicado nos relatórios do CHM. A coluna B indica a diferença entre o valor obtido pela rotina computacional e o indicado nos relatórios, porém considerando apenas os ASCAT. Referente ao cálculo apresentado em B, a penúltima e última coluna indicam, respectivamente, se houve coincidência entre o horário da passagem do METOP e se os máximos pertenciam ao mesmo satélite. Fonte: elaboração própria (2023)

Ciclone	A (nós)	B (nós)	Horário coincidente?	METOP coincidente?
Arani	-4,86	-4,86	Sim	Sim
Bapo	-13,76	-3,79	Sim	Sim
Cari	-1,04	3,96	Não	Não
Deni	-	-2,33	Não	Não
Eçaí	-	4,83	Sim	Sim
Guará	-8,94	1,06	Não	Sim
Iba	-26,08	-6,08	Sim	Sim
Jaguar	-6,32	-1,32	Não	Não
Kurumí	-9,51	-4,51	Não	Não
Mani	-10,41	-1,41	Não	Sim
Oquira	-5,48	-0,48	Não	Sim
Potira	-	-3,65	Não	Não
Raoni	-	-2,98	Sim	Sim
Ubá	-	-4,5	Sim	Sim
Yakecan	-9,24	-4,24	Sim	Sim

Em geral, observa-se que os valores de vento estimados pelas rotinas tendem a ser menores em comparação ao dos relatórios, apontando para uma superestimação sistemática dos produtos analisados no âmbito operacional, muitas das vezes, gerada por arredondamento nos resultados de escaterômetros. No entanto, essa tendência não é uma regra absoluta, já que há algumas exceções notáveis, como nos casos dos ciclones Cari, Eçaí e Guará, nos quais os valores das rotinas computacionais superaram os dos relatórios.

Além disso, dos 15 ciclones analisados, em 7 (Arani, Bapo, Eçaí, Iba, Raoni, Ubá

e Yakecan) houve coincidência tanto no horário quanto no satélite METOP que gerou o vento máximo. Nos outros casos, os valores comparados pertencem a outro sensor ou a passagens satelitais diferentes.

É importante ressaltar que houve oscilações entre -2,98 e -6,08 nós nas 7 situações em que o mesmo satélite foi usado no mesmo horário que consta em relatório. Para estes casos, construiu-se o Quadro 4, que apresenta o erro médio quadrático absoluto e percentual referente à diferença dos valores obtidos nos relatórios do CHM (coluna central do Quadro 2) e pelas rotinas computacionais do presente estudo.



Quadro 4 – Cálculo do erro médio quadrático e da porcentagem de erro médio entre os valores dos relatórios (R) e os valores das rotinas computacionais (S) para cada ciclone. Fonte: elaboração própria (2023)

Tempestade	R	S	(R-S) ²	$[(R-S /R)*100\%]/N$
Arani	45	40,14	23,45	10,80%
Bapo	40	36,21	14,25	9,47%
Eçaí	40	43,83	14,45	9,58%
Iba	40	33,92	40,29	14,20%
Raoni	50	47,02	8,85	5,96%
Ubá	40	34,5	30,25	11,25%
Yakecan	50	45,76	18,99	8,48%

O valor obtido da raiz do erro quadrático médio foi de aproximadamente 4,48 nós e indica o intervalo médio onde se encontram as diferenças entre as velocidades máximas informadas nos relatórios e as obtidas diretamente dos dados do ASCAT. Como os valores do relatório em sua maioria são maiores que os da rotina, acredita-se que o produto da STAR/NESDIS superestima os valores de vento. A porcentagem média de erro em relação aos relatórios para esses 7 ciclones é aproximadamente 9,82%. Isso significa que, em média, os valores dos relatórios têm um erro de cerca de quase 10% em relação aos valores das rotinas.

Dos 15 ciclones avaliados, em 7 situações houve vento máximo em período anterior ao que consta relatório, representando cerca de 46,7% dos casos.

Aplicando os cálculos anteriores para todos os ciclones e dados que constam no Quadro 2, os relatórios do CHM apresentaram ventos com erro médio de aproximadamente 7,85% e desvio médio quadrático de 3,32 nós em relação aos dados gerados por rotina computacional.

Uma das dificuldades operacionais que se pode destacar é a correta associação da velocidade do vento apresentada na barbela com a escala de cores atribuída. Cabe ressaltar que a OMM estabelece normas para as simbologias de barbelas, com uma variação na faixa de aproximadamente 2 nós.

Pela análise da Figura 6, apesar de o relatório apontar que há uma barbela de 45 nós na figura do ciclone Arani (esquerda), há dificuldade de leitura por superposição, logo, para efeitos de análise, será considerado a média de valores no entorno, que é de 40 nós. Nota-se que há barbelas de 40 nós representadas em cores diferentes em ambas as figuras, sendo que, na primeira, o valor máximo gerado por rotina computacional foi de 40,14 nós e, na segunda, foi de 36,21 nós, o que pode ser atenuado ou intensificado pela tolerância de aproximadamente 2 nós estabelecida pela OMM. Como a fonte de dados é a mesma tanto para o STAR/NESDIS quanto para esta pesquisa, a visualização espacial em barbelas não deveria ser discrepante.

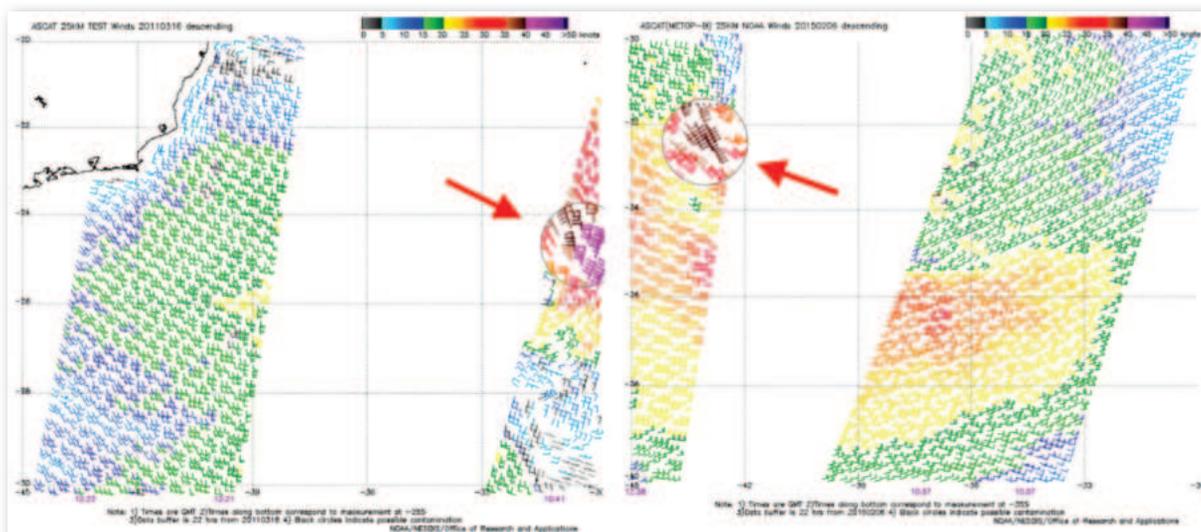


Figura 6 – Varreduras do ASCAT para as Tempestades Subtropicais Arani (esquerda) e Bapo (direita), evidenciando a presença de barbelas de que não correspondem aos valores obtidos após a análise dos dados brutos. Fonte: Adaptado de STAR/NESDIS

Em complemento, as Figuras 7 e 8 demonstram as dificuldades de leitura dos produtos devido à sobreposição de barbelas, como no caso dos ciclones Arani e Bapo (Figura 6). Além disso, é possível visualizar diferenças na maneira como as barbelas são arredondadas. Especificamente, na Figura 7, nota-se que os

máximos gerados por rotina computacional foram respectivamente 47,02 e 45,76 nós, no entanto, em ambos os produtos, foram plotadas barbelas de 50 nós, que é o valor que consta em relatório. Na Figura 8, referente ao ciclone Iba, destacou-se a região onde a representação das barbelas pode gerar análise incorreta.

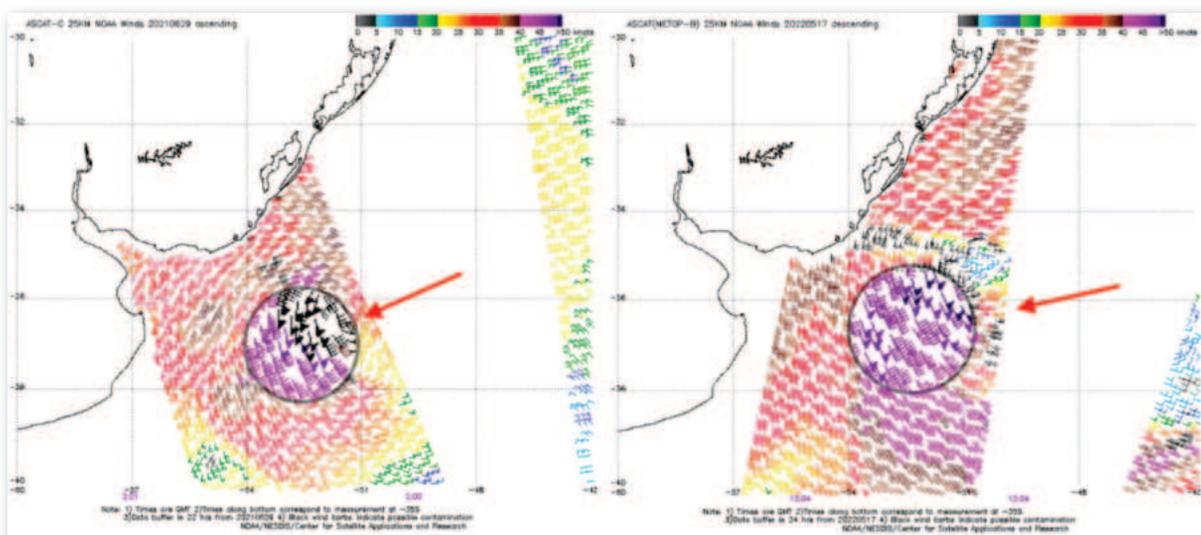


Figura 7 – Varreduras do ASCAT para as Tempestades Subtropicais Raoni (esquerda) e Yakecan (direita), evidenciando a presença de barbelas de que não correspondem aos valores obtidos após a análise dos dados brutos. Fonte: Adaptado de STAR/NESDIS

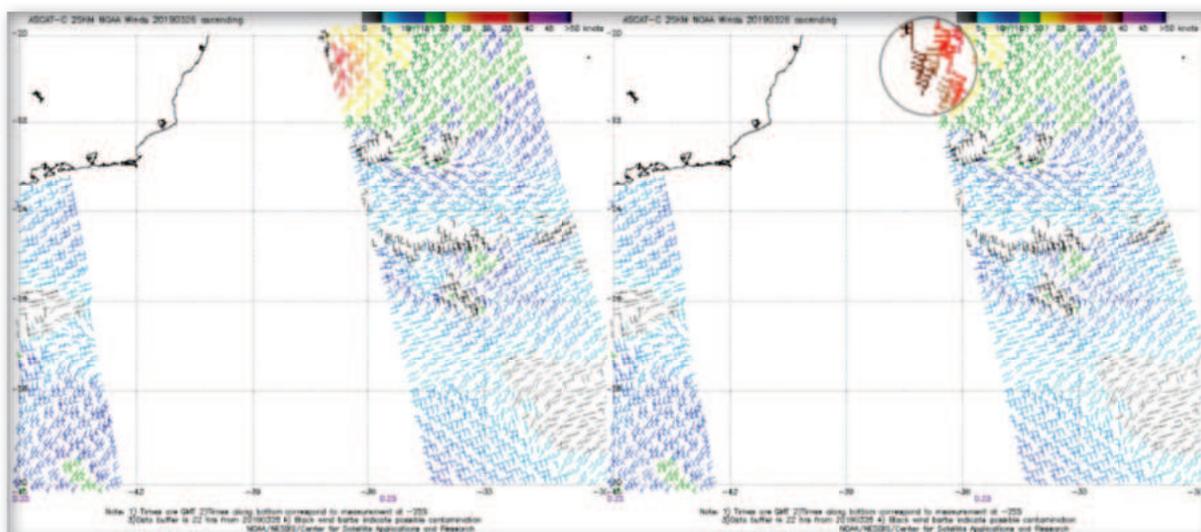


Figura 8 – Passagem do satélite METOP-C indicando os ventos associados a Tempestade Tropical Iba em 26MAR2019. Fonte: Adaptado de STAR/NESDIS

Com estes exemplos, fica evidente que não se deve basear unicamente no valor da barbela de imagens já processadas, como a do STAR/NESDIS, mas, sim, usá-la como base para obtenção de uma informação mais fiel, caso seja necessário ter um valor mais preciso, como é o caso da classificação de ciclones. A comparação das Figuras 4 e 5 com as Figuras 6, 7 e 8 evidencia que a utilização de rotinas computacionais operacionais, como as implementadas nesta pesquisa, torna-se uma fonte mais confiável e precisa do valor da velocidade do vento.

4.2. Raio de vento máximo

Entende-se como raio de vento máximo a distância entre o centro do ciclone e a posição do maior vento obtido associado a este sistema. O Quadro 5 apresenta as distâncias dos ventos máximos em relação ao centro de seus respectivos ciclones, obtidas com base na posição constante nos relatórios pós-evento do CHM e na localização

do vento máximo da passagem do satélite. Os horários extraídos dos relatórios foram selecionados com base na proximidade em relação aos ventos máximos, garantindo uma diferença máxima de duas horas. Considera-se que seja plausível que essas duas horas de diferença tenham influenciado no tamanho total medido.

A Tempestade Subtropical Raoni possuiu o menor raio de vento máximo entre os eventos subtropicais, com cerca de 52,15 milhas náuticas. Ao passo que o maior raio de vento máximo dentre os eventos foi observado durante a Tempestade Subtropical Cari, sendo de 243,48 milhas náuticas. O raio de vento máximo médio entre as tempestades subtropicais analisadas foi de 134,63 milhas náuticas. A Tempestade Tropical Iba apresentou um raio de vento máximo de 42,07 milhas náuticas, sendo inclusive menor que o de todas as tempestades subtropicais. Tal resultado era esperado, visto que ciclones tropicais apresentam máximos de vento próximos ao centro do sistema.

Quadro 5 – Raios de ventos máximos das tempestades classificadas pelo SMM entre 2011 e 2022. Fonte: elaboração própria (2023)

Ciclone	Tipo de Tempestade	Data	Posição do Centro da Tempestade (Relatório)	Hora Relatório	Posição do Vento Máximo encontrado (Python)	Distância Centro - Vento Máximo (Hora de ocorrência)
Arani	Subtropical	16/03/2011	Latitude: 26° S Longitude: 032° W	12Z	Latitude: 24.92° S Longitude: 030.27° W	114.1 MN (10:41Z)
Bapo	Subtropical	06/02/2015	Latitude: 30° S Longitude: 043° W	12Z	Latitude: 31.99° S Longitude: 043.26° W	120.23 MN (12:36Z)
Cari	Subtropical	10/03/2015	Latitude: 29° S Longitude: 45° W	12Z	Latitude: 27.10° S Longitude: 040.94° W	243.48 MN (12:19Z)
Deni	Subtropical	15/11/2015	Latitude: 26° S Longitude: 044° W	16 MAR 00Z	Latitude: 28.02° S Longitude: 041.61° W	176.21 MN (23:59Z)
Eçaí	Subtropical	05/12/2016	Latitude: 28° S Longitude: 044° W	00Z	Latitude: 30.31° S Longitude: 043.16° W	145.52 MN (00:05Z)
Guará	Subtropical	11/12/2017	Latitude: 26° S Longitude: 34° W	00Z	Latitude: 25.17° S Longitude: 032.60° W	90.72 MN (00:27Z)
Iba	Tropical	26/03/2019	Latitude: 20.7° S Longitude: 37.7° W	00Z	Latitude: 20.81° S Longitude: 036.96° W	42.07 MN (00:26Z)
Jaguar	Subtropical	19/05/2019	Latitude: 22° S Longitude: 039° W	20 MAI 00Z	Latitude: 21.96° S Longitude: 035.23° W	209.91 MN (23:07Z)
Kurumí	Subtropical	24/01/2020	Latitude: 28° S Longitude: 039° W	00Z	Latitude: 29.10° S Longitude: 040.58° W	106.33 MN (01:09Z)
Mani	Subtropical	25/10/2020	Latitude: 21° S Longitude: 039° W	12Z	Latitude: 22.31° S Longitude: 039.04° W	78.68 MN (11:16Z)
Oquira	Subtropical	28/12/2020	Latitude: 32° S Longitude: 042° W	00Z	Latitude: 35.85° S Longitude: 041.98° W	231.16 MN (00:06Z)
Potira	Subtropical	21/04/2021	Latitude: 25.1° S Longitude: 39.1° W	00Z	Latitude: 26.62° S Longitude: 036.25° W	178.98 MN (00:50Z)
Raoni	Subtropical	29/06/2021	Latitude: 37° S Longitude: 51.6° W	00Z	Latitude: 36.81° S Longitude: 052.66° W	52.15 MN (02:00Z)
Ubá	Subtropical	10/12/2021	Latitude: 32° S Longitude: 41° W	00Z	Latitude: 33.73° S Longitude: 041.34° W	105.28 MN (01:15Z)
Yakecan	Subtropical	17/05/2022	Latitude: 37° S Longitude: 51° W	12Z	Latitude: 36.12° S Longitude: 052.08° W	74.19 MN (13:01Z)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, este estudo contribuiu para ampliar o conhecimento das tempestades subtropicais e da tempestade tropical que ocorreram no Brasil desde 2011 até 2022, bem como entender o papel do SMM e seus desafios em informar à população os dados a respeito de determinados fenômenos.

Verificou-se que as tempestades Cari, Eçaí e Guará foram as únicas que apresentaram valores de velocidade do vento superiores aos que constam nos relatórios do CHM quando se compara apenas os produtos dos ASCAT. O ciclone Iba, por outro lado, apresentou a maior discrepância de intensidade de vento máximo. Constatou-se, também, que a localização média do



vento máximo para os 14 ciclones subtropicais analisados foi de 134,63 milhas náuticas do centro das tempestades.

Com os dados obtidos, também foi possível mensurar o nível de acerto do CHM, uma vez que o valor máximo, anteriormente, se resumia à acuidade visual e capacidade de percepção das barbelas e escalas de cores. Ao analisar somente os produtos dos ASCAT, encontrou-se uma superestimação de 4,48 nós em relação ao dado real, representando um erro médio de 9,82%. Já ao analisar os relatórios do CHM, usando o resultado levantado por Correia et al. (2022), para todos os ciclones, houve uma superestimação de 3,32 nós e um erro médio de 7,85%.

Apesar de existirem tais valores de erro médio com relação ao vento obtido de forma objetiva utilizando a rotina computacional, a maioria das tempestades tropicais e subtropicais analisadas mantiveram suas classificações, com exceção de Cari (33,96 nós), Iba (33,92 nós) e Mani (33,59 nós), que apresentaram intensidades de Depressão Subtropical (< 34 nós). Vale destacar, contudo, que esses resultados estão bem próximos do limite de classificação entre tempestade e depressão, e possuem uma precisão maior que as dos produtos utilizados até então no âmbito operacional. Relembra-se que as classificações não são feitas unicamente com base nos dados de escaterômetros, mas, também, em dados observados e estimativas dos radiômetros e no aspecto da nebulosidade e da convecção.

É importante frisar que este estudo buscou estimar a velocidade máxima do vento com base em dados de escaterômetros, o que não implica que o fenômeno tenha se restringido a esses valores na natureza. Isso ocorre devido à limitação intrínseca à fonte de dados, como a baixa resolução temporal e a descontinuidade na distribuição espacial dos dados.

Outras perguntas podem surgir, por exemplo, se o ciclone já poderia ter sido classificado como Tempestade em momento anterior ou se deveria ter mantido a classificação de Tempestade por mais tempo ou ainda se deveria ter permanecido como Depressão por mais tempo inicialmente ou se deveria ter sido rebaixado tão logo à categoria de Depressão. Estas também são sugestões para trabalhos futuros, que podem utilizar o programa aqui proposto.

Considerando os limites e desvios apresentados, deve-se atentar, durante o monitoramento de ciclones ao erro médio do vento, que pode ser fundamental no momento da classificação do fenômeno, uma vez que velocidades superiores a 50 nós possuem sensibilidade instrumental reduzida. Para o caso da formação de furacões, deve-se levar em conta a saturação máxima no limiar de 70 nós.

Pode-se notar que a análise única dos produtos do STAR/NESDIS pode superestimar o valor de um ciclone gerando classificações incorretas. Apesar de o dado de origem ser o do PODAAC, pode ser que o STAR/NESDIS utilize uma metodologia de pós-processamento que implique necessariamente em uma representação distinta da velocidade do vento, gerando, assim, diferentes imagens das passagens dos escaterômetros. Com isso, a geração de rotinas computacionais em Python permite a atualização dos valores de vento máximo já fornecidos pelo CHM para valores mais precisos, bem como a atualização dos dados das tempestades, além de ser uma alternativa para implementação no dia a dia do serviço operacional. Resume-se a contribuição deste trabalho com a criação de uma importante ferramenta de análise e consequente classificação de ciclones pelo SMM, a partir dos dados do ASCAT.



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CORREIA, F. R. S. et al. ASPECTOS GERAIS DOS CICLONES TROPICAIS E SUBTROPICAIS OCORRIDOS NA METAREA V ENTRE 2011 E 2022. *Anais Hidrográficos*, [S. l.], p. 1-24, 28 set. 2022.

GOZZO, L. F. Ciclones Subtropicais sobre o Sudoeste do Atlântico Sul: Climatologia e Fontes de Umidade. 2014. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

HART, ROBERT E. A Cyclone Phase Space Derived from Thermal Wind and Thermal Asymmetry. *MONTHLY WEATHER REVIEW*, Department of Meteorology, The Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania, p. 585-616, April 2003.

KNAFF, J. A. et al. Estimating tropical cyclone surface winds: Current status, emerging technologies, historical evolution, and a look to the future. *Tropical Cyclone Research and Review*, [S. l.], v. 10, p. 125-150, 17 set. 2021.

MATHIAS, R. S. B. Análise e Classificação de Ciclones Utilizando Diagramas de Fase: Conceitos e Aplicação em Previsão de Tempo Operacional. 2012. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

MARINHA DO BRASIL. Normas da Autoridade Marítima para as Atividades de Meteorologia Marítima (NORMAM-701). 2023. Disponível em <<https://www.marinha.mil.br/sites/default/files/atos-normativos/dhn/normam/normam-701.html>>. Acesso em: 10 de março de 2024.

REBOITA, Michelle Simões et al. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. *TERRA DIDÁTICA*, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

RICCIARDULLI, L.; WENTZ, F. A scatterometer geophysical model function for climate quality winds: QuikSCAT Ku-2011. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, v. 32, p. 1829-1846, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1175/JTECH-D-15-0008.1>>.

SOISUVARN, S. et al. CMOD5.Hda high wind geophysical model function for C-band vertically polarized satellite scatterometer measurements. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, v. 51, p. 3744-3760, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/TGRS.2012.2219871>>.

STOFFELEN, A. et al. The CMOD7 Geophysical Model Function for ASCAT and ERS Wind Retrievals. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, v. 10, n. 5, p. 2123-2134, 2017. DOI: 10.1109/JSTARS.2017.2681806.

University Corporation for Atmospheric Research (UCAR). COMET Program. Using Scatterometer Wind and Altimeter Wave Estimates in Marine Forecasting. MetEd website, 2015. Disponível em: <https://www.meted.ucar.edu/EUMETSAT/marine_forecasting/nav-menu.php?tab=1&page=4-11-0&type=flash>. Acesso em: 10 maio 2023.



VAREJÃO-SILVA, M.A. Meteorologia e Climatologia. Versão Digital 2. ed. Recife, Brasil: [s.n.], Março 2006. 449 p.

VERSPEEK, J. et al. Validation and calibration of ASCAT using CMOD5. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., v. 48, p. 386-395, 2010.

VIANNA, M.L. et al. Interactions between Hurricane Catarina (2004) and warm core rings in the South Atlantic Ocean. Oceans, Journal of Geophysical Research, 2010. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2009JC005974>>. Acesso em: 1 abr. 2023.

WENTZ, F. J.; SMITH, D. K. A model function for the ocean-normalized radar cross section at 14 GHz derived from NSCAT observations. J. Geophys. Res., v. 104, p. 11499-11514, 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/98JC02148>>.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (org.). Global Guide To Tropical Cyclone Forecasting. WMO-1194. ed. Geneva, Switzerland: [s. n.], 2017, p.88. ISBN 978-92-63-11194-4.





CARTA NÁUTICA ELETRÔNICA: O AVANÇO DA ESPECIFICAÇÃO S-57 A S-101.

Capitão de Corveta (EN) Christopher Florentino¹

Capitão de Corveta (EN) Ana Maria Brandão Mileze²

Capitão-Tenente (EN) Juliane Jussara Affonso³

Capitão de Corveta (EN) Rafael Vieira de Moraes⁴

Capitão de Mar e Guerra Edson Carlos Furtado Magno⁵

RESUMO

A Organização Hidrográfica Internacional (OHI) tem como um de seus papéis fundamentais estabelecer e manter os padrões de coleta, interpretação e representação das informações hidrográficas e cartográficas, visando o melhor intercâmbio e leitura dos dados ambientais marinhos, de modo a prover mundialmente a segurança da navegação. Razão esta, coordena as atividades dos Serviços Hidrográficos nacionais e desenvolveu o padrão S-57 “Padrão de Transferência de Dados Hidrográficos” para as Cartas de Navegação Eletrônicas (Electronic Navigational Chart ou ENC). No entanto, frente a uma série de limitações da S-57 e com um aumento expressivo de diversas fontes de dados hidrográficos, surge o Modelo de Dados Hidrográfico Universal (S-100) e seus diversos padrões derivados, proporcionando maior interação e padronização aos dados

¹Oficial do Corpo de Engenheiros da Marinha, Graduado em Engenharia Cartográfica pela UNESP. MBA em Gerenciamento de Projetos pelo IBMEC. Mestre e Doutor em Dinâmica dos Oceanos e da Terra pelo DOT/UFF. Encarregado da Seção de Novas Edições. E-mail: christopher@marinha.mil.br

²Oficial do Corpo de Engenheiros da Marinha, Graduada em Engenharia Cartográfica pela UERJ. Mestre em Engenharia da Computação pela UERJ. Ajudante da Seção de Novas Edições. E-mail: ana.mileze@marinha.mil.br

³Oficial do Corpo de Engenheiros da Marinha, Graduada em Engenharia Cartográfica pela UNESP. Mestre em Mapeamento do Oceano pela CCOM/UNH. E-mail: juliane.affonso@marinha.mil.br

⁴Oficial do Corpo de Engenheiros da Marinha, Graduado em Engenharia de Agrimensura pela UFV. MBA em Gerenciamento de Projetos pelo IBMEC. Mestre em Engenharia Civil. E-mail: rafael.vieira@marinha.mil.br

⁵Oficial do Corpo da Armada, Graduado em Ciências Navais pela EN. Aperfeiçoado em Hidrografia pela DHN. MBA em Gestão Empresarial pela COPPEAD e Pós-Graduado pela EGN. Superintendente Técnico da DHN.



geoespaciais. Como um produto base ao novo modelo, tem-se a criação da “Especificação de Produto para Carta Náutica Eletrônica S-101”, que atuará em gradual substituição à S-57 para as ENC. Desta forma, com o propósito informativo quanto a este futuro desafio que a comunidade marítima mundial enfrentará pelos próximos anos, esse artigo aborda uma visão geral da S-100, mais especificamente aspectos relativos à S-101, revisando desde os princípios fundamentais da cartografia náutica eletrônica, além das atuais diferenças entre os formatos S-57 e S-101, e apresentando os desafios envolvidos em sua implementação.

Palavras-chave: Carta de Navegação Eletrônica (ENC). Padrão de Transferência de Dados Hidrográficos (S-57). Especificação de Produto para Carta Náutica Eletrônica (S-101).

ABSTRACT

The International Hydrographic Organization (IHO) has as one of its roles is to establish and maintain appropriate standards for surveying, processing and representing of hydrographic information, aiming for better exchange data, to assist the safety of navigation. For this reason, IHO coordinates the national Hydrographic Services and also developed the S-57 “Transfer Standard for Digital Hydrographic Data” for Electronic Navigational Charts (ENC). However, faced to a several of S-57 limitations and with the substantial growth of a variety of sources for hydrographic data, the Universal Hydrographic Data Model (S-100) emerges, developing and testing standards that will provide greater interaction and standardization of geospatial data. As a base product, the new S-101 “Product Specification for Electronic Navigational Chart” arises to gradually replace the S-57 format for ENC. Therefore, with the informative purpose of this new challenge

that the global maritime community will face in the following years, this paper will address an overview of basic concepts involved to S-100, more specifically regarding the S-101, reviewing basic principles, main differences and challenges.

Keywords: Electronic Navigational Charts (ENC). Transfer Standard for Digital Hydrographic Data (S-57). Product Specification for Electronic Navigational Chart (S-101).

1. INTRODUÇÃO

Os primórdios da cartografia náutica mundial remontam há mais de 500 anos, momento no qual a identificação e mapeamento das primeiras representações da costa e áreas marítimas ainda eram desprovidas de recursos tecnológicos, e, portanto, menos detalhadas e precisas. No entanto, a partir da década de 1980 com o advento de tecnologias computacionais e de equipamentos de precisão, como os Sistemas de Navegação Globais por Satélite (GNSS) e sonares, é que a produção cartográfica se tornou tão revolucionária tal como a conhecemos hoje (WARD, 2008; POWELL, 2011). Atualmente, a cartografia náutica exerce papel fundamental na dinâmica mundial, atendendo aos mais variados propósitos, desde o conhecimento e defesa dos territórios, ao gerenciamento costeiro e às relações internacionais de transporte e comércio existentes atualmente (MACEDO, 2023).

No Brasil, o Decreto Imperial nº 6.113/1876 (BRASIL, 1876), somado ao Decreto nº 243/1967 (BRASIL, 1967a) e demais documentos internos da Marinha do Brasil (MB), estabelecem à Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) o papel de Serviço Hidrográfico nacional. A DHN, por sua vez, atribui ao Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), organização técnica qualificada e



diretamente subordinada à referida Diretoria, as ações de planejamento e execução da cartografia náutica sistemática nacional, bem como a ratificação dos parâmetros atinentes aos levantamentos hidrográficos que comporão os respectivos documentos náuticos complementares.

Ademais, como Estado signatário da Convenção para Salvaguarda da Vida Humana no Mar (SOLAS) (IMO, 1974) e membro de organismos internacionais como a *International Hydrographic Organization* (IHO) (BRASIL, 1967b, 1971, 2009), a *International Maritime Organization* (IMO) e outras, cabe ao Brasil o atendimento aos requisitos mínimos acordados, com desdobramentos na segurança da navegação, no exercício de sua soberania e defesa, nas Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB).

Deste modo, são responsabilidades da Marinha do Brasil (MB) - internalizadas por meio da Política Nacional de Defesa (PND) e Estratégia Nacional de Defesa (END), além do próprio Plano Estratégico da Marinha (PEM 2040, 2020) - zelar pelo aprimoramento das atividades de Cartografia Náutica em território nacional, bem como em águas de seu interesse. Para tal, a MB atua na produção e manutenção de todo seu portfólio de Cartas Náuticas (tanto no formato analógico como digital), de maneira atenta às novas especificações internacionais, garantindo a compreensão global das feições representadas e, especialmente, dos potenciais riscos mapeados, provendo então a requerida segurança ao navegante que singra as águas da Amazônia Azul.

Partindo desta premissa, grande é o desafio ao acompanhamento das tendências tecnológicas mundiais, com a manutenção do elevado grau técnico-profissional requerido à Força para o desenvolvimento eficaz e eficiente desta tarefa. Neste sentido, o presente trabalho busca apresentar um breve contexto ao tema da cartografia náutica digital e dissertar sobre os recentes avanços na construção das

novas especificações de produtos cartográficos, dando destaque às Cartas de Navegação Eletrônicas (*Electronical Navigational Chart* ou *ENC*), que tem a cada dia ganhado maior protagonismo na navegação mundial, desde seu lançamento nos idos de 1992, e promete ainda surpreender a comunidade marítima com uma nova evolução tecnológica.

2. A EVOLUÇÃO DAS ENC S-57 E PUBLICAÇÕES NÁUTICAS RUMO A S-100

As cartas náuticas, associadas às publicações de auxílio se tornaram essenciais para o alcance de uma navegação segura, sendo consideradas obrigatórias para todas as embarcações regulamentadas pela Convenção SOLAS (IMO, 1974), possibilitando aos navegantes planejar suas viagens, traçar rotas e consultar informações detalhadas da natureza do fundo, profundidades, configurações e características da costa, perigos, auxílios à navegação e outros elementos relevantes para navegação. Podemos encontrar as cartas náuticas no formato analógico, como Cartas convencionais impressas (tradicional cartas em papel), ou no formato digital, podendo esse último (Fig. 1) ser a Carta de Navegação Raster (Raster Nautical Chart - RNC) ou a Carta de Navegação Eletrônica (ENC) e Carta de Navegação Eletrônica para Águas Interiores (Inland ENC), as quais fazem uso de programas de navegação capazes de se integrar a diversos sensores (GNSS, radar, sonar, etc).

As RNC são basicamente imagens digitalizadas de uma carta em papel, em que cada linha é convertida em um elemento de imagem raster ou “pixel” contendo exatamente as mesmas informações da carta convencional (Fig. 1A). Neste formato, não existe interação com os elementos ali representados, sendo um dos principais fatores que as diferencia das ENC (produtos essencialmente vetoriais).

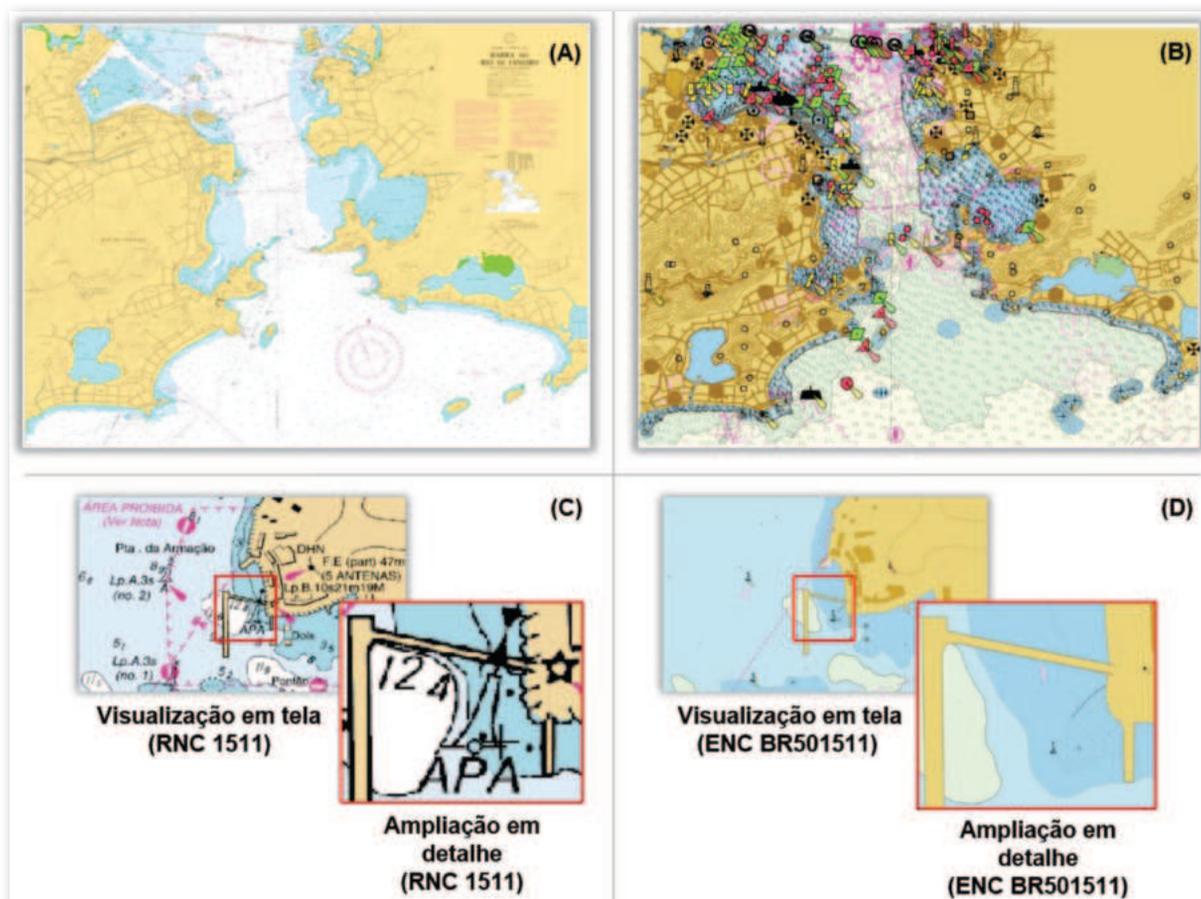


Figura 1 – Contraste entre os produtos digitais Raster Nautical Chart (RNC) e Electronic Navigational Chart (ENC). (A) RNC 1511. (B) ENC BR501511. (C) Ampliação de trecho da RNC com deformação e empilhamento das informações. (D) Zoom digital com a manutenção das características originais

A ENC (Fig. 1B) representa um banco de dados de informações em que as feições do mundo real são representadas como objetos, e as suas características são expressas como atributos, provendo aos navegantes informações adicionais não disponíveis nas RNC.

Trabalhos recentes desenvolvidos pelo Serviço Hidrográfico Australiano (AHO, 2020), apontam as inúmeras vantagens à segurança do navegante que adota o produto ENC em vez do produto RNC ou mesmo da carta em papel. Os benefícios da ENC vão desde a garantia proporcionada pelos diversos controles de qualidade aplicados a cada atualização (update) do produto, como a um maior nível de informações e interação com o usuário, possibilitando a definição

de alarmes visuais e sonoros. Ainda, possuem um layout mais legível e funcional que permite a ampliação de setores de interesse (Fig. 1D) e a consulta aos metadados da feição geográfica ora codificada em S-57 para aquela região, sem distorções ou “empilhamento” da simbologia (Fig. 1C). Além deste, outros estudos também evidenciam as vantagens dos produtos ENC e apontam a tendência mundial da substituição dos produtos analógicos (cartas e publicações em papel) por eletrônicos (ENC ou Inland ENC) (HARMON et al., 2022).

A estrutura básica deste produto ENC toma como referência o modelo de codificação de dados especificado como S-57. Em detalhe, tal modelo S-57, com origem

em 1992 e batizado de “Padrão para a Transferência de Dados Hidrográficos Digitais da IHO”, derivou da necessidade de uniformização das ENC, passando a obrigar os Serviços Hidrográficos a disponibilizarem os seus dados cartográficos no formato digital para os fabricantes de programas de navegação. Naquela ocasião, ficou estabelecido que o principal propósito do S-57 seria prover dados que pudessem ser apresentados nos recentes Electronic Chart Display and Information System (ECDIS) (POWELL, 2011).

Contudo, embora o padrão S-57 ainda hoje esteja operacional e siga atendendo aos critérios fundamentais da Regra 9, Capítulo V, da SOLAS, sendo considerado pela IMO como obrigatório a todas as embarcações assim classificadas; percebe-se que, logo em 2000, foi notada a perda de sua eficiência em decorrência da apresentação de uma série de limitações técnicas frente ao avanço de novas tecnologias. Dentre suas

restrições, observou-se: seu mecanismo de transferência de dados era restrito para a produção das ENC; ele não atendia às necessidades cartográficas contemporâneas; e seu regime de manutenção era inflexível, de forma que qualquer adição de novos atributos ou recursos provocava, necessariamente, revisões das especificações de codificação das ENC e dos respectivos programas instalados nos ECDIS a bordo (POWELL, 2014).

Neste cenário, visando superar as restrições do modelo S-57 e a assimilação das novas tecnologias da época, além de proporcionar maior segurança à navegação e alcance dos produtos e serviços por meio do intercâmbio entre diferentes plataformas da comunidade marítima, bem como dos usuários de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), surge, em 2005, o Modelo de Dados Hidrográficos Universal (S-100), que abarca dentre seus produtos o respectivo padrão S-101 para as futuras ENC (Fig. 2) (IHO, 2022).

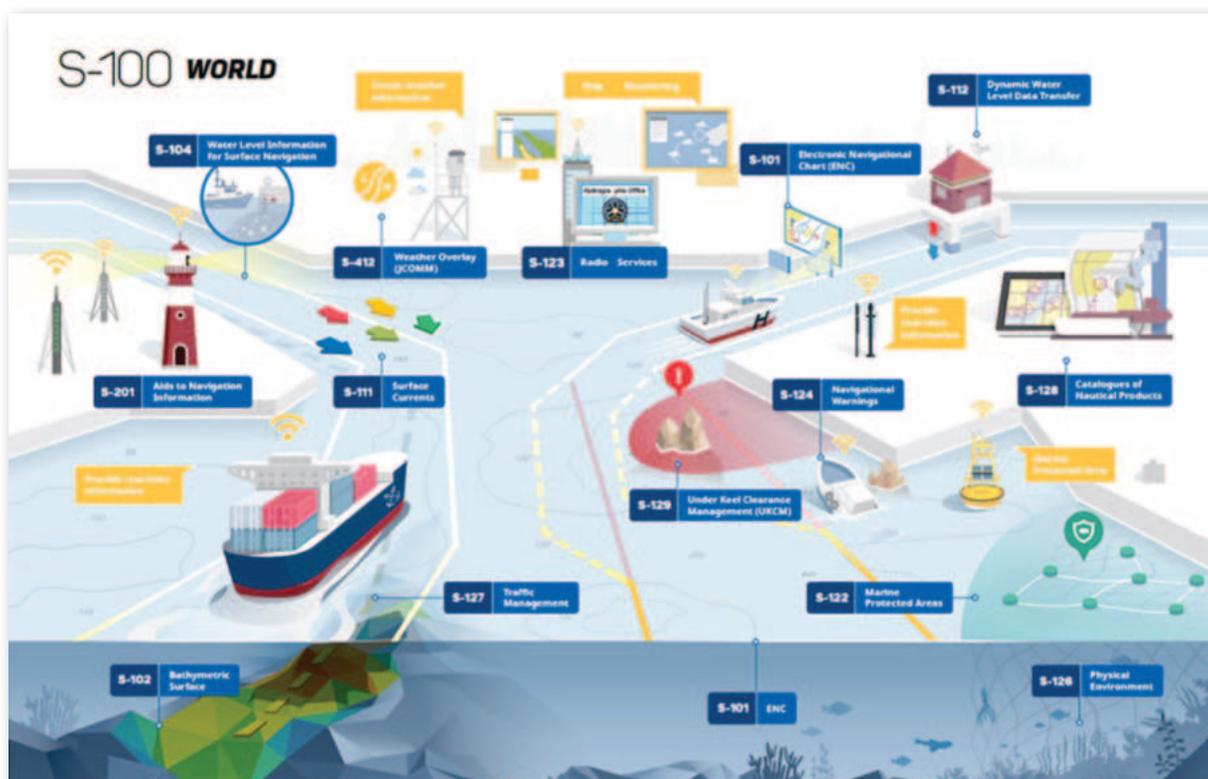


Figura 2 – A família de produtos S-100. Fonte – IHO, 2022



A S-100 é inerentemente mais flexível que a S-57 e suporta uma grande variedade de fontes de dados digitais, produtos e usuários, permitindo assim a integração mais fácil de dados hidrográficos e aplicações em soluções geoespaciais, estando em acordo com os principais padrões geoespaciais internacionais, em particular a série ISO 19000 de padrões geográficos. A padronização de componentes e terminologias garantem que os produtos S-100 atinjam um número maior de usuários, reduzindo os custos na sua implementação e maximizando o uso e desenvolvimento de aplicativos e de softwares comerciais (WARD, 2008). Além disso, a S-100 será interoperável, ou seja, abrangerá padrões e produtos para além da hidrografia e cartografia, combinando diversas fontes de dados geoespaciais em uma apresentação harmônica ao navegante.



Figura 3 – Organizações envolvidas com a S-100. Fonte: Adaptado de KHOA, 2010

A S-100, que atualmente está em sua Edição 5.1.0 (IHO, 2023), desempenhará um papel revolucionário na modernização dos dados hidrográficos, e se tornará o novo padrão base para produtos e aplicações que visam atender as necessidades da sociedade marítima. Para sua materialização, diversas Organizações vêm desenvolvendo as especificações dos produtos necessárias para implementação do modelo (Fig. 3), a saber:

- **International Hydrographic Organization (IHO) / Organização Hidrográfica Internacional (IHO):** responsável pelo estabelecimento dos padrões relativos à Hidrografia e Cartografia para as ENC (S-101); Batimetria (S-102); Informações dos Níveis de Água (S-104); Correntes Superficiais (S-111); Limites e Fronteiras Marítimas (S-121); Serviços de Avisos Rádio (S-123); Avisos aos Navegantes (S-124), entre outros numerados em S-1XX.
- **International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA):** responsável pelo conjunto S-201 a 299, destinado aos produtos de Auxílios à Navegação.
- **Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC):** alocou S-301 a 399, porém nenhum proposto ainda.
- **Inland ENC Harmonization Group (IEHG):** trata das especificações dos produtos relativos à Navegação Fluvial, sendo futuras Inland ENC (S-401) e a Batimetria adensada (S-402).
- **WMO Services Commission (SERCOM):** responsável pelas especificações dos produtos Meteorológicos (S-411 a S-414).

- **International Electrotechnical Commission (IEC)** – responsável pela padronização de tecnologias elétricas, eletrônicas e relacionadas (S-421 a S-430).
- **NATO Geospatial Maritime Working Group (GMWG)**: responsável pelas especificações dos produtos Additional Military Layers (AML), conjunto das S-501 a S-525.

Sabe-se ainda que, em 2008, a IMO traçou uma estratégia para o desenvolvimento e a implementação do *enhanced-Navigation* ou *e-Navigation*, um conceito compreendido como “navegação aprimorada” e, em 2011, ela endossou o uso da S-100, como modelo base ao intercâmbio de informações náuticas e seus futuros Serviços Marítimos (*Maritime Services* – MS) (DHN, 2020). Dentre os produtos S-100 mais relevantes, desta-

ca-se que as cartas náuticas eletrônicas (S-101) desempenharão papel fundamental, pois serão a camada de referência à interoperabilidade com os demais produtos (Fig. 4). Sua construção parte das premissas das atuais ENC no formato S-57, mantendo a maioria das características de codificações das informações, porém se beneficiando da estrutura mais flexível projetada à S-100, alcançando assim maior dinâmica entre os diversos produtos e os MS.

Dada a relevância e repercussão positiva desta proposta da IMO no cenário marítimo internacional, foi definida a respectiva “Estratégia para Implementação no âmbito da Diretoria de Hidrografia e Navegação do Conceito de *e-Navigation*” (DHN, 2020), aprovada pela Diretoria-Geral de Navegação (DGN). Tal abordagem segue alinhada aos respectivos Plano Estratégico das Organizações, bem como ao próprio Plano Estratégico da Marinha – PEM 2040 (PEM, 2040).

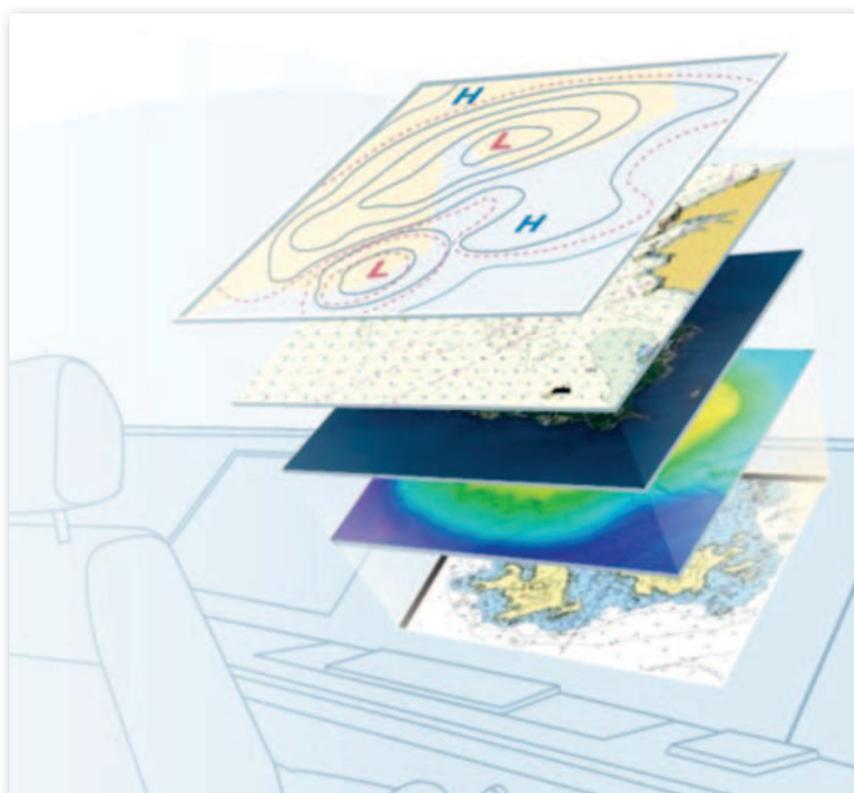


Figura 4a – Interação no ECDIS com os produtos S-100. Fonte: Brochura IHO, 2017



Table A – IHO list of S-100 products with special focus	
Phase 1 / Route monitoring	
S-101	Electronic Navigational Chart (ENC)
S-102	Bathymetric Surface
S-104	Water Level Information for Surface Navigation
S-111	Surface Currents
S-124	Navigational Warnings
S-129	Under Keel Clearance Management
Critical Framework	
	IHO Geospatial Information Registry
S-98	Interoperability Specification
S-100	Universal Hydrographic Data Model
S-128	Catalogue of Nautical Products
S-164	Test Data Set for S-100 and ECDIS Type Approval
Phase 2 / Route planning	
S-122	Marine Protected Areas
S-123	Marine Radio Services
S-125	Marine Aids to Navigational (AtoN)
S-126	Marine Physical Environment
S-127	Marine Traffic Management
S-131	Marine Harbour Infrastructure
S-411 (WMO)	Ice Information
S-412 (WMO)	Weather and Wave Hazards

Figura 4b – Produtos S-100

Portanto, tal qual as atuais ENCs em S-57, sabe-se que a produção das cartas no formato S-101 também será uma atribuição da DHN, sendo então necessária a sua preparação com recursos materiais, humanos e financeiros, capazes de atender ao aumento da demanda por estes novos produtos.

Esse premente desafio à linha de produção cartográfica irá impor um período de transição, também chamado de *Dual-Fuel*, aos Serviços Hidrográficos produtores, como a DHN, às empresas de desenvolvimento de software e de ECDIS, bem como aos usuários. Neste intervalo, estimado pela OHI como o período de 2026 a 2030 (*RoadMap for S-100 Implementation Decade, 2023*), a harmonização da produção em paralelo das cartas eletrônicas S-57 e S-101 será

fundamental para resguardar todos os aspectos técnicos, legais e normativos envolvidos na manutenção da competência e soberania nacional em prol do aperfeiçoamento da competitividade e eficiência da navegação nas Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB).

Ademais, destaca-se, segundo o cronograma da OHI (*RoadMap S-100 IHO, 2023*), o interesse em que os Serviços Hidrográficos entreguem todo um conjunto de produtos S-100, organizado nas fases 1 e 2. Assim, cada produto da S-100 (Fig. 4b) terá seu respectivo período de elaboração e implementação. Devido a esta premissa, observa-se que a DHN também precisará se preparar para produzir ou mesmo delegar que outros órgãos/instituições sejam responsáveis pela produção de alguns destes produtos.

3. A S-101: STATUS ATUAL E PERSPECTIVAS

A nova especificação de produto para Cartas de Navegação Eletrônicas, denominada *S-101 ENC Product Especification*, define todos os requisitos para o conjunto de dados e informações que irão compor as ENC. Sua primeira edição (Edição 1.0.0) foi publicada em dezembro de 2018 e sua primeira revisão, em abril de 2023 (Edição 1.1.0). Embora se assemelhe ao conteúdo do padrão S-57, a S-101 apresenta recursos que visam suprir todas as limitações apontadas no padrão atual, por intermédio de uma estrutura mais flexível, com catálogos de características e representações intercambiáveis e dinâmicas, modelos geométricos mais ricos e tipos de informação e atributos complexos. O padrão S-101 é composto pelos: *Feature Catalogue* (FC), que define o conteúdo dos dados em termos de objetos e atributos; *Portrayal Catalogue* (PC), que contém o modo de exibição dos objetos por meio da definição de um conjunto de regras e simbologias; e o *Data Classification and Encoding Guide* (DCEG) – que é o “Anexo A” da publicação e fornece orientação sobre como o conteúdo do produto S-101 deve ser codificado (IHO, 2023).

Além disso, a produção da S-101 ENC é subsidiada pela S-65 *ENCs: Production, Maintenance and Distribution Guidance*, Annex B – S-57 ENC to S-101 *Conversion Guidance* (Edition 1.0.0, May 2022), a qual fornece orientação quanto às recomendações de preparo e otimização do conjunto de dados das atuais “ENC S-57” para conversão em “ENC S-101”; e “S-98 – *Data Product Interoperability in S-100 Navigation Systems* (Edition 1.0.0, May 2022)”, a qual visa organizar a apresentação simultânea nos *displays* dos múltiplos produtos S-100, com o intuito de simplificar a apresentação das informações aos navegantes e garantir a

interoperabilidade para sistemas de navegação, especificamente o ECDIS (Fig. 4).

De acordo com o planejamento da OHI, o desenvolvimento da S-101 encontra-se em fase preliminar de implementação, em que os países estão realizando testes de conversão, adquirindo conhecimento e softwares de análise dedicados a apoiar a definição de suas necessidades para sustentar a futura estrutura de produção cartográfica, de modo a prover e manter atualizadas, simultaneamente, suas “ENC S-57” e “ENC S-101”. A síntese prevista para desenvolvimento das fases de publicação da especificação S-101 consta do seguinte quadro:

	S-101 ENC Product Specification Publicada em 2018 - Ed. 1.0.0 Revisada em 2023 - Ed. 1.1.0
	Fase Preliminar de Implementação As empresas de software atualizam suas ferramentas para atender a S-100 Ed. 5.1.0 (publicada em 2023) e a S-101 Ed. 1.2.0 que avança em testes
	Fase Operacional Setembro 2024 - Previsão de publicação da Ed. 2.0.0 Publicação da S-101 Ed. 2.0.0 – versão operacional baseada nos resultados das fases anteriores.
	Fase Final de Implementação Janeiro 2026 - Implementação da S-101 Ed. 2.0.0 – momento no qual os ECDIS já iniciarão o suporte/consumo das primeiras S-101

Quadro 1 – Fases e prazos esperados de acordo com estimativas previstas pela IHO. Fonte: RoadMap S-100 IHO, 2023



4. S-57 E S-101: PRINCIPAIS DIFERENÇAS E DESAFIOS (ATÉ O MOMENTO)

As ENC em S-101 não reformularão totalmente as características atuais encontradas nas ENC em S-57, mas ampliarão a codificação das informações existentes e criarão uma estrutura mais

flexível. Esta ação exigirá maior capacitação dos profissionais envolvidos desde o levantamento hidrográfico, como aqueles que atuarão diretamente na interpretação e codificação das informações de acordo com a nova especificação técnica. As principais diferenças já notadas entre as especificações podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais diferenças entre S-57 e S-101. Fonte: *Circular Letter N° 01/2024 of International Centre for Electronic Navigational Charts (IC-ENC)*

Referência	S-57	S-101
Skin of the Earth	DEPARE DRGARE LNDARE UNSARE FLODOC PONTON HULKES	Depth Area Dredged Area Land Area Unsurveyed Area
Propósito de Navegação	1 Overview 2 General 3 Coastal 4 Approach 5 Harbour 6 Berthing	1 Overview 2 Transit 3 Port Entry
Escala de Compilação	Escala definida pelo M_CSCL	Usa <i>MaximumDisplayScale</i> e <i>minimumDisplayScale</i> para fornecer um intervalo de escala de exibição ao uso que os dados se destinam
Nomenclatura	CCU123AB.000 (6 Caracteres)	101CCCC0000000000.000 (Até 17 caracteres)
Tamanho do arquivo	Base Cells – tamanho máximo 5Mb Updates – tamanho máximo 100Kb	Base Cells – tamanho máximo 10Mb Updates – tamanho máximo 200 Kb
Tipo de geometria	Ponto, linha, área e sondagens	Ponto, curva, superfície e sondagens
Tipo de Atributos	Uso de atributos simples	Uso de atributos complexos e sub-atributos.
Objeto/Atributo nomenclatura	Utiliza 6 caracteres para compor o acrônimo	Descrição completa do nome do objeto/ atributo
Tipos de Atributos	Uso de atributos simples	Uso de atributos complexos
Posicionamento do Texto	S-57 não suporta	Os ECDIS em S-100 terão controle do posicionamento do texto apresentado na tela, facilitando a identificação de todas as informações

Desta forma, dentre as diversas abordagens, observa-se que o processo de elaboração das ENC em S-101 deverá, preferencialmente, ter início na alimentação da Base de Dados (BD) já existente no padrão S-57 para então, por intermédio das ferramentas de conversão, que atuarão junto do complemento de alguns objetos e atributos novos, serem criadas as ENC no padrão S-101. No futuro, espera-se que essas ENC em S-101 alimentem diretamente a BD em S-101. Conforme cronograma da OHI, espera-se que as primeiras ENC em S-101 sejam disponibilizadas aos navegantes a partir de 2026.

Na tentativa de preparo e auxílio à transição das ENC do formato S-57 para a S-101, alguns Serviços Hidrográficos estão cancelando determinadas escalas de produtos em papel, bem como trabalhando no reesquema de grade das ENC em S-57, ou ainda vislumbrando um novo esquema para as futuras S-101. Esse reesquema se refere tanto aos ajustes na escala de compilação, como na mudança dos limites das ENC. A ideia é que as ENC em S-101 possuam uma grade regular, garantindo a interoperabilidade com os outros produtos da família S-100, e quiçá facilitando a extração direta

e automática de derivados impressos (NYBERG et al.,2020).

Como base do *e-Navigation*, a disponibilização das ENC em S-101, para os navegantes, será otimizada pela conectividade via satélite. Os dados serão entregues quase em tempo real para fornecer uma percepção ainda mais precisa do ambiente marinho, auxiliando no planejamento das rotas de maneira mais segura, reduzindo o tempo no preparo e na tomada de decisões, preservando, assim, a segurança da navegação (DHN, 2020). Portanto, uma questão paralela a ser resolvida repousa no desenvolvimento da plataforma de consumo destes produtos, ou seja, um ECDIS compatível com a família S-100.

Neste tópico, observa-se que o conceito “*Dual Fuel*” se expande da produção em paralelo, para também um ambiente misto de manuseio dos produtos S-101 e S-57 em um dispositivo ECDIS. O “*Dual Fuel*” será necessário devido ao processo de conversão das ENC em S-57 para S-101 ser vislumbrado de forma progressiva, e, assim, gradualmente, as ENC em S-57 serão substituídas pelas em S-101 (Fig. 5) (RoadMap S-100 IHO, 2023).

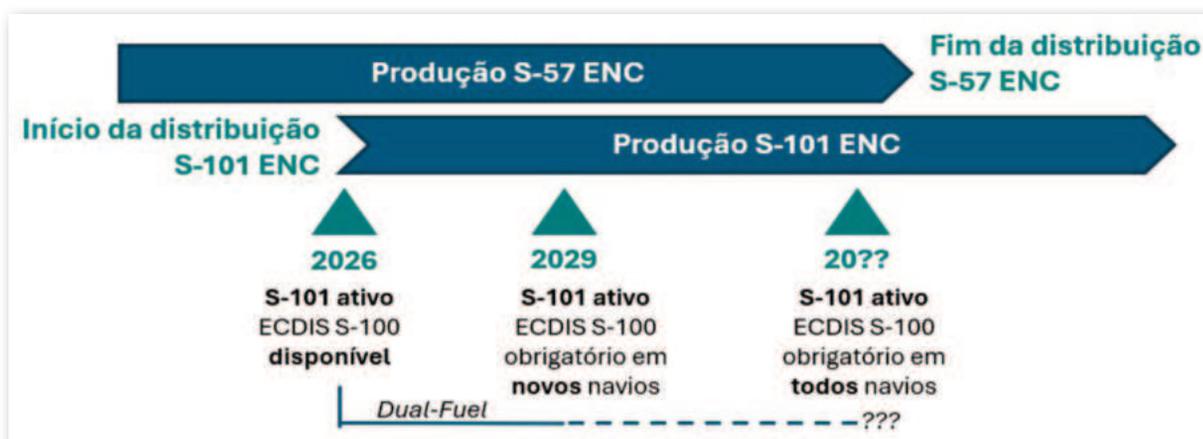


Figura 5 – Período previsto à transição entre os formatos S-57 e S-101 (Dual-Fuel). Fonte: elaboração própria



Acompanhando os avanços nos processos de produção das cartas náuticas, a Divisão de Cartografia do CHM possui, como fluxo, os processos certificados pela ISO 9001:2015, atendendo, assim, aos critérios internacionais para produção e manutenção de documentos náuticos oficiais. Com um significativo portfólio de produtos (Cartas: ENC e IENC, Papel, Raster e Geotiff), cobrindo todo território nacional e áreas de interesse do Brasil, tal produção é realizada sobre uma infraestrutura técnica que necessita utilizar as ferramentas mais recentes e robustas existentes. Sendo assim, em 2023, foi realizada a atualização do Banco de Dados Cartográfico (BDCart) com o upgrade da plataforma CARIS HPD da versão 3.2 para a 4.1.35. Esta versão já possui uma ferramenta em teste, que atua na conversão de dados S-57 para S-101, possibilitando a visualização dos primeiros protótipos

convertidos em S-101. O produto resultante está em nível de protótipo, já que a especificação do padrão S-101 está prevista para ser considerada operacional somente no segundo semestre de 2024 (Quadro 1, RoadMap S-100 IHO, 2023).

A figura abaixo descreve o fluxo simplificado de trabalho que está sendo realizado na Divisão de Cartografia, onde atualmente são gerados protótipos de produtos convertidos em S-101, apenas em caráter de testes e treinamento nas ferramentas da nova versão do software (Fig. 6a). No futuro, a partir da aquisição do módulo de produção efetiva de S-101, ocorrerá o ingresso na etapa Dual-Fuel, e desta forma haverá “duas linhas de produção”: uma para atualização dos produtos em S-57 e outra para alimentação da base de dados em S-101, proporcionando, assim, a geração dos produtos em ambos os formatos, S-57 e S-101 (Fig. 6b).

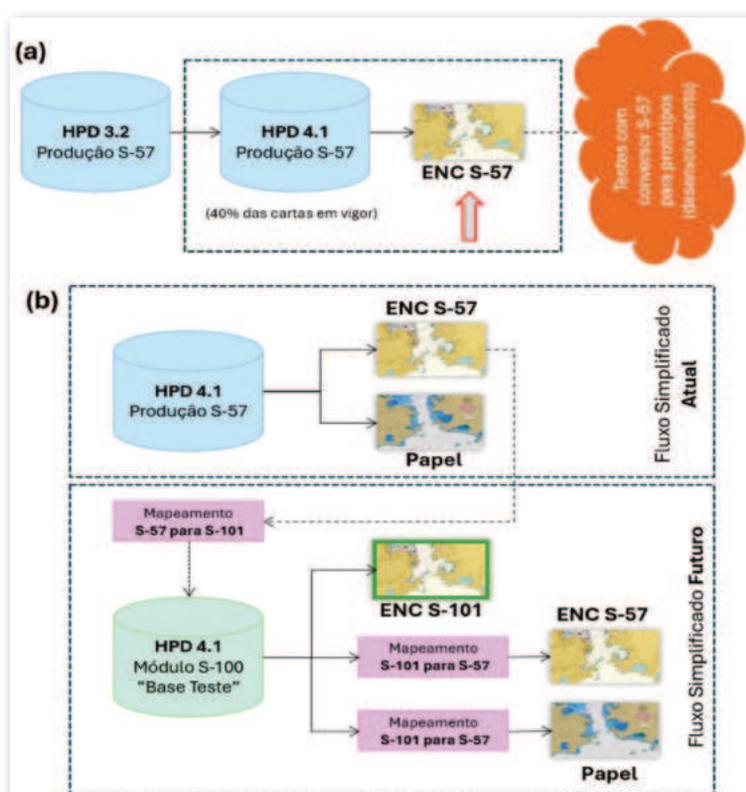


Figura 6 – (a) Fluxo simplificado atual em S-57. (b) Fluxo simplificado futuro para as ENC S-57 e S-101. Fonte: elaboração própria



Observa-se então que diversas atividades vêm sendo realizadas em preparo à S-101. Contudo, para que a MB consiga atender plenamente aos anseios e prazos estipulados pela OHI/IMO, diversos esforços ainda são necessários quanto:

- Aprimoramento na aquisição e compilação de dados hidrográficos pelas equipes em campo (com maior atenção aos metadados e atributos das feições coletadas);
- Substituição gradual do portfólio de cartas náuticas em papel por cartas digitais;
- Investimento na atualização da infraestrutura técnica de software, licenças e estações de trabalho voltadas à produção (recursos materiais);
- Investimentos na capacitação dos profissionais cartógrafos, hidrografos e técnicos em geodésia e cartografia (recursos humanos) nas novas plataformas e especificações da S-100; e
- Continuação da participação efetiva do corpo técnico da DHN e do CHM nas discussões dos Grupos de Trabalhos da OHI, em intercâmbios com os Serviços Hidrográficos congêneres e nos treinamentos oferecidos pelos Centros de excelência no assunto.

Em decorrência da complexidade que envolve a consecução dos itens supracitados, por extrapolarem as atribuições do CHM e exigirem uma análise ampla e aprofundada a respeito da questão, em novembro de 2022, o Diretor de Hidrografia e Navegação aprovou a recomendação do Comitê de Coordenação Permanente para assuntos da OHI (CCP-OHI), contidas na Ata no 003/2022, acerca do: *“estabelecimento de um GT com a participação de representantes da DHN e do CHM, sob a*

coordenação da Superintendência Técnica da DHN, para que seja elaborado um Plano de Projeto delineando cronograma, recursos humanos, materiais e financeiros necessários para que a DHN inicie a divulgação de ENCs no formato S-101, alinhada ao cronograma previsto pelas OHI e IMO”. Da mesma forma, foi elaborado um Estudo de Viabilidade Orçamentária (EVO): *“Cartas S-100”*, com intuito de apresentar e debater a demanda de recursos financeiros que se fazem necessários ao suporte desta vultosa tarefa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o avanço tecnológico, tanto a produção cartográfica como o formato das cartas náuticas evoluíram de maneira significativa, passando dos produtos em papel, desenhados com nanquim, às cartas de navegação eletrônicas no formato S-57, e, em um futuro próximo, em conformidade com o Modelo de Dados Hidrográficos Universal “S-100”. Ao longo de todo este processo, é imutável que a carta náutica, independentemente de qualquer formato, sempre assegurou seu princípio primordial que é a segurança da navegação.

Atualmente, os Serviços Hidrográficos estão se preparando e trabalhando para mais uma etapa de evolução, a conversão das Cartas Eletrônicas de Navegação (ENC) do formato S-57 para as ENC em S-101. As normas da Organização Hidrográfica Internacional (OHI) que regem os processos de elaboração, validação e interoperabilidade dos produtos da família S-100, encontram-se em fase de construção e implementação, o que resulta na oportunidade de melhor estudá-las e compará-las.

Diante das incertezas e restrições existentes, observa-se que esta Diretoria Especializada (DE) tem buscado participar das reuniões técnicas dos grupos de trabalho da OHI e demais treinamentos oferecidos



pelos centros de excelência e pelas empresas especializadas, com fito de assimilar conhecimento e atuar ativamente na preparação e assessoramento das ações de resposta ao desafio que a S-100 representa.

Constata-se ainda que, para a devida manutenção da qualidade dos produtos em vigor, bem como para a eficiência na assimilação e disponibilização destes aos navegantes, é de extrema importância que os profissionais da linha de produção, tal qual a estrutura do ambiente computacional

acompanhem as atualizações das ferramentas de conversão e dos softwares para a elaboração e validação das atuais ENC em S-57 tanto como das futuras ENC S-101.

Tais ações mostram-se fundamentais para o fiel cumprimento dos compromissos assumidos no tocante às diretrizes para distribuição e consumo harmônico das cartas náuticas eletrônicas brasileiras, em ambos os formatos, ao longo de todo o período Dual-Fuel, pelos Sistemas Eletrônicos de Apresentação de Cartas e Informações (ECDIS).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHO (Australian Hydrographic Office). Official charts, unofficial charts & chart plotters. Fact Sheets. October, 2020. Disponível em: < https://hydro.gov.au/factsheets/FS_AusENC-Official_and_unofficial_electronic_charts.pdf >. Acesso em: 09 de fev. 2024.

BRASIL. Decreto Imperial no 6.113, de 2 de Fevereiro de 1876. Crêa a Repartição Hydrographica. Coleção de Leis do Império do Brasil. 1876, p. 193.

_____. Decreto-Lei no 243, de 28 de fevereiro de 1967. Fixa as Diretrizes e Bases da Cartografia Brasileira e dá outras providências. Diário Oficial da União. 1967a, p. 2438.

_____. Decreto Legislativo no 45, de 1967. Aprova a Convenção relativa à Organização Hidrográfica Internacional, assinada em Mônaco, a 3 de maio de 1967. Diário Oficial da União. 1967b, p. 12072.

_____. Decreto no 68.106, de 25 de janeiro de 1971. Manda executar a Convenção sobre a Organização Hidrográfica Internacional. Diário Oficial da União. 1971, p. 705.

_____. Decreto no 92.610, de 2 de maio de 1986. Promulga o Protocolo de 1978 relativo à Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar de 1974. Diário Oficial da União. 1986, p. 6379.

_____. Decreto Legislativo no 608, de 2009. Aprova o texto do Protocolo de Emendas à Convenção da Organização Hidrográfica Internacional. Diário Oficial da União. 2009.

DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação). Estratégia para Implementação no âmbito da Diretoria de Hidrografia e Navegação do Conceito de e-Navigation. Marinha do Brasil, 2020.



HARMON, C. A., AMEELE, V. D. The End of Traditional Paper Charts: The Final Transition to Eletronic Navigational Charts. NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). International Hydrographic Review, 2022.

IC-ENC (International Centre for Electronic Navigational Charts). Circular Letter N° 01/2024. IHO (International Hydrographic Organization) S-57 – IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data: Monaco, the Principality of Monaco, 2000.

_____. S-100 – IHO Universal Hydrographic Data Model: Monaco, the Principality of Monaco, 2022.

_____. Roadmap for the S-100 Implementation Decade, version 3.0, October 2023. Disponível em: < <https://iho.int/en/s-100-implementation-strategy> >. Acesso em: 9 fev. 2024.

_____. S-101 – ENC Product Specification: Monaco, the Principality of Monaco, 2023.

IMO (International Maritime Organization). International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974/1988. Disponível em: < [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx) >. Acesso em: 25 mar. 2018.

KHOA (Korea Hydrographic and Oceanographic Agency) Much More Than Just Nautical Charts, 2010. Disponível em: < https://iho.int/uploads/user/Services%20and%20Standards/S-100WG/MISC/IHO_S-100brochure_final_11-5-17.pdf?t=1597321279 >. Acesso em: 9 fev. 2024.

MACEDO C. A. C. A contribuição da hidrografia para a economia brasileira. O Estado de São Paulo (versão online), 28/09/2023. Disponível em: < <https://www.estadao.com.br/opiniao/espaco-aberto/a-contribuicao-da-hidrografia-para-a-economia-brasileira/> >. Acesso em: 05 fev. 2024.

NYBERG, J., HARMON, C., PE'ERI, D. S., CATOIRE, S. An overview of the NOAA ENC Re-Scheming plan. The International Hydrographic Review, Monaco, vol.24, pg 07-20, 2020.

PEM 2040 - Plano Estratégico da Marinha. Marinha do Brasil. Estado-Maior da Armada, Brasília, 2020.

POWELL, J. The New Electronic Chart Product Specification S-101: An Overview. TransNav -International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 2011.

POWELL, J. S-101 - The new IHO Electronic Navigational Chart Product Specification. Hydro International, 2014. Disponível em: <https://www.hydro-international.com/content/news/s-101-the-new-iho-electronic-navigational-chart-product-specification-3> >. Acesso em: 8 fev. 2024.

WARD, R. IHO S-100. Hydro International, 2008. Disponível em <<https://www.hydro-international.com/content/article/iho-s-100> > Acesso em: 9 fev. 2024.

VII – EFEMÉRIDES HIDROGRÁFICAS

GRUPAMENTO DE NAVIOS HIDROCEANOGRÁFICOS (GNHo)

AVISO DE PESQUISA HIDROCEANOGRÁFICO "ASPIRANTE MOURA"

De 25 de abril a 4 de maio e de 6 a 13 de dezembro, o navio realizou aquisição de dados oceanográficos, no entorno da Ilha do Cabo Frio, em apoio ao Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM). No segundo período, o navio realizou lançamento de Glider. O equipamento permaneceu submerso por 7 dias, perfazendo 43 milhas náuticas.

De 7 de novembro a 1º de dezembro, o navio realizou o Levantamento Hidroceanoográfico de Fim de Curso (LHFC-2023) na Baía de Guanabara, a fim de apoiar instruções aos futuros hidrógrafos, Oficiais e Praças. Ademais, foram realizados, em proveito, novos testes com AUV e os primeiros testes com Glider realizados exclusivamente por pessoal do CHM.

NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO FAROLEIRO "ALMIRANTE GRAÇA ARANHA"

No dia 20 de julho de 2023, o navio realizou comissão de apoio ao CHM, para treinamento com o equipamento "Glider", com seu lançamento e recolhimento, contando com o embarque de seis militares do CHM, oito servidores da empresa Ocean Pact, dois servidores da empresa Teledyne e um servidor da Petrobras.

Entre os dias 25 e 27 de julho de 2023, o navio realizou a comissão "APOIO AO CHM II" com o recolhimento de boia do

tipo "Axys", do Programa Nacional de Boias (PNBOIA), que se encontrava à deriva, na área da Bacia de Santos-SP.

Entre os dias 12 e 29 de setembro de 2023, o navio realizou a comissão "PRO-TRINDADE V", realizando o transporte de treze pesquisadores, a fim de atender ao Programa de Pesquisas Científicas na Ilha da Trindade, além de efetuar o lançamento de boia ondógrafo "Spotter" nas proximidades da Enseada dos Portugueses.



NAVIO DE APOIO OCEANOGRÁFICO "ARY RONGEL"

🌀 Durante a execução das Operações Antártica (OPERANTAR) XLI e XLII, destacaram-se, dentre as atividades realizadas ao longo de 2023, o lançamento e recolhimento de acampamentos de pesquisa científica na Antártica, nas Ilhas Livingston e Marambio (XLI), e o lançamento de acampamentos nas Ilhas James Ross e Vega (XLII). Além disso, a execução de dois Levantamentos Hidrográficos (LH) no Estreito de Bransfield, que corresponderam a uma área sondada de 1710,93 km² em fevereiro e 1754,78 km² em novembro, em cumprimento ao Plano de Trabalho de Hidrografia da Diretoria de Hidrografia e Navegação (PTHidro DHN), contribuíram para gerar elementos para a produção das cartas náuticas 9151 e 9152 na Antártica.

🌀 Na manhã do dia 2 de março, durante a Operantar XLI, o NApOc "Ary Rongel" cruzou o Círculo Polar Antártico, na latitude 66° 33' 30" S nas proximidades da Ilha Adelaide, após atravessar o estreito

de Gerlache, localizado a noroeste da Península Antártica. O último registro dessa travessia foi há mais de duas décadas e ressalta que os ensinamentos colhidos naquela ocasião foram mantidos, aperfeiçoados e ora aplicados, denotando a capacidade operacional da Marinha do Brasil na região austral.

🌀 O Comandante, Capitão de Mar e Guerra Fabiano de Medeiros Ichayo, ressaltou que o principal desafio na travessia foi navegar por canais estreitos e com intensa presença de gelo marinho, onde o detalhamento da cartografia ainda é limitado, e sob condições meteorológicas adversas, com ventos fortes e visibilidade reduzida. Disse o comandante: "As janelas meteorológicas favoráveis são encurtadas à medida que se navega mais para o Sul, bem como aumenta a presença de gelo no mar, especialmente nos estreitos, como é o caso de Gerlache".

NAVIO HIDROCEANOGRÁFICO "TAURUS"

🌀 No período de 10 de junho a 21 de novembro, o NHo "Taurus" realizou o Levantamento Hidrográfico nas proximidades do Porto de Salvador-BA, sondando uma área 138,1 quilômetros quadrados, utilizando o ecobatímetro multifeixe EM-710, a fim de coletar dados batimétricos para subsidiar a criação da Carta

Náutica nº 1111, contribuindo para a Segurança da Navegação na área, bem como o desenvolvimento econômico e social da região.

🌀 Foi a primeira vez que o multifeixe EM-710 foi utilizado com a finalidade de adquirir dados para atualização cartográfica.



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

🌐 No dia 5 de setembro, o CIAARA promoveu, com apoio da Praticagem do Rio de Janeiro, o Simpósio Acadêmico “Manobra e Navegação: ensino em ambiente simulado”, como parte da programação especial alusiva ao Dia do Hidrógrafo, celebrado em 28 de setembro. O evento explorou e debateu as capacidades da simulação em computadores para o aprimoramento do conhecimento a respeito de navegação e manobra de plataformas no mar, junto às Organizações Militares do Sistema de Ensino Naval, Ensino Profissional Marítimo e outras instituições interessadas. Coordenado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), foi o primeiro simpósio sobre o tema. Cerca de 90 pessoas, entre militares e civis, participaram presencialmente e 23 grupos por meio de transmissão ao vivo.

🌐 No dia 19 de setembro, o CIAARA realizou cerimônia alusiva ao descerramento da placa de 40 anos da turma do CAHO de 1983. Na ocasião, esteve presente o Vice-Almirante CARLOS ANDRÉ CORONHA MACEDO, Diretor de Hidrografia e Navegação. Logo após as palavras do orador da turma, Capitão de Mar e Guerra CARLOS MIGUEL PASSERI HANSEN, ocorreu o descerramento da placa alusiva à data no portaló do CIAARA.

🌐 No dia 6 de outubro, o CIAARA formou a primeira turma do Curso Expedito de Meteorologia e Oceanografia para Oficiais na modalidade semipresencial (C-Exp-ME-TOC-OF-SP), que tem como propósito complementar a capacitação técnico-profissional de Oficiais para a aplicação de conhecimentos de Meteorologia e Oceanografia no planejamento e execução das Operações Navais. O Curso, que era realizado anualmente apenas de forma presencial, passou a contar com uma turma semipresencial no Programa de Ensino (PROENS) do CIAARA.

🌐 No período de 9 a 18 de outubro, o CIAARA recebeu a Comissão de Avaliação do Sistema de Ensino Naval (CAS) da Diretoria de Ensino da Marinha (DEnsM) para realização da Avaliação Externa. Na ocasião, o Diretor de Ensino da Marinha, Vice-Almirante HUMBERTO CALDAS DA SILVEIRA JUNIOR, foi recebido pelo Ex-Comandante do CIAARA, Capitão de Mar e Guerra DANTE JOSÉ DE ANDRADE ALEXANDRE. O CIAARA obteve a pontuação global de 951 pontos dentre os 1.000 pontos possíveis, o que significou um relevante aumento de 81 pontos em relação à Avaliação Externa anterior.



CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA (CHM)

Em março de 2023, a Base de Dados Cartográficos (BDCart) foi atualizada da versão 3.2 para a versão 4.1.35, do CARIS HPD (Hydrographic Production Database). Esta nova versão possui uma ferramenta em teste para a conversão de dados do formato S-57 para o S-101, possibilitando a geração de protótipos de produtos. Tal atualização de software proporciona o aprimoramento da base de dados, visando à preparação dos novos produtos da família S-100.

Em maio de 2023 foi recebida a primeira unidade de veículo autônomo submerso, Glider, como parte do projeto REMO Observacional. Em julho de 2023 foi realizado o treinamento, pela Teledyne, fabricante do equipamento, para formação de equipes de manutenção e pilotagem nas instalações da OceanPact, por meio de uma parceria com a empresa.

Em junho de 2023 foi instalada a primeira estação maregráfica no cais do Comando do 3º Distrito Naval, como parte da rede GLOSS-Brasil. Dessa maneira, além de realizar medição permanente do nível do mar em cumprimento ao propósito do programa, essa estação contribui para realização de levantamentos hidrográficos na área do porto de Natal-RN e da Base Naval de Natal.

Em agosto de 2023, foram lançadas duas boias de aquisição de dados meteorocceanográficos, na Baía de Campos, com o apoio do NOc "Antares", previstos no plano de trabalho do projeto REMO Observacional. Esses dois lançamentos, juntamente com outras duas boias lançadas em dezembro de 2022, marcam a conclusão de mais uma fase do referido projeto. Em dezembro de 2023, por ocasião da comissão Ressurgência realizada a bordo do AvPqHo "Aspirante Moura", o Glider foi empregado pela primeira vez para coleta sistemática de dados oceanográficos. Ao todo, o equipamento permaneceu 6 dias em operação, realizando perfis verticais de Cabo Frio até as proximidades do Rio de Janeiro. Os dados coletados são de temperatura, salinidade, pressão, oxigênio dissolvido e níveis de hidrocarbonetos. O emprego do Glider visa contribuir para o aprimoramento dos produtos que fazem parte do Serviço Meteorológico Marinho, em benefício da segurança da navegação e salvaguarda da vida humana no mar na METAREA V.

Em 26 de setembro de 2023, como reconhecimento ao sucesso no emprego de Aeronave Remotamente Pilotadas (ARP) em levantamentos hidrográficos, o CHM foi premiado no VIII Simpósio de Práticas de



Gestão, na categoria Prêmio Inovação. O CHM iniciou a coleta de dados de contorno para as cartas náuticas com drones em Setembro de 2022 e, até o presente momento, foram coletados dados em São Francisco do Sul-SC, Recife-PE, Salvador-BA, Maceió-AL e Natal-RN. A ARP passou a ser empregada em substituição ao Sistema Aerotransportado de Aquisição e Pós-Processamento de Imagens (SAAPI-MAR).

Em setembro e novembro de 2023 foram realizados testes com o AUV (Autonomous Underwater Vehicle) REMUS-100S, do CHM, e os dados coletados com o sonar de varredura lateral e com o ecobatímetro interferométrico foram considerados satisfatórios. O propósito do CHM é empregar esse equipamento em atividades que possam aprimorar as informações de segurança na NAVAREA V e na Antártica.

SERVIÇO DE SINALIZAÇÃO NÁUTICA DO LESTE (SSN-2)

No dia 5 de junho de 2023 o Farol de Santo Antônio, o farol mais antigo em operação na costa brasileira e popularmente conhecido como Farol da Barra, recebeu o prêmio de "Farol Patrimônio do Ano IALA" devido à

sua significativa relevância histórica, social e cultural para a região e o Brasil como um todo. Na concorrência internacional, o Farol operado pelo Serviço de Sinalização Náutica do Leste enfrentou faróis de 16 países.

CENTRO DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO DO OESTE (CHN-6)

Em 8 de novembro de 2023, o Centro de Hidrografia e Navegação do Oeste (CHN-6) recebeu sua primeira recomendação de manutenção do certificado ISO 9001:2015, após auditoria do Organismo Nacional de Certificação (ONC). Ressalta-se que ao término da avaliação, não foram constatadas inconformidades e o CHN-6 recebeu 2 menções honrosas nos processos avaliados.

O sucesso obtido resultou no reconhecimento da qualidade de gestão e da excelência operacional, refletido no aprimoramento das atividades de análise de dados hidrográficos e a geração de elementos, para construção e atualização de cartas náuticas, somente alcançada pelo engajamento de toda a tripulação.

20ª CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DA IALA



Público reunido na abertura da Exibição Industrial da 20ª Conferência Internacional da IALA

Entre 29 de maio e 3 de junho de 2023, autoridades marítimas, especialistas em auxílios à navegação marítima e representantes da indústria do setor de diversas partes do mundo reuniram-se para discutir as necessidades atuais e futuras da área na 20ª Conferência Internacional da *International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities* (IALA). O evento ocorreu no Centro de Convenções & Hotéis Windsor, na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro-RJ.

As atividades tiveram início no fim de semana anterior, com o 4º Seminário da IALA sobre a Preservação do Patrimônio Histórico e Cultural dos Auxílios à Navegação e o Seminário Pré-Conferência da *IALA World-Wide Academy*. A partir da abertura oficial, no dia 29 de maio, começaram as apresentações, que totalizaram 140 sessões técnicas, divididas entre o auditório principal e um ambiente paralelo chamado *Speaker's Corner*. Em ambos os locais, foi possível conferir os trabalhos empreendidos por especialistas e participar de uma rica troca de conhecimentos propiciada pelo público presente.

A Exibição Industrial, também parte da programação, foi sucesso de público, reunindo 38 empresas expositoras, de 15 países, as quais ocuparam uma área de quase 2 mil m².



No espaço, os participantes da Conferência conheceram os últimos desenvolvimentos em auxílios à navegação marítima, incluindo a tecnologia do *Vessel Traffic Service* (VTS), sistema para o monitoramento do tráfego de embarcações.



Público reunido na abertura da Exibição Industrial da 20ª Conferência Internacional da IALA

O Assessor da Diretoria de Hidrografia e Navegação para Assuntos da IALA e Diretor da 20ª Conferência, Capitão de Mar e Guerra Alberto Piovesana Júnior, foi proposto pelo Secretariado da IALA e aceito pelo Conselho, na 78ª Sessão, realizada em 3 de junho, como Membro Honorário da associação. Para ele, o fato de o Brasil ter sediado o evento foi uma oportunidade ímpar: “Tivemos a chance de que um maior número de brasileiros acompanhasse o estado da arte nesse relevante campo da indústria marítima. Tivemos, ainda, a possibilidade de apresentar a importantes e influentes representantes estrangeiros uma mensagem positiva sobre diversos aspectos do país, evidenciando o nosso compromisso com a segurança da navegação regional e global”.

A Conferência teve, ainda, como programação paralela para apresentar o Brasil, atividades de caráter sociocultural. O *Partner's Program*, voltado especialmente para os acompanhantes dos delegados participantes da Conferência, ressaltou aspectos culturais, sociais e turísticos da cidade do Rio de Janeiro, gerando retorno de imagem para o país.

Adicionalmente, foi realizada a Exposição Fotográfica “Augustin-Jean Fresnel” no Centro de Convenções & Hotéis Windsor, retratando diferentes faróis pelo mundo que usam as famosas lentes; e a Visita Virtual ao Farol da Ilha Rasa, com tecnologia de realidade aumentada para proporcionar aos visitantes a sensação de estar na ilha.



Salas da Exposição Fotográfica “Augustin-Jean Fresnel” e da Visita Virtual ao Farol da Ilha Rasa



No último dia da Conferência, durante a 78ª Sessão do Conselho da IALA, o Contra-Almirante Marcos Almeida foi eleito, por unanimidade, Presidente da entidade. Ele destacou que as perspectivas para os próximos anos no campo dos auxílios à navegação (AtoN) são animadoras: “Existem grandes expectativas em andamento, em particular, com a rápida evolução das tecnologias digitais e da inteligência artificial, o que poderá ter um grande impacto nos AtoN e nas tecnologias envolvidas. No entanto, a maior expectativa atual é a transformação da IALA em organização intergovernamental e os possíveis reflexos na sua forma de atuação”.

Na avaliação do Secretário-Geral da IALA, o dinamarquês Francis Zachariae, o evento sediado no Brasil atendeu aos objetivos e anseios da associação. “Tivemos uma semana incrível no Rio de Janeiro, de muito êxito para a IALA. Como de costume, quando os membros da IALA se reúnem, é impressionante a grandeza e a variedade do conhecimento compartilhado. As conclusões da 20ª Conferência nos deixaram bastante entusiasmados para os trabalhos vindouros, até a próxima edição, em 2027”, relatou.

A Marinha do Brasil foi responsável por preparar e organizar a 20ª Conferência Internacional da IALA. O evento contou com os seguintes patrocínios oficiais: ITAIPU Binacional, Vale, Porto do Açu, AMS Group, Leonardo, Sealite/Sabik, Mediterraneo Señales Marítimas (MSM), Arbo Plástico, International Foundation for Aids to Navigation (IFAN), Conselho Nacional de Praticagem (CONAPRA), Syndarma e CS Marítimas.

A Conferência recebeu, pela realização, o selo Carbono Neutro do Programa “O’Green de Descarbonização”, que consiste na neutralização dos gases do efeito estufa (GEEs) emitidos, por meio da compra de créditos de carbono de projetos validados pela Organização das Nações Unidas (ONU), os quais capturam ou evitam a emissão de GEE.

A 21ª Conferência Internacional da IALA será em Mumbai, na Índia, em 2027. A cerimônia de encerramento marcou a passagem da responsabilidade à Delegação Indiana.



Foto Oficial da 20ª Conferência Internacional da IALA



Representante da Delegação Indiana recebe bandeira da IALA do novo Presidente da associação





DHN – CASA D´ARMAS DA PONTA DA ARMAÇÃO

“Sou Hidrógrafo em tempo de paz, mas em tempo de guerra reivindico meus foros de oficial combatente e, por isso, me apresso em solicitar a V. Exa. permissão para conduzir o navio sob meu comando ao porto do Rio de Janeiro a fim de completar sua artilharia e munições bélicas e partir para o Rio da Prata e incorporar-me à divisão em operações”.

(Von Hoonholtz, Barão de Teffé)



Acesse os Anais Hidrográficos pelo código QR
ou em: <https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=pt-br/anais-hidrograficos>.