



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA INSTITUTO DE GEOCIENCIAS PROGRAMA
DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

BÁRBARA TEREZA SOUZA PEDREGAL

**DESEMPENHO DE SISTEMAS INTERFEROMÉTRICOS EM AMBIENTES
COSTEIROS SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE AQUISIÇÃO: ESTUDO DE CASO
NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS.**

SALVADOR-BA

2025

BÁRBARA TEREZA SOUZA PEDREGAL

**DESEMPENHO DE SISTEMAS INTERFEROMÉTRICOS EM AMBIENTES
COSTEIROS SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE AQUISIÇÃO: ESTUDO DE CASO
NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS.**

Trabalho de conclusão de curso de Oceanografia da Universidade
Federal da Bahia como requisito para obtenção de bacharelado
em oceanografia

Orientador Prof. Dr. Arthur Antônio
Machado

Coorientadora Msc. Anita Oliveira

SALVADOR-BA

2025

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	9
3 METODOLOGIA	10
3.1 Área de estudo	10
3.2 Levantamento Hidrográfico (LH)	11
3.2.1 Embarcações utilizadas	11
3.2.2 Equipamentos utilizados	12
3.2.3 Parâmetros operacionais	13
3.3 Fluxograma	14
3.4 Processamento dos dados no <i>SonarWIZ7</i>	15
3.5 Critérios e procedimentos de análise da qualidade dos dados	15
3.6 Classificação da qualidade e apresentação dos resultados	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 Perfis batimétricos de Norte a Sul	18
4.2 REGIÃO DOS NAUFRÁGIOS (AGENOR GORDILHO E VEGA)	20
4.2.2 Batimetria campanha 1 e 2 naufrágios	24
4.2.3 Sonografia campanha 1 e 2 naufrágios	28
4.2.4 Retroespalhamento campanha 1 e 2 naufrágios	34
4.3 REGIÃO DO CANAL DE ITAPARICA (CDI)	38
4.3.1 Condições operacionais e ambientais campanha 1 e 2 do Canal de Itaparica (CDI)	38
4.3.1.1 Batimetria campanha 1 e 2 Canal de Itaparica	42
4.3.1.2 Sonografia campanha 1 e 2 Canal de Itaparica	46
4.3.1.3 Retroespalhamento campanha 1 e 2 Canal de Itaparica	49
4.3.1.4 Análise granulométrica com a sonografia	51
5 CONCLUSÃO	52
6 REFERÊNCIAS	54

LISTA DE FUGURAS

Figura 1 - Eixos de atitude de uma embarcação.....	9
Figura 2 - Mapa de localização do estudo. Destacados estão o local das campanhas no Canal de Itaparica (ponto preto a esquerda), A Boia do SiMCosta (símbolo conforme NORMAM-17/DHN, em amarelo), Naufrágios (símbolo conforme NORMAM-17/DHN, em preto; a esquerda encontra-se o Ferry-Boat "Agenor Gordilho" e a direita o rebocador "Vega".	10
Figura 3 - Mapa das litofáceis da Baía de Todos os Santos. Modificado de Lessa e Dias (2009).....	11
Figura 4 - Embarcações utilizadas nas campanhas de LH.	12
Figura 5 - Equipamentos utilizados no LH.	13
Figura 6 - Corte em perfil em metros de Norte a Sul do Nauf1 embarcação Marenostrom.	19
Figura 7 - Corte em perfil em metros de Norte a Sul do Nauf2 embarcação ParaguaçuXI.	19
Figura 8 - Corte em perfil em metros de Norte a Sul do Cdi1 embarcação Grauçalll.....	19
Figura 9 - Corte em perfil em metros de Norte a Sul do Cdi2 embarcação Grauçalll.....	19
Figura 10 -Gráficos de dados ambientais/oceanográficos plotados respectivamente de vento (m/s), corrente (kt) e ondulação (m) obtidos pelo www.Simcosta.com.br durante a campanha1 (20/08/2020) de aquisição na região dos naufrágios.....	20
Figura 11 - Gráficos de dados ambientais/oceanográficos plotados respectivamente de vento (m/s), corrente (kt) e ondulação (m) obtidos pelo www.Simcosta.com.br durante a campanha 2 (08/03/2023) de aquisição na região dos naufrágios.	22
Figura 12 - Gráfico de atitude Heading da embarcação Marenostrom naufrágio campanha 1.....	23
Figura 13 - Gráfico de atitude Heading da embarcação Paraguaçu XI naufrágio campanha 2.....	23
Figura 14 - Zoom batimetria nauf1.....	25
Figura 15 - Linha de navegação com guinadas bruscas.	26
Figura 16 - Zoom batimetria nauf2.....	27
Figura 17 -Imagem de sonografia da campanha 2 dos naufrágios com o processamento ideal.	29
Figura 18 - Zoom sonografia nauf1.....	30
Figura 19 - Zoom sonografia nauf2.....	31
Figura 20 - Sonografia Agenor Gordilho campanha 1 dos Naufrágios.	33

Figura 21 - Sonografia Vega campanha 1	33
Figura 22 - Screenshot do contact com as medidas no Sonarwiz7 do naufrágio Agenor Gordilho correspondendo com as medidas apresentadas pelo www.naufragiosbrasil.com.br (comprimento 69 metros e 13,5 de boca) + a foto do afundamento; Fonte: www.naufragiosdobrasil.com	34
Figura 23 - Zoom retroespalhamento nauf1.....	36
Figura 24 - Zoom retroespalhamento nauf2.....	37
Figura 25 - Gráficos da regressão linear entre direção e velocidade do vento.	39
Figura 26 - Gráficos de dados ambientais plotados por MATLAB e Python durante as campanha1 (01 e 02/08/2024) de aquisição na região do CDI.	39
Figura 27 - Gráficos de dados ambientais plotados por MATLAB e Python durante as campanha2 (11/06/2024) de aquisição na região do CDI.	40
Figura 28 - Gráfico de atitude Heading da embarcação GrauçáIII na campanha 1	41
Figura 29 - Gráfico da atitude Heading da embarcação GrauçáIII campanha 2.....	41
Figura 30 - Zoom batimetria Cdl1	44
Figura 31 - Estrutura antrópica Canal de Itaparica campanha 2	45
Figura 32 - Water fall do grid batimétrico Canal de Itaparica campanha 1.	46
Figura 33 - Nadir Cdl2	47
Figura 34 - - Nuvem de pontos e sonografia da estrutura antrópica do Canal de Itaparica campanha 1	48
Figura 35 - Granulometria Cdl1	52
Figura 36 - Granulometria Nauf1	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros das sondagens por campanha.	13
Tabela 2 - Critérios de avaliação de qualidade dos dados por tipo de dado acústico.	15
Tabela 3 - Critérios de avaliação de qualidade dos produtos.....	16
Tabela 4 - Classificação de qualidade.	17
Tabela 5 - Comparação visual dos dados batimétricos brutos e pós-tratamento (Naufrágios Agenor Gordilho e Vega).....	24
Tabela 6 - Comparação dos resultados de batimetria das campanhas 1 e 2 dos naufrágios	27
Tabela 7 - Comparação visual dos dados sonográficos brutos e pós-tratamento (Naufrágios Agenor Gordilho e Vega).....	28
Tabela 8 - Comparação dos resultados de sonografia das campanhas 1 e 2 dos naufrágios	31
Tabela 9 - Comparação visual dos dados de retroespalhamento brutos e pós-tratamento (Naufrágios Agenor Gordilho e Vega).....	34
Tabela 10 - Comparação dos resultados de retroespalhamento das campanhas 1 e 2 dos naufrágios.	37
Tabela 11 - Comparação visual dos dados batimétricos brutos e pós-tratamento (CDI). .	42
Tabela 12 - Comparação dos resultados de batimetria das campanhas 1 e 2 do Canal de Itaparica	44
Tabela 13 - Comparação visual dos dados sonográficos brutos e pós-tratamento (CDI).	46
Tabela 14 - Comparação dos resultados de sonografia das campanhas 1 e 2 do Canal de Itaparica.	48
Tabela 15 - Comparação visual dos dados de retroespalhamento brutos e pós-tratamento (CDI).	49
Tabela 16 - Comparação dos resultados de retroespalhamento das campanhas 1 e 2 do Canal de Itaparica.	50

RESUMO

Este trabalho analisou a influência de variáveis ambientais, operacionais e técnicas na qualidade dos dados acústicos obtidos por sistemas interferométricos em ambientes costeiros, com estudo de caso na Baía de Todos os Santos (BA). Foram realizadas quatro campanhas de levantamento hidrográfico, duas na região dos naufrágios Agenor Gordilho e Vega, utilizando o sistema interferométrico EdgeTech 6205, e duas no Canal de Itaparica, com o sistema EdgeTech 4600. Os dados de batimetria, sonografia e retroespalhamento acústico foram avaliados quanto à sua continuidade, resolução e confiabilidade, e correlacionados com variáveis como a atitude da embarcação (incluindo vento, corrente e ondulação), o tipo de embarcação utilizada, a aplicação dos perfis de velocidade do som na coluna d'água (SVP), e a montagem/calibração dos equipamentos (resultados do *patch test*). Os resultados obtidos confirmaram que a instabilidade da embarcação, associada a condições ambientais adversas, é um dos principais fatores de degradação da qualidade dos dados, afetando especialmente a resolução lateral e a presença de ruído nos produtos. Observou-se também que o uso de SVP atualizados e calibrações adequadas via *patch test* são determinantes para a acurácia batimétrica. A comparação entre os dois sistemas demonstrou diferenças operacionais relevantes, relacionadas à montagem e à resposta do sensor em diferentes profundidades e feições. A integração entre batimetria, sonografia e retroespalhamento mostrou-se eficaz na validação cruzada dos dados e na identificação de inconsistências. O estudo contribui para o aprimoramento de práticas de aquisição e processamento de dados interferométricos, com aplicações diretas na oceanografia operacional, geofísica marinha e gestão costeira.

Palavras-chave: sistemas interferométricos, batimetria, sonografia, retroespalhamento acústico, Baía de Todos os Santos, qualidade de dados.

ABSTRACT

This study analysed the influence of environmental, operational, and technical variables on the quality of acoustic data obtained through interferometric systems in coastal environments, using the Baía de Todos os Santos (Bahia, Brazil) as a case study. Four hydrographic survey campaigns were conducted: two in the region of the shipwrecks Agenor Gordilho and Vega, using the Interferometer EdgeTech 6205 system, and two in the Itaparica Channel, employing the Interferometer EdgeTech 4600. Bathymetry, sonography, and acoustic backscatter data were evaluated in terms of continuity, resolution, and reliability, and correlated with variables such as vessel attitude (including wind, current, and wave action), vessel type, application of sound velocity profiles (SVP), and patch test calibration results. The findings confirmed that vessel instability under adverse environmental conditions is a key factor in data degradation, particularly affecting lateral resolution and noise levels. The use of updated SVPs and proper calibration was found to be critical for bathymetric accuracy. A comparison between the two systems revealed operational differences related to mounting configuration and sensor performance in varying depths. The integration of bathymetry, sonography, and backscatter data proved effective in cross-validating results and identifying inconsistencies. This study contributes to improving best practices in the acquisition and processing of interferometric data, with direct applications in operational oceanography, marine geophysics, and coastal management.

Keywords: interferometric systems, bathymetry, sonography, acoustic backscatter, Baía de Todos os Santos, data quality.

1 INTRODUÇÃO

Enquanto a superfície terrestre e a atmosfera são amplamente estudadas por meio de ondas eletromagnéticas, utilizadas em técnicas como radar, LIDAR e sensoriamento remoto orbital, o meio marinho representa um desafio particular. Devido à elevada condutividade da água, especialmente a salgada, as ondas eletromagnéticas sofrem forte atenuação, tornando-se ineficazes para investigações subaquáticas (CHAPMAN & ELEANOR, 2006). Esse fenômeno limita consideravelmente a aplicação de tecnologias eletromagnéticas em oceanografia na investigação detalhada do fundo marinho, abrindo espaço para a utilização de ondas acústicas como principal meio de propagação de energia e coleta de informações no meio aquático (AYRES NETO, 2001).

Assim, a geoacústica se consolida como área-chave da geofísica marinha, especialmente em regiões costeiras e estuarinas onde a complexidade ambiental exige técnicas precisas e eficientes. A geoacústica, ciência fundamentada nas leis da física, dedica-se ao estudo da Terra a partir da propagação de ondas acústicas e suas interações com os materiais geológicos (URICK, 1983). Tendo as principais ferramentas geofísicas empregadas na investigação do fundo e subfundo marinho (como a batimetria, a sonografia e a sísmica) operam com base no mesmo princípio físico: a emissão, propagação e reflexão de ondas acústicas entre meios com propriedades elásticas distintas, como a coluna d'água e os sedimentos marinhos (AYRES NETO, 2001).

A Baía de Todos os Santos (BTS), situada na capital do estado da Bahia, constitui uma das maiores baías do Brasil, com cerca de 1.233 km² de superfície e profundidades que variam entre 9 e 58 metros (GENZ; LESSA; CIRANO, 2006). A Baía de Todos os Santos é caracterizada por uma ampla variedade de fácies sedimentares de fundo, com ocorrência dominante de sedimentos terrígenos e biogênicos, cuja composição inclui areia, lama e associações mistas. (LESSA & DIAS, 2009). Além dos depósitos inconsolidados, identificam-se superfícies rígidas compostas por afloramentos de rochas cristalinas e sedimentares do Mesozoico, bem como estruturas recifais desenvolvidas em zonas elevadas do relevo submarino. Essa diversidade reflete a influência de processos hidrodinâmicos, da morfologia da plataforma interna e do contexto geológico regional vinculado à Bacia do Recôncavo (DOMINGUEZ & BITTENCOURT, 2009). Além da heterogeneidade do substrato, no entorno da BTS encontram-se cidades como Salvador, Itaparica, Madre de Deus, Aratu e Candeias, concentrando intensa atividade econômica, portuária, turística e ambiental (BISPO, 2019). Podemos associar à variabilidade hidrodinâmica e suas atividades, tornando-a um ambiente altamente complexo do ponto de vista acústico, sendo assim, a aquisição de dados precisos sobre o fundo marinho é fundamental para subsidiar ações de planejamento costeiro, segurança da navegação, instalação de infraestrutura portuária, monitoramento de habitats marinhos e gestão ambiental integrada.

Nesse contexto, os levantamentos batimétricos e os sistemas acústicos de imageamento se consolidam como ferramentas centrais para o melhor conhecimento da região. Durante o levantamento interferométrico, são obtidos três tipos principais de dados: batimetria, retroespalhamento acústico e imagem acústica. A batimetria representa a profundidade e o relevo do fundo marinho, sendo calculada a partir da diferença de fase entre os sinais recebidos pelos transdutores. Isso resulta em uma estimativa altamente precisa da distância até o fundo, possibilitando a construção de modelos tridimensionais detalhados da topografia submarina, representados por nuvens de pontos com coordenadas X, Y e Z, que revelam feições como vales, canais, zonas de erosão/acumulação, bancos, etc (JESUS; LUGON JUNIOR; FERREIRA, 2015).

O retroespalhamento acústico, por sua vez, mede a quantidade de energia que retorna ao transdutor após atingir o fundo, e essa intensidade depende do tipo de sedimento (ex: lama, areia, cascalho, rocha) e do ângulo de incidência do feixe acústico (PINHO et al., 2011). Já a imagem acústica (sonografia), também chamada de Sonografia de Linha de Intensidade (SLI) no interferômetro, é uma representação visual semelhante a uma fotografia, permitindo a identificação de feições morfológicas e objetos no leito marinho com base na variação de intensidade dos ecos e nas sombras acústicas (AYRES NETO, 2001). Esses três produtos são complementares e essenciais para uma análise integrada e precisa do ambiente marinho base essencial para modelagens numéricas, intervenções técnicas e pesquisas científicas aplicadas (FAKIRIS et al., 2019).

A utilização de sistemas interferométricos, como os modelos EdgeTech 6205 e EdgeTech 4600, viabiliza a coleta simultânea desses produtos, favorecendo análises mais eficientes e completas, especialmente em ambientes costeiros rasos e de grande variabilidade hidrodinâmica. Contudo, a qualidade dos dados gerados por esses sistemas é altamente dependente de variáveis oceanográficas, técnicas e operacionais. Fatores como a atitude da embarcação (*Surge*: avanço longitudinal, *Sway*: deslocamento lateral - deriva, *Heave*: movimento vertical, *Roll*: rolamento em torno do eixo longitudinal - balanço, *Pitch*: cabeceio em torno do eixo transversal e *Yaw*: guinada em torno do eixo vertical). Os eixos de referência (x, y, z) estão centrados no ponto C, próximo ao centro de gravidade (G) associadas as condições de maré, vento, corrente e ondulação, a montagem e calibração dos sensores e até mesmo o tipo de embarcação utilizada podem afetar significativamente a resolução, continuidade e acurácia dos dados obtidos (Figura 1). A compreensão dessas influências é essencial para o aprimoramento de metodologias de aquisição e tratamento de dados hidroacústicos em ambientes costeiros.

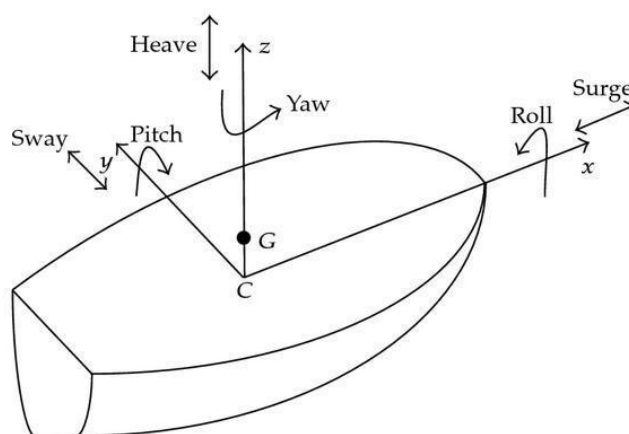


Figura 1 - Eixos de atitude de uma embarcação.

Em destaque temos o *heave*, que provoca variações na profundidade instantânea do sensor, modificando o *footprint* acústico — definido como a área efetiva de incidência do feixe sonoro sobre o leito, cuja dimensão e forma variam em função da profundidade, ângulo de emissão e movimentos da plataforma — e podendo afetar a geometria dos retornos. Já o *roll* altera a simetria do retorno acústico entre bombordo e estibordo, podendo resultar em sombras acústicas assimétricas ou diferenças de contraste entre os lados. Tais efeitos podem ser observados em faixas com variações de intensidade ou distorções, especialmente nos dados brutos e quando não há correção completa da atitude no processamento (EDGETECH, 2020).

Este trabalho justifica-se pela oportunidade de analisar tais variáveis em um contexto comparativo. Foram realizadas quatro campanhas de levantamento em duas áreas da Baía de Todos os Santos, utilizando dois sistemas interferométricos distintos (EdgeTech 6205 e 4600) e sob condições operacionais e ambientais diferentes. Essa abordagem permite observar com maior clareza os efeitos que cada variável exerce sobre os produtos finais da aquisição, contribuindo tanto para o avanço metodológico quanto para a formação de profissionais capacitados em operações *survey* e na interpretação de dados acústicos de alta resolução aplicados à oceanografia e à geofísica marinha.

2 OBJETIVOS

Diante desse cenário este trabalho tem como objetivo geral analisar os dados interferométricos obtidos em duas regiões da Baía de Todos os Santos — o Canal de Itaparica e os naufrágios Agenor Gordilho e Vega — e identificar os fatores que interferiram positivamente ou negativamente na qualidade final dos dados de batimetria, sonografia e retroespalhamento acústico. Para tanto, busca-se avaliar a influência da atitude da

embarcação sobre a resolução e continuidade dos dados acústicos; investigar o impacto da velocidade do som na coluna d'água na acurácia batimétrica; comparar a performance dos interferômetros EdgeTech 6205 e 4600 sob diferentes condições operacionais; e propor recomendações técnicas para otimização de campanhas hidrográficas em águas costeiras tropicais.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

A pesquisa foi conduzida na Baía de Todos os Santos (BTS) (Figura 2), situada na costa leste do estado da Bahia, Brasil. Com uma área aproximada de 1.233 km², a BTS é uma das maiores baías tropicais do país e uma das mais relevantes do ponto de vista geográfico, econômico e ecológico. Sua profundidade média é de aproximadamente 20 metros, com variações que vão de 9 metros nas regiões mais rasas a cerca de 58 metros nas áreas mais profundas. A baía possui uma abertura de cerca de 14 km para o oceano Atlântico e uma extensão de aproximadamente 50 km no sentido norte-sul.

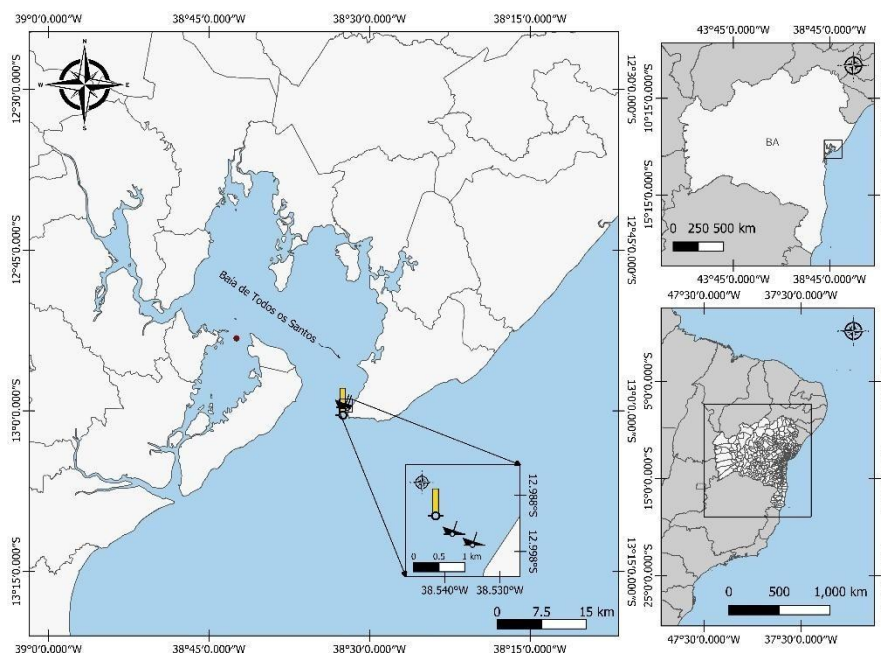


Figura 2 - Mapa de localização do estudo. Destacados estão o local das campanhas no Canal de Itaparica (ponto preto a esquerda), A Boia do SiMCosta (símbolo conforme NORMAM-17/DHN, em amarelo), Naufrágios (símbolo conforme NORMAM-17/DHN, em preto; a esquerda encontra-se o Ferry-Boat "Agenor Gordilho" e a direita o rebocador "Vega".

A área de estudo foi dividida em duas regiões de interesse estratégico: (i) o Canal de Itaparica, um trecho relativamente raso e estreito mais interno na BTS, com forte influência de correntes e marés, caracterizado por uso intensivo para navegação e serviços ecológicos e com fundo heterogêneo, e (ii) a região dos naufrágios Agenor Gordilho e Vega

(aproximadamente 500m de distância entre si), localizados em águas mais próximas a boca da BTS, com maior influência hidrodinâmica (Figura 3). Os naufrágios são estruturas metálicas no fundo marinho rodeadas por areia e muito utilizadas para o turismo de mergulho recreativo. A escolha dessas áreas permitiu a comparação de dados obtidos em ambientes contrastantes, tanto em termos oceanográficos quanto operacionais.

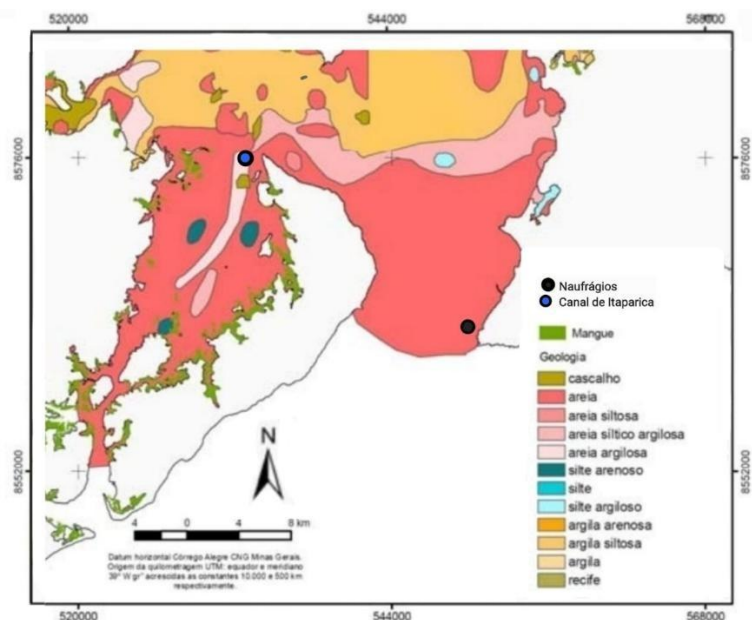


Figura 3 - Mapa das litofácies da Baía de Todos os Santos. Modificado de Lessa e Dias (2009).

Além de sua diversidade física, a BTS abriga uma série de atividades humanas que dependem diretamente da confiabilidade dos dados batimétricos e da caracterização precisa do leito marinho. Entre essas atividades, destacam-se a operação de portos como Aratu e Madre de Deus, a instalação de dutos e infraestruturas submarinas, o monitoramento ambiental, o turismo náutico, pesca e a pesquisa científica. Assim, a escolha da Baía de Todos os Santos como área de estudo está diretamente relacionada à sua relevância estratégica para a Oceanografia, Geofísica Marinha e Hidrografia Aplicada.

3.2 Levantamento Hidrográfico (LH)

3.2.1 Embarcações utilizadas

Embarcações utilizadas no LH tiveram como padrão de montagem de aquisição a haste do sonar fixadas na lateral do bordo. Assim padronizando a distribuição dos equipamentos a bordo. As embarcações são apresentadas abaixo em ordem da mais estável para a menos estável. (a) Marenosturm, (b) ParaguaçuXI e (C) GrauçãIII (Figura 4).



Figura 4 - Embarcações utilizadas nas campanhas de LH.

Hossain et al. (2023) investigaram o efeito do comprimento na estabilidade de embarcações e destacaram sua relevância no efeito da estabilidade, onde embarcações com maiores comprimentos são mais estáveis. Sendo assim a ParaguaçuXI a maior das embarcações e a mais estável por ter o maior comprimento de 16m e 5m de boca. VoogdClaessen et al. (2010) afirmaram que embarcações mais pesadas são mais estáveis, diante disso a Marenostrom e a GrauçãIII com as mesmas medidas de 10m de comprimento e 3m de boca, tem valores de estabilidade distintos. A Marenostrom é mais robusta e pesada do que a GrauçãIII o que a torna mais estável.

3.2.2 Equipamentos utilizados

Foram utilizados dois sistemas acústicos interferométricos distintos para a realização das campanhas de levantamento hidrográfico: o EdgeTech 6205 (A), aplicado nos levantamentos dos naufrágios Agenor Gordilho e Vega, e o EdgeTech 4600 (B), utilizado nos levantamentos no Canal de Itaparica. Nas campanhas dos naufrágios foi utilizado o sistema de posicionamento e atitude inercial (INS – Inertial Navigation Systems) Applanix POS MV WaveMaster II (C) e nas campanhas do Canal de Itaparica foi utilizado o sistema SBG Apogee-E (D) para compensação dos movimentos da embarcação. Para aquisição da velocidade do som na água do mar nas áreas mapeadas, foi utilizado um perfilador acústico (SVP - *Sound Velocity Profiler*) AML Base X2 (E) e para dados de maré, ondulação e corrente superficial o ADCP SonTek Argonaut® (F) foi utilizado para os dados do Canal de Itaparica (Figura 5). Referindo-se ao processamento, para todas as campanhas o *software SonarWiz7* foi utilizado para o processamento dos dados gerados pelos interferômetros. Para as campanhas do Cdl os dados de corrente superficial e maré obtidos pelo foram processados e gerados no MATLAB e Python e por fim os dados de maré utilizados para correção no pós-processamento nas campanhas dos naufragios foram obtidos da Estação Maregráfica F-41 40141 Capitania De Salvador – BA.



Figura 5 - Equipamentos utilizados no LH.

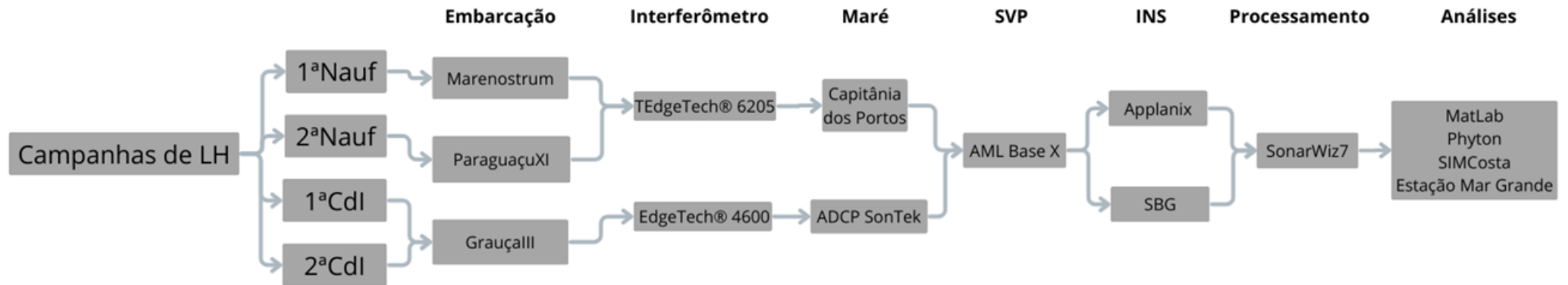
3.2.3 Parâmetros operacionais

A seguir, a Tabela 1 resume os principais parâmetros operacionais, sensores e configurações adotadas em cada campanha.

Tabela 1 -Parâmetros das sondagens por campanha.

Campanha	Sistema acústico	Frequência (kHz)	Embarcação	Patch Test Port Stbd (Pitch / Roll / Yaw) (Graus)
Naufrágios 1 (Nauf1)	Edge Tech 6205	550	Marenostrum	4,5 / 3,5 / 179 - 4,5 / -2,8 / -1
Naufrágios 2 (Nauf2) Canal de	Edge Tech 6205	550	Paraguassu XI	-3,50 / 1,2 / 1 -2 / 1,2 / -1
Itaparica 1 (Cdi1)	Edge Tech 4600	550	Grauçá III	1,5 / -4,7 / 1 -1,5 / -6,2 / -1
Canal de Itaparica 2 (Cdi2)	Edge Tech 4600	550	Grauçá III	3,7 / 3,5 / 178 -4,7 / - 2,3 / -1

3.3 Fluxograma



3.4 Processamento dos dados no SonarWIZ7

Os dados de batimetria e *side scan sonar* foram importados para o SonarWiz respectivamente em formato HXS e CSF. Após a importação o tratamento automático foi realizado. Para os dados de batimetria a aplicação dos filtros *Density Filter*, *Median Filter* e *Grid Surface Filter*, e para o *side scan sonar* as seções de *EGN*, *Nadir Filter*, *De-stripe Filter* foram habilitadas com suas devidas calibrações para melhores resultados nos dados. O tratamento manual veio em seguida para refinar ainda mais o dado tirando manualmente pontos da nuvem de pontos dos dados de batimetria. Evitando os *Spikes* e ruídos que ainda poderiam estar nos dados.

3.5 Critérios e procedimentos de análise da qualidade dos dados

Tabela 2 - Critérios de avaliação de qualidade dos dados por tipo de dado acústico.

Tipo de dado acústico	Aspectos considerados
Batimetria	Continuidade e densidade visual do mosaico, presença de ruídos (<i>spikes</i>), gaps ou falhas em feições do relevo, alinhamento e coerência entre linhas consecutivas, distorções ou deslocamentos verticais relacionados a atitude instável da embarcação ou SVP inadequado.
Sonografia	Clareza de feições morfológicas (ex: estruturas rochosas, naufrágios, dunas submersas), presença de sombras acústicas coerentes com o relevo ou objetos, ruídos laterais ou do Nadir, descontinuidade entre linhas ou distorções associadas à velocidade, profundidade ou atitude.
Retroespalhamento	Homogeneidade e coerência da distribuição de intensidade do sinal ao longo do fundo, ruídos nas bordas da faixa ou transições bruscas associadas a oscilação angular, falta de correspondência com padrões esperados de substrato.

A avaliação dos produtos acústicos foi realizada por inspeção visual direta no *software SonarWiz7*, com apoio de ferramentas internas de controle de qualidade e uso de filtros automáticos e manuais. Para a geração do modelo digital de terreno subaquático (grid batimétrico), foi utilizado o algoritmo CUBE (*Combined Uncertainty and Bathymetric Estimator*). Trata-se de uma técnica baseada em modelo de erro, que estima a profundidade média em cada célula da grade junto com um nível de incerteza associado. Em outras palavras, o CUBE não apenas calcula a profundidade mais provável em cada ponto do fundo

marinho, como também fornece uma medida estatística da confiabilidade dessa estimativa (CHESAPEAKE TECHNOLOGY, Inc., 2018).

Esse método é particularmente útil em ambientes com densidade variável de *pings* ou com ruídos de aquisição, pois o algoritmo considera a dispersão dos dados e outros fatores de incerteza ao consolidar os valores de profundidade. Assim, o produto final é um *grid* batimétrico que incorpora, de forma direta, tanto a estimativa do relevo submarino quanto a qualidade da informação disponível em cada nó da grade, aumentando a robustez da interpretação e o controle de qualidade dos dados. (CHESAPEAKE TECHNOLOGY, Inc., 2018).

A qualidade dos produtos foi analisada em relação às seguintes variáveis explicativas (tabela 3):

Tabela 3 - Critérios de avaliação de qualidade dos produtos.

Critérios	Detalhes
Atitude da embarcação	Parâmetros derivados do sensor inercial relacionados com padrões de ruído e distorção dos dados
Embarcação	Análise cruzada entre dimensões, estabilidade, atitude e qualidade dos dados.
Condições ambientais	Oriundos da boia meteo-oceanográfica BA-1 do sistema SiMCosta usados como referência para campanhas dos naufrágios, ADCP e estação Meteorológica de Mar Grande para o Canal de Itaparica
Montagem e calibração (Patch Test)	Campanhas comparadas quanto à precisão dos parâmetros de <i>pitch</i> , <i>roll</i> e <i>yaw</i> encontrados
Persistência de erros; Artefatos; Ruídos	Observados mesmo após calibração, atribuídos à qualidade ou limitação do <i>patch test</i> . Diferenças identificadas, incluindo perda parcial de dados em áreas com mar mais agitado, aumento de ruído angular e lateral em trechos com forte ondulação e discrepâncias na resolução longitudinal. Ruído marginal excessivo, falhas na cobertura lateral, ausência de sombras acústicas em sonografia e flutuações de intensidade no <i>backscatter</i> .
Cobertura e Continuidade	Distribuição das linhas de navegação no mosaico; <i>Gaps</i> – ausência de dados.

3.6 Classificação da qualidade e apresentação dos resultados

Para sistematizar os resultados, os dados analisados foram classificados em três categorias de qualidade:

Tabela 4 - Classificação de qualidade.

Qualidade	Descrição
Alta qualidade	dados contínuos, sem ruído relevante, com boa resolução e coerência entre os produtos
Média qualidade	presença moderada de ruído, pequenas falhas ou distorções, mas dados interpretáveis
Baixa qualidade	dados com lacunas, alta presença de artefatos ou distorções graves, dificultando a interpretação

Os resultados serão apresentados na forma comparativa por campanha e produto. Em trechos selecionados, serão mostrados exemplos visuais (*screenshots*) de feições bem definidas e áreas degradadas, acompanhadas de suas respectivas condições de aquisição e tratamento.

Este procedimento visa construir uma análise integrada da influência de fatores ambientais e operacionais sobre a performance dos sistemas interferométricos, em diferentes cenários de campo, contribuindo para o aprimoramento das boas práticas em levantamentos hidrográficos em águas costeiras tropicais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados interferométricos obtidos nas quatro campanhas realizadas na Baía de Todos os Santos é apresentada nesta seção. A organização foi feita por área de levantamento — inicialmente a região dos naufrágios Agenor Gordilho e Vega, seguida pelo Canal de Itaparica — e, dentro de cada área, os dados são discutidos por tipo de produto acústico: batimetria, sonografia e retroespalhamento acústico.

Para cada produto, foram avaliados os critérios definidos na metodologia (Seção 3.5). Esses dados foram correlacionados com as variáveis operacionais e ambientais, como a atitude da embarcação, a aplicação dos perfis de velocidade do som (SVP), a calibração dos equipamentos (*patch test*), o tipo de embarcação. Os resultados obtidos foram comparados entre as campanhas para identificar padrões, limitações, confirmações ou contradições em relação às hipóteses formuladas.

Será apresentado primeiramente os gráficos com os ruídos observados no perfil de N a S de cada LH para correlacionar os dados e a atitude da embarcação.

4.1 Perfis batimétricos de Norte a Sul

A análise comparativa entre os resultados do *Patch Test* e os perfis batimétricos obtidos nas diferentes campanhas evidencia contrastes importantes no que diz respeito à eficácia da calibração dos sistemas. O *Patch Test*, como etapa fundamental de levantamentos hidrográficos, tem a função de corrigir discrepâncias entre os sensores de navegação e o sistema sonar, ajustando parâmetros como *pitch*, *roll*, *yaw* e latência. Quando corretamente executado, espera-se que os valores de correção sejam reduzidos e consistentes, refletindo-se em linhas de aquisição bem sobrepostas, superfícies contínuas e ausência de descasamentos visíveis.

Nos levantamentos da Campanha 1 - Canal de Itaparica (figura 6) e naufrágios (figura 8) - os perfis batimétricos apresentaram maior consistência e menor descasamento entre linhas, sugerindo que o *Patch Test* foi conduzido de maneira satisfatória. A sobreposição das linhas ocorreu de forma adequada, sem indícios significativos de degraus ou distorções abruptas, o que contribuiu para um mosaico batimétrico homogêneo e tecnicamente confiável. Esses resultados indicam que os parâmetros de calibração aplicados foram eficientes na mitigação dos erros residuais, mesmo em um cenário de condições ambientais intensas.

Em contrapartida, a Campanha 2, especialmente no Canal de Itaparica (figura 9), apresentou maiores desajustes entre linhas consecutivas, com bordas mais marcadas e discrepâncias evidentes nos perfis batimétricos. Esses artefatos são indicativos de que o *Patch Test* não foi executado com a mesma eficácia, resultando em correções menos precisas dos parâmetros de calibração. Como consequência, persistiram erros residuais perceptíveis nos produtos finais, comprometendo a coerência geométrica do modelo digital de terreno.

Essa diferença entre campanhas demonstra que, embora a instrumentação e a embarcação tenham sido mantidas constantes, a qualidade do produto final está diretamente relacionada à precisão da calibração. Enquanto a Campanha 1 confirma a importância de um *Patch Test* bem ajustado para a confiabilidade dos dados, a Campanha 2 reforça que calibrações incompletas ou imprecisas podem amplificar os efeitos de instabilidades da embarcação e de condições ambientais mais intensas, resultando em descasamentos e artefatos que reduzem a qualidade final da base de dados.

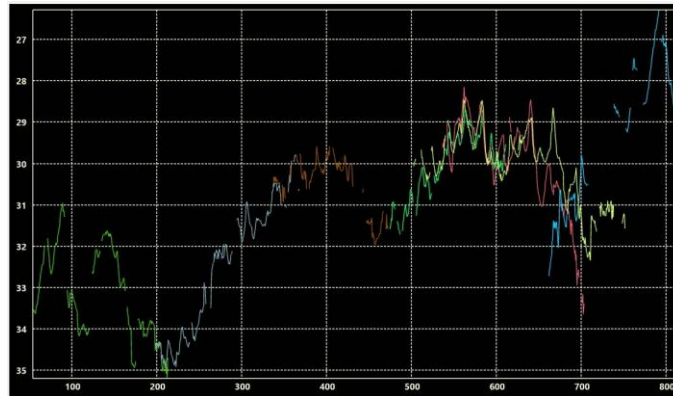


Figura 6 - Corte em perfil em metros de Norte a Sul do Nauf1 embarcação Marenostrum.

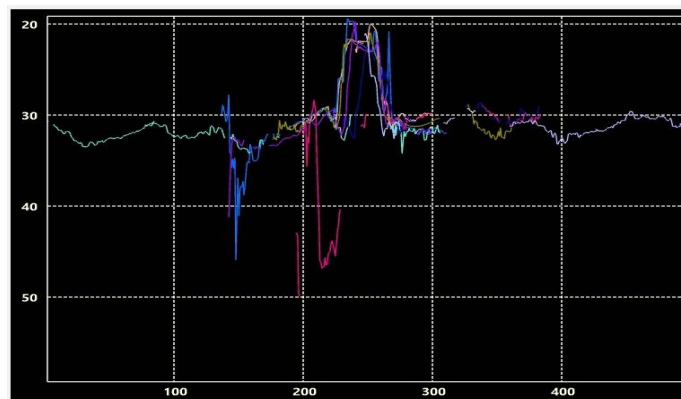


Figura 7 - Corte em perfil em metros de Norte a Sul do Nauf2 embarcação ParaguaçuXI.

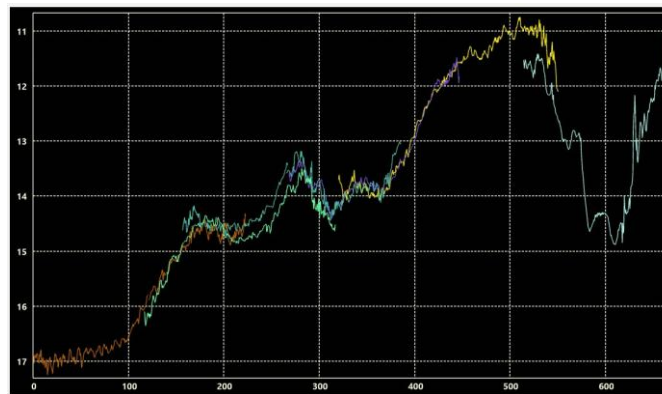


Figura 8 - Corte em perfil em metros de Norte a Sul do Cdi1 embarcação Grauçall

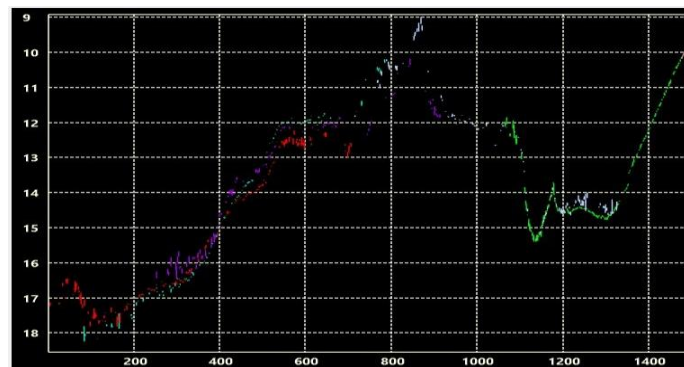


Figura 9 - Corte em perfil em metros de Norte a Sul do Cdi2 embarcação Grauçall

4.2 REGIÃO DOS NAUFRÁGIOS (AGENOR GORDILHO E VEGA)

4.2.1 Condições operacionais e ambientais campanha 1 e 2 naufrágios

Os fatores ambientais escolhidos para serem associados à estabilidade da embarcação foram descritos por Yu et al. (2022), que empregaram simulações URANS (*Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes*) em escala real para prever o comportamento dinâmico de embarcações sob a ação combinada de vento e ondas. Esse tipo de simulação numérica, amplamente utilizado em estudos de dinâmica dos fluidos computacional (CFD), permite estimar de forma detalhada como as forças ambientais interagem com o casco, afetando diretamente sua atitude (*roll*, *pitch* e *yaw*). Os resultados do estudo indicaram que a estabilidade transversal da embarcação é mais influenciada pelo conjunto de vento e ondas do que por qualquer variável isolada, reforçando que ambos os fatores devem ser considerados conjuntamente na previsão da resposta da embarcação ao movimento. Juntamente a esses dois fatores incluímos a corrente superficial onde Karapetyan, Moulton e Rekleitis (2019) demonstraram que na utilização de veículos autônomos de superfície no monitoramento ambiental em ambientes dinâmicos tem a trajetória influenciada pelas correntes superficiais e se não corrigida será imprimida nos dados coletados.

Respectivamente abaixo temos as condições ambientais de direção/intensidade do vento em m/s (a), direção/velocidade de corrente de superfície em kt (b) e direção/altura significativa de onda em metros (c) disponibilizados pela Boia BA-1 do SIMCosta referente a primeira campanha de LH da região dos naufrágios.



Figura 10 -Gráficos de dados ambientais/oceanográficos plotados respectivamente de vento (m/s), corrente (kt) e ondulação (m) obtidos pelo www.Simcosta.com.br durante a campanha1 (20/08/2020) de aquisição na região dos naufrágios.

Durante o levantamento, os ventos predominantes atuaram a partir do quadrante sudeste (SE), com velocidades variando até 10 m/s como indicado na rosa dos ventos. Considerando que as linhas de aquisição foram executadas de WNW a ESE e vice-versa, observa-se que o vento incidiu com ângulo de cruzamento entre aproximadamente 45° e 90° em relação ao trajeto da embarcação. Essa configuração caracteriza uma situação de vento lateral ou ligeiramente contrário, a qual pode induzir oscilações no *heading*, *pitch* e *no roll* da embarcação (YU et al., 2022). Como consequência, é possível que ocorram ruídos ou distorções nas bordas da faixa de imageamento, bem como na região do nadir (EDGETECH, 2020). Juntamente com o vento, perpendicularmente as linhas de navegação temos a ondulação proveniente do Sudoeste (SSW), com alturas entre 0 e 0,8 metros, também influenciando na atitude da embarcação. Mesmo com alturas de onda relativamente baixas, esses movimentos influenciam diretamente a estabilidade do sistema sonar, principalmente no que se refere ao ângulo de incidência dos feixes nas bordas do *swath* onde o ângulo de incidência dos feixes é mais crítico (YANG et al., 2024).

Corrente superficial predominante apresentou direção de sudeste (SSE), com velocidades variando entre 0 e 1,5 nós. Considerando a orientação das linhas de aquisição (WNW–ESE e ESE–WNW), a corrente atuou de forma favorável ao deslocamento da embarcação em algumas linhas (WNW–ESE) e contrária em outras (ESE–WNW). Na literatura, a interação entre corrente superficial e navegação da embarcação pode influenciar diretamente a densidade de *pings* adquiridos ao longo das linhas de levantamento. De acordo com Boyra et al. (2023), em situações em que a embarcação se desloca contra a corrente, ocorre um aumento da densidade de *pings* por unidade de distância quando ocorre o desaceleramento da embarcação, o que favorece uma maior resolução lateral. Em contrapartida, quando a embarcação navega a favor da corrente aumentando a sua velocidade, a densidade de amostragem tende a ser reduzida, podendo comprometer a definição de feições menores do fundo marinho. Essas diferenças, segundo a fabricante Edgetech (2020), podem se manifestar como variações sutis na clareza e nitidez entre linhas consecutivas navegadas em rumos opostos.

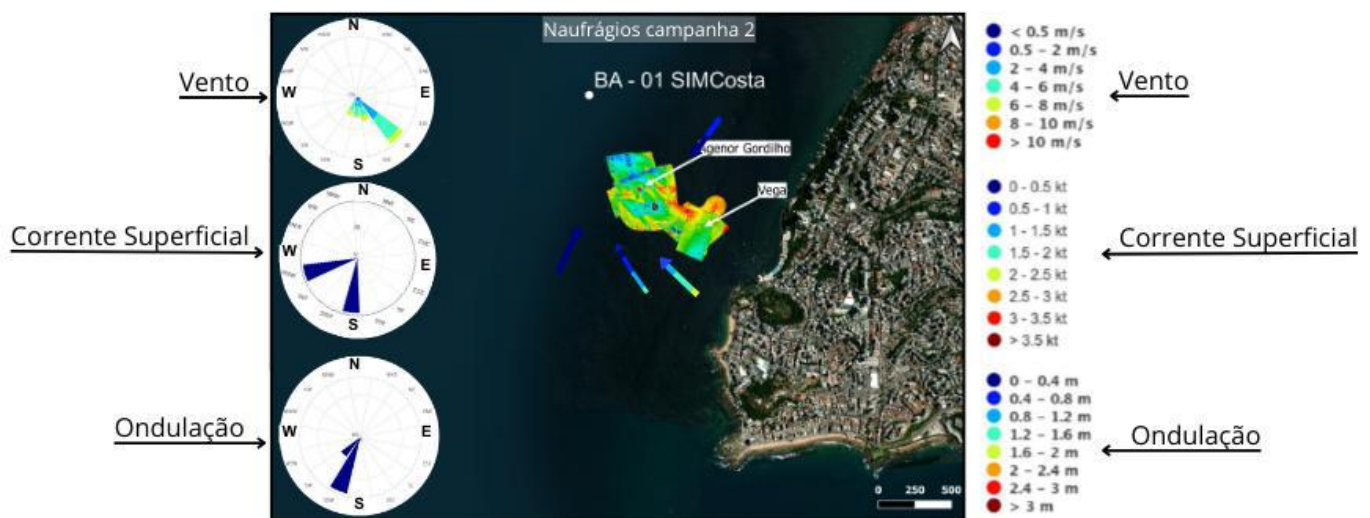


Figura 11 - Gráficos de dados ambientais/oceanográficos plotados respectivamente de vento (m/s), corrente (kt) e ondulação (m) obtidos pelo www.Simcosta.com.br durante a campanha 2 (08/03/2023) de aquisição na região dos naufrágios.

Para essa campanha à ausência de um planejamento fixo de linhas de navegação (survey) resultou na amostragem aleatória, as linhas foram executadas em múltiplas direções, o que significa que o vento, onda e corrente incidiu de forma lateral, frontal ou traseira, dependendo do sentido específico de cada segmento. Porém aqui destaca-se o baixo valores de ondulação e corrente superficial condições que contribuíram para uma atitude mais estável da embarcação ao longo da aquisição. A redução nos movimentos de *roll*, *pitch* e *heave* resulta em menor oscilação do sistema sonar, favorecendo a geometria dos feixes acústicos e reduzindo distorções nos produtos gerados. Como consequência, observa-se melhoria na continuidade da batimetria, maior nitidez na sonografia e homogeneidade na resposta de retroespalhamento acústico. Porém o fato do não planejamento das linhas *survey* pode ter interferido na qualidade dos dados, devido as mudanças bruscas na direção que desestabilizam a embarcação (PÉREZ-CANOSA et al., 2022). discutiremos esse ponto mais à frente.

4.2.1.1 Comparação das condições ambientais das campanhas 1 e 2 dos naufrágios

No 1º LH dos naufrágios, apesar de as linhas de aquisição estarem previamente planejadas e executadas com orientação definida (WNW–ESE e vice-versa), as condições ambientais foram mais exigentes. Ventos de até 10 m/s e ondulação proveniente do SSW, embora moderada, atuaram lateralmente sobre a embarcação, causando oscilações nos eixos de *roll*, *pitch* e *heading*, impactando na qualidade dos dados.

Já no 2º LH dos naufrágios, a ausência de planejamento fixo das linhas de navegação resultou em trajetos com múltiplas direções, o que, teoricamente, poderia comprometer a

qualidade dos dados. No entanto, os efeitos negativos foram minimizados pelas condições ambientais mais estáveis, caracterizadas por baixa ondulação e corrente superficial fraca. Ainda assim, a navegação aleatória pode ter introduzido mudanças abruptas de direção, responsáveis por pequenas instabilidades operacionais, conforme apontado por PérezCanosa et al. (2022).

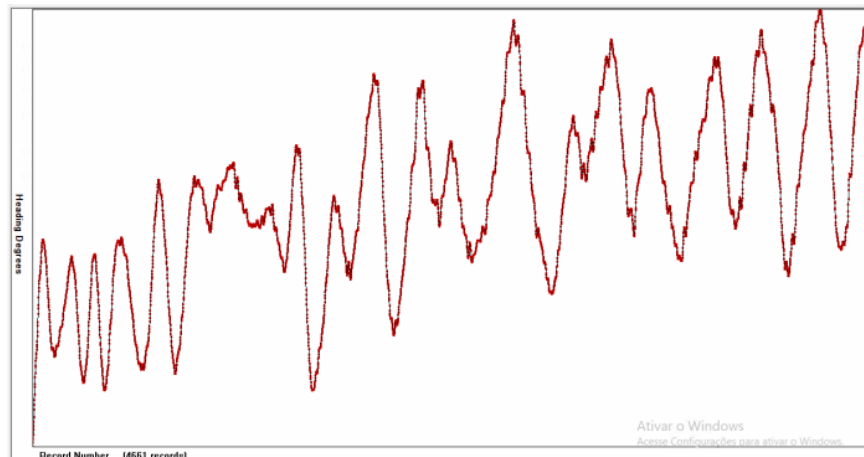


Figura 12 - Gráfico de atitude Heading da embarcação Marenostrom naufrágio campanha 1

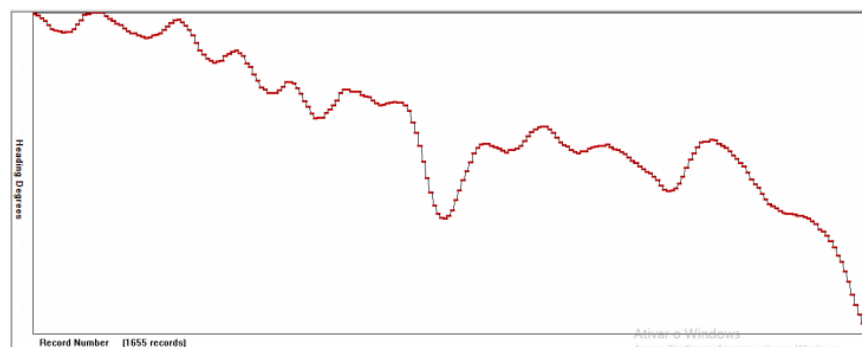
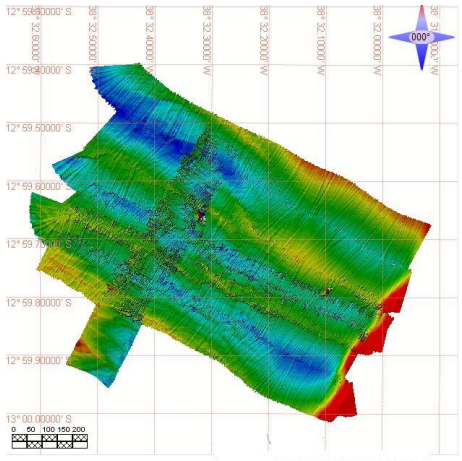
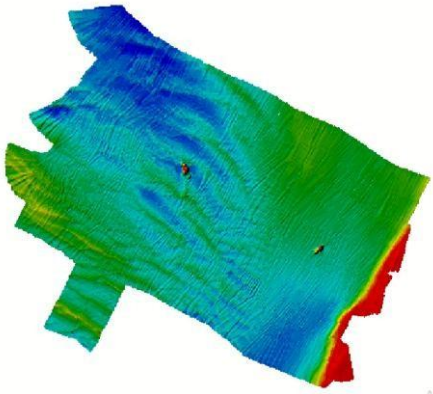
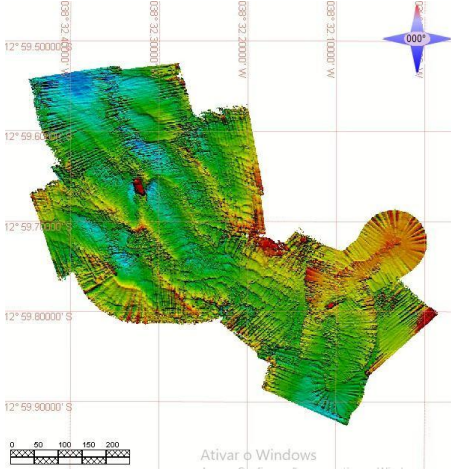
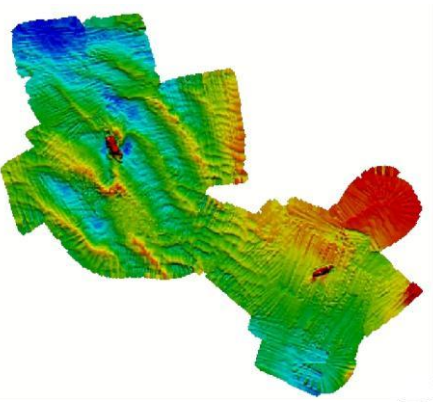


Figura 13 - Gráfico de atitude Heading da embarcação Paraguaçu XI naufrágio campanha 2

4.2.2 Batimetria campanha 1 e 2 naufrágios

Comparação dos dados batimétricos do naufrágio adquiridos nas campanhas 1 e 2.

Tabela 5 - Comparação visual dos dados batimétricos brutos e pós-tratamento (Naufrágios Agenor Gordilho e Vega).

Campanha	Dado Bruto	Dado tratado
1		
2		

4.2.2.1 Discursão batimetria naufrágio campanha 1

A imagem batimétrica analisada, gerada a partir do processamento dos dados adquiridos com sonar interferométrico (Edgetech 6205), apresenta uma representação tridimensional colorida por profundidade do fundo marinho, abrangendo uma área de profundidade variando entre aproximadamente 23 a 41 metros. A orientação geral das linhas de aquisição, executadas nos sentidos WNW–ESE e ESE–WNW, foi planejada de forma a garantir cobertura total e sobreposição adequada dos feixes, permitindo uma análise integrada da continuidade, resolução e coerência dos dados gerados.

A primeira observação relevante diz respeito à continuidade e densidade da nuvem de pontos. A área mapeada apresenta cobertura praticamente completa, sem lacunas

significativas (*gaps*) ou falhas de cobertura entre as linhas. A sobreposição entre os *swaths* das linhas consecutivas é visivelmente satisfatória, indicando bom planejamento de rotas e manutenção de estabilidade na navegação. A densidade de *pings* ao longo das linhas de aquisição revela-se homogênea na maior parte da área, refletindo uma coleta consistente e adequada à resolução do sensor, o que permite identificar com nitidez feições morfológicas do fundo.

No entanto, alguns artefatos e ruídos podem ser identificados na imagem. Destacam-se padrões lineares transversais ao sentido das linhas, particularmente visíveis na região central do mosaico (zoom B – Figura 14). Esses artefatos sugerem oscilações na atitude da embarcação, em especial no parâmetro de *pitch*, associadas a instabilidades causadas por fatores ambientais que foram descritos anteriormente. Esses ruídos não foram apresentados na linha que atravessa o mosaico no sentido SSW-NNE acompanhando a ondulação e ventos no momento do LH diminuindo o ruído dos dados coletados nesse sentido. Curvas a Oeste no dado apresentam maiores graus de ruído devido a atitude da embarcação ao fazer uma curva brusca (zoom A – Fig 14). No entanto esse LH é classificado como media qualidade.

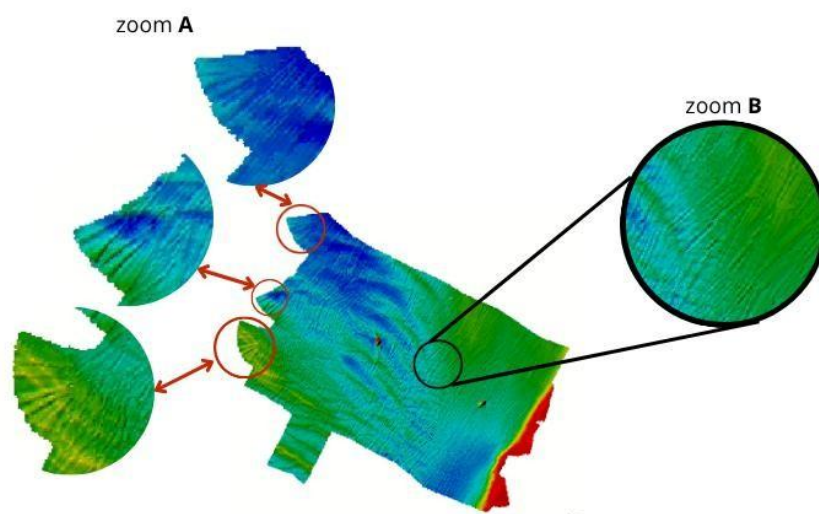


Figura 14 - Zoom batimetria naufr1.

4.2.2.2 Discursão batimetria naufrágio campanha 2

Do ponto de vista da continuidade e cobertura da região, observa-se uma cobertura satisfatória, evidenciando os dois naufrágios e as dunas principais. Não são observados grandes *gaps* ou falhas de cobertura, o que indica que, apesar da ausência de planejamento fixo para as linhas de navegação (*survey lines*), a área de interesse foi amostrada, porém sem abrangência espacial.

Contudo, há evidências de ruídos (*spikes*) em algumas regiões, perceptíveis como picos anômalos e pequenos artefatos isolados que destoam da morfologia esperada do terreno. Além dos *spikes*, degraus foram identificados, eles são caracterizados por descontinuidades abruptas e geométricas no alinhamento entre áreas adjacentes. Esses ruídos podem ser atribuídos a reflexões espúrias, bolhas de ar ou erros pontuais no processamento ou falhas de compensação da atitude (zoom b).

É observado que na região mais ruidosa a leste do dado ocorre a duas mudanças de sentido da embarcação de 180° em uma única linha de navegação que comprometeu todo o dado em que foi sobreposta. Essa mudança constante na direção de navegação pode introduzir instabilidades abruptas no sistema, dificultando a manutenção de uma atitude uniforme e, por consequência, afetando a geometria dos feixes acústicos.

Entretanto, destaca-se que durante esse LH as condições ambientais eram favoráveis, com baixos valores de corrente superficial e ondulação, o que contribuiu para uma atitude mais estável da embarcação onde as linhas são mais paralelas. Com a minimização dos movimentos de *roll*, *pitch* e *heave*, o sistema sonar operou em condições próximas do ideal, reduzindo distorções acústicas e promovendo maior fidelidade nos dados adquiridos.

Em síntese, esse LH poderia apresentar um produto final visivelmente mais estável e contínuo do que o anterior, graças às condições ambientais mais calmas, que favoreceram a operação do sistema sonar devido a menores atitudes da embarcação, entretanto da mesma forma apresentaram padrões lineares transversais ao sentido das linhas. Contudo não foi utilizado o mesmo padrão de linhas *survey* do primeiro LH dos naufrágios resultando em um LH de qualidade média.

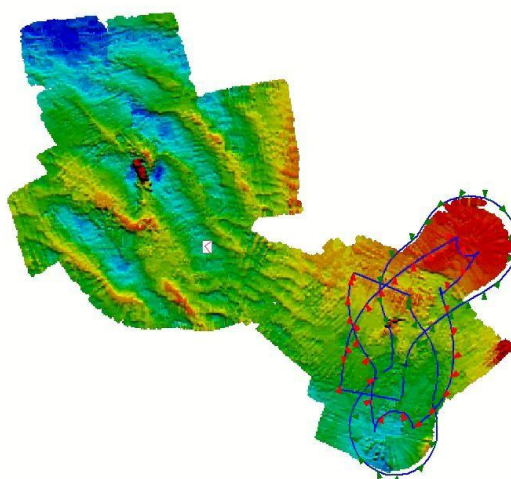


Figura 15 - Linha de navegação com guinadas bruscas.

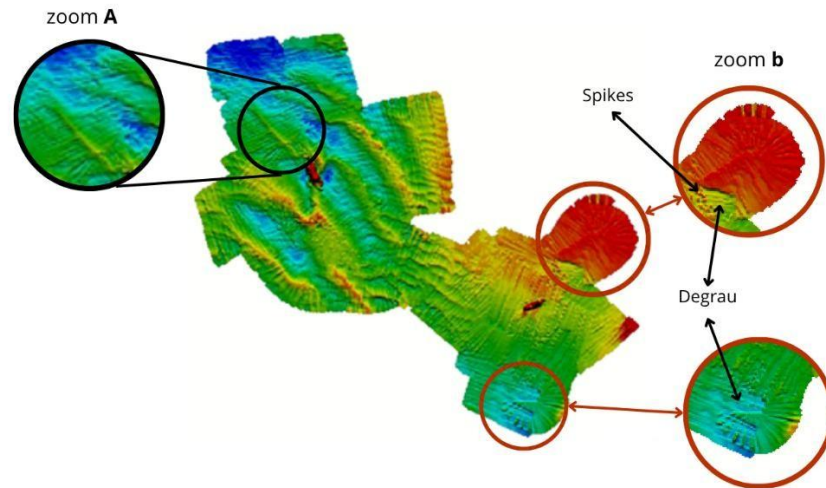


Figura 16 - Zoom batimetria nauf2

4.2.2.3 Comparação dos resultados de batimetria das campanhas 1 e 2 dos naufrágios

Tabela 6 - Comparação dos resultados de batimetria das campanhas 1 e 2 dos naufrágios

Critério	Levantamento 1	Levantamento 2
Atitude da embarcação	Oscilações de <i>pitch</i> visíveis em artefatos lineares. Distorções (<i>roll</i>) em curvas bruscas.	Oscilações de <i>pitch</i> visíveis em artefatos lineares. Distorções (<i>roll</i>) em curvas bruscas, mas geral controlado nas linhas.
Embarcação	Marestorun - Estável durante as linhas retas; sensível a curvas.	ParaguaçuXI - Estável durante as linhas retas; sensível a curvas.
Condições ambientais	Condições ambientais com vento e ondulação moderada.	Ambiente calmo.
Montagem e calibração (<i>Patch Test</i>)	<i>Patch test</i> bem executado, parâmetros ajustados com precisão razoável.	Indícios de calibração incompleta erros persistentes de <i>yaw</i> e <i>roll</i> nas guinadas.
Persistência de erros; Artefatos; Ruídos	Artefatos lineares presentes, distorções (curvas, cruzamentos).	Artefatos lineares presentes, <i>spikes</i> , degraus e distorções (curvas, cruzamentos).
Cobertura e Continuidade	Excelente cobertura	Cobertura satisfatória na área de interesse, mas com menor abrangência espacial.
Densidade da Nuvem de Pontos	Homogênea, permitindo boa resolução e identificação de feições.	Boa na área central, mas prejudicada nas extremidades por manobras abruptas.
Qualidade Final do LH	Média — boa execução geral com ruídos localizados.	Média — apesar das boas condições ambientais, a ausência de padrão de linhas prejudicou a coerência geral.

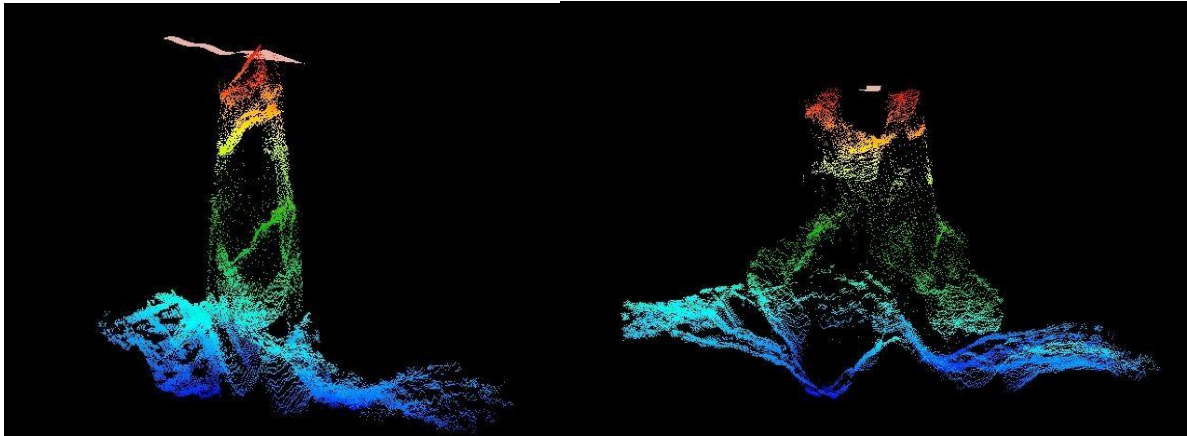


Figura 16 – Nuvem de pontos naufrágio Agenor Gordilho campanha 1, exagero 7x.

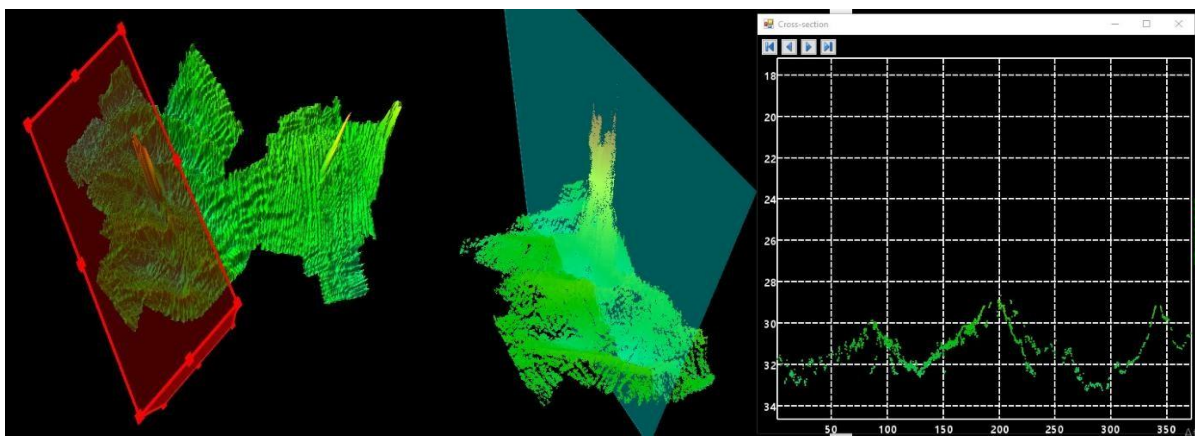
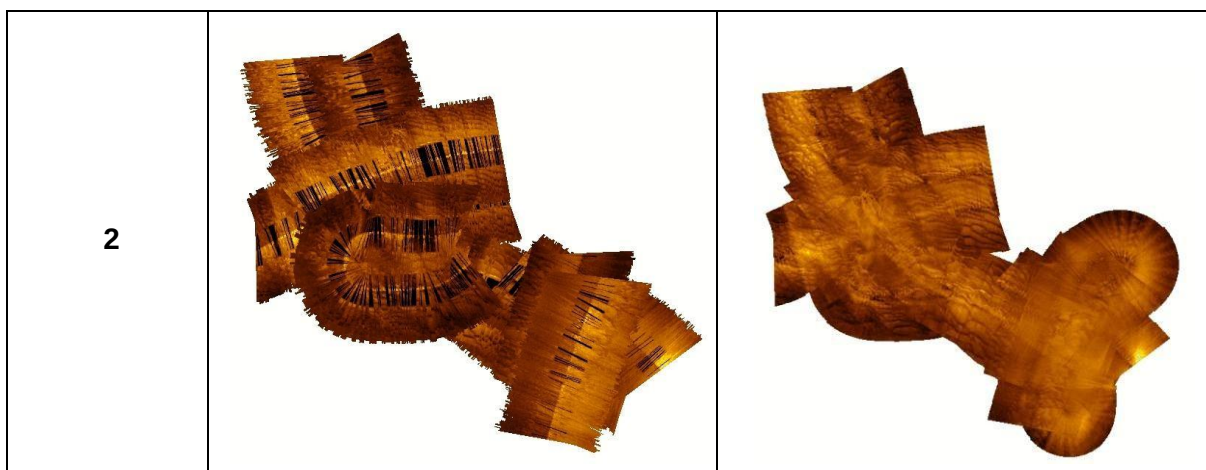


Figura 17 - Perfil Dunas naufrágio campanha 2

4.2.3 Sonografia campanha 1 e 2 naufrágios

Tabela 7 - Comparação visual dos dados sonográficos brutos e pós-tratamento (Naufrágios Agenor Gordilho e Vega).

Campanha	Dado Bruto	Dado tratado
1		



Como o foco deste estudo é a aquisição de dados e a análise dos resultados obtidos, todas as linhas de levantamento foram processadas e incluídas nas análises. No caso dos dados de sonografia da Campanha 2, referentes aos naufrágios com elevada sobreposição de linhas, o processamento não seguiu o procedimento ideal, que consistiria na seleção das linhas de melhor qualidade para a construção do mosaico. Contudo, para os objetivos deste trabalho, todas as linhas adquiridas foram consideradas, permitindo futuras discussões operacionais sobre a aquisição e tratamento dos dados.

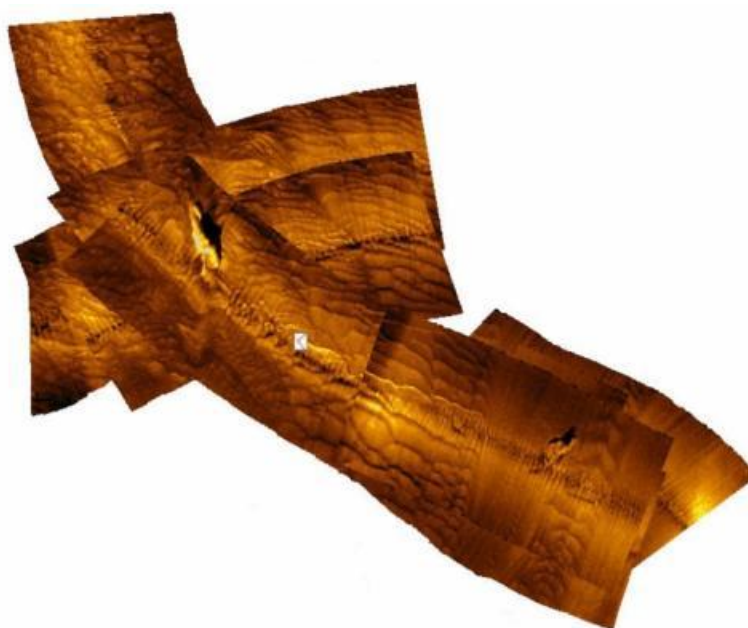


Figura 17 -Imagem de sonografia da campanha 2 dos naufrágios com o processamento ideal.

4.2.3.1 Discursão sonografia naufrágio campanha 1

A sonografia tratada da campanha 1 apresenta um mosaico acústico contínuo, com bom contraste, sem ruídos visuais e uniformidade radiométrica, resultado da aplicação eficaz

das correções de ganho – EGN (*Empirical Gain Normalization*), equalização radiométrica e do filtro de *Destripe* que retirou os artefatos lineares no software *SonarWiz7*.

A clareza das feições morfológicas é um dos principais destaques do produto final. As estruturas dos naufrágios, bem como formas sedimentares como as ondulações do leito, tornam-se visíveis com boa definição lateral e sombras coerentes. Uma pequena descontinuidade das *ripples* ocorre devido ao Nadir, no qual mesmo com o *Nadir Filter* apresentou descontinuidade no centro das linhas do mosaico (Figura 19). A variação de textura ao longo do fundo sugere heterogeneidade sedimentar, possivelmente entre areia fina e grossa, características dessa região apresentadas por Lessa e Dias (2009). A resolução obtida está associada à escolha adequada dos parâmetros operacionais durante a aquisição, como altura do sistema em relação ao fundo e abertura angular compatível com a profundidade local. Ou seja, a configuração do *Range* (200 m) mostrou-se adequada para a profundidade da área (23–41 m), o que indica bom controle da geometria de feixe e da altitude da embarcação, gerando sombras acústicas que apresentam posição e orientação coerentes com a direção da navegação.

A análise do mosaico também revela boa continuidade entre as linhas consecutivas, sem desajustes ou descontinuidades perceptíveis. Isso indica que os dados de atitude da embarcação (*roll*, *pitch* e *heading*) foram corretamente aplicados no processamento e que a velocidade constante de 4knt favoreceu o espaçamento de amostragem lateral uniforme.

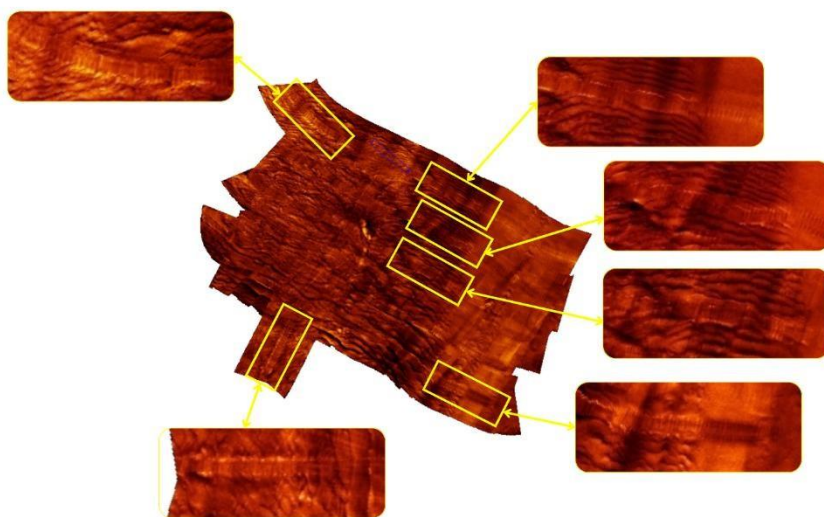


Figura 18 - Zoom sonografia nauf1.

4.2.3.2 Discursão sonografia naufrágio campanha 2

A sonografia tratada da campanha 2 apresenta um mosaico acústico contínuo sem falhas (feriados) de cobertura e com uniformidade radiométrica com pouco ruídos visuais, no entanto o contraste é ruim, onde a aplicação do EGN e modo de coleta das linhas não foram satisfatórios.

A definição lateral das feições morfológicas como estruturas de naufrágios (zoom B) e ondulações do leito (zoom A), está severamente prejudicada, principalmente pela ausência de sombras acústicas, efeito associado à sobreposição excessiva de linhas de navegação em múltiplas direções, causados pela ausência de planejamento fixo para as linhas de navegação, juntamente com o erro no processamento mascarando o leito.

A análise do mosaico também revela boa continuidade entre as linhas consecutivas, sem desajustes ou descontinuidades perceptíveis. Isso indica que os dados de atitude da embarcação foram corretamente aplicados no processamento onde o filtro *destripe* funcionou corretamente e que a velocidade constante de 4knt favoreceu o espaçamento de amostragem lateral uniforme.



Figura 19 - Zoom sonografia naufrágio.

4.2.3.3 Comparação dos resultados de sonografia das campanhas 1 e 2 dos naufrágios

Tabela 8 - Comparação dos resultados de sonografia das campanhas 1 e 2 dos naufrágios

Critério	Levantamento 1	Levantamento 2
Atitude da embarcação	Correções de <i>roll</i> , <i>pitch</i> e <i>heading</i> eficazes. Aplicação precisa no processamento, favorecendo uniformidade entre linhas e clareza nas sombras acústicas.	Correções aplicadas corretamente, com bom funcionamento do filtro <i>destripe</i> . No entanto, o excesso de linhas cruzadas comprometeu a coerência das sombras.

Embarcação	Navegação estável, com velocidade constante de 4 nós. Altura do sistema bem controlada, garantindo feixe adequado à profundidade (23– 41 m).	Navegação em 4 nós, mas ausência de planejamento fixo comprometeu a sobreposição entre linhas. Variações na direção das linhas afetaram as sombras acústicas e definição lateral.
Condições ambientais	Condições ambientais com vento e ondulação moderada.	Sem registro de impacto severo das condições ambientais.
Montagem e calibração (<i>Patch Test</i>)	Parâmetros bem ajustados. Montagem correta contribuiu para a continuidade e qualidade do mosaico sem valores excessivos de <i>Layback</i> e <i>Sheave</i>	Parâmetros bem ajustados. Montagem correta contribuiu para a continuidade e qualidade do mosaico sem valores excessivos de <i>Layback</i> e <i>Sheave</i>
Persistência de erros, artefatos, ruídos	Sem ruídos visuais ou desajustes entre linhas. Artefatos lineares removidos com sucesso com uso do filtro <i>Stripe</i> .	Ruídos visuais discretos nas guinadas. Artefatos lineares removidos com sucesso com uso do filtro <i>Stripe</i> .
Cobertura e continuidade	Mosaico acústico contínuo, sem descontinuidades. Sobreposição uniforme entre linhas, sem falhas de cobertura.	Mosaico contínuo, porém com excesso de sobreposição em múltiplas direções, resultando em perda de coerência nas sombras e baixa definição.
Qualidade final da sonografia	Alta Qualidade - contraste nítido, definição clara das estruturas (navios e ondulações). Sombras acústicas coerentes. Uniformidade radiométrica alcançada com EGN, equalização e configuração operacional eficiente.	Baixa Qualidade - Mosaico radiometricamente uniforme, mas sem contraste e com definição lateral prejudicada. Feições morfológicas pouco visíveis, sombras ausentes e ruído visual moderado. Planejamento ineficiente afetaram a leitura da sonografia.

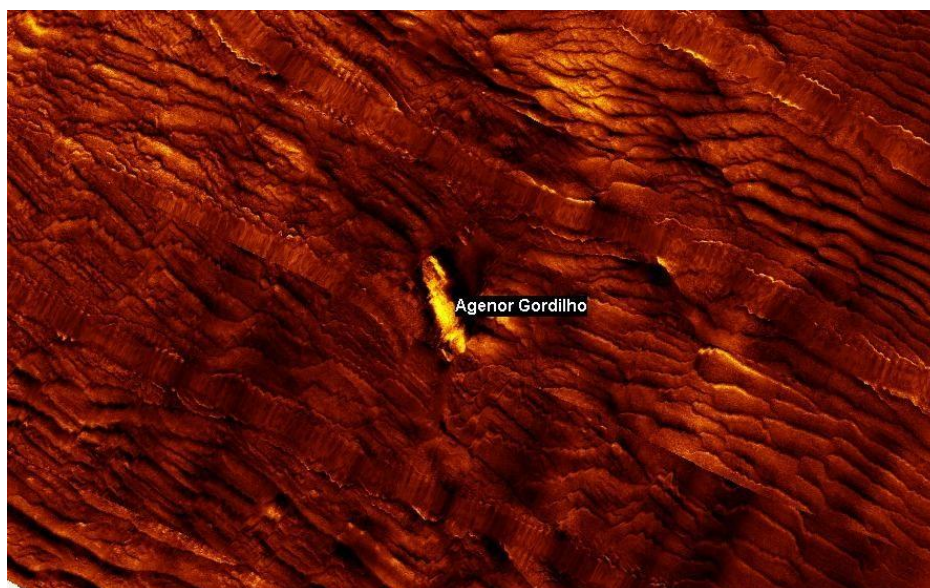


Figura 20 - Sonografia Agenor Gordilho campanha 1 dos Naufrágios.

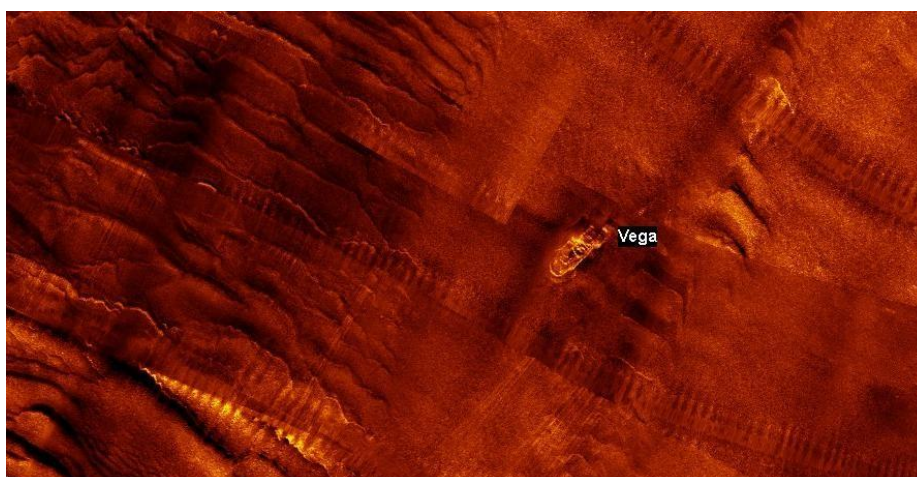


Figura 21 - Sonografia Vega campanha 1

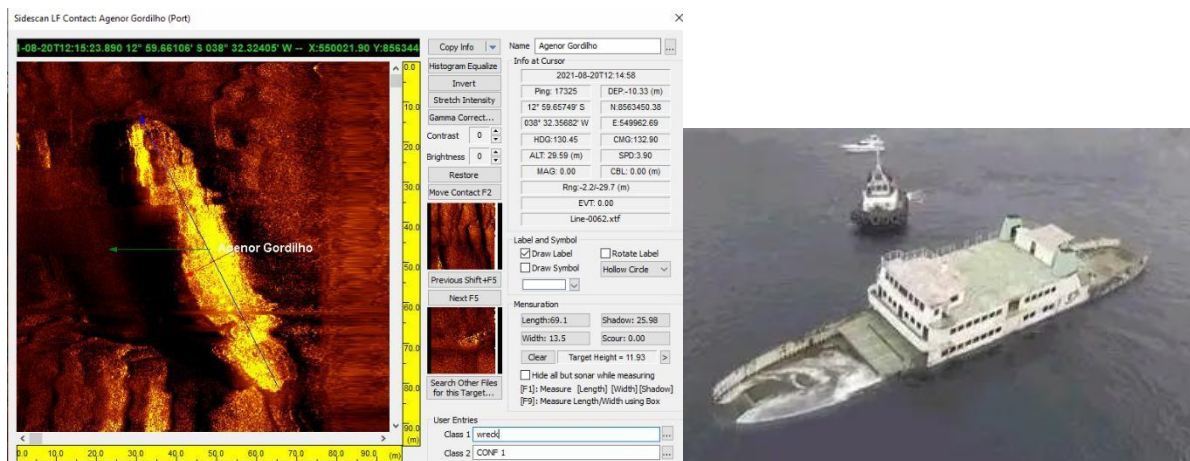


Figura 22 - Screenshot do contact com as medidas no Sonarwiz7 do naufrágio Agenor Gordilho correspondendo com as medidas apresentadas pelo www.naufragiosbrasil.com.br (comprimento 69 metros e 13,5 de boca) + a foto do afundamento; Fonte: www.naufragiosdobrasil.com

4.2.4 Retroespalhamento campanha 1 e 2 naufrágios

Tabela 9 - Comparação visual dos dados de retroespalhamento brutos e pós-tratamento (Naufrágios Agenor Gordilho e Vega).

Campanha	Dado Bruto	Dado tratado
1		
2		

4.2.4.1 *Discursão retroespalhamento naufrágio campanha 1*

A análise dos dados de retroespalhamento acústico obtidos em levantamentos hidrográficos permite uma avaliação criteriosa da distribuição espacial da intensidade acústica refletida pelo fundo marinho, fornecendo informações indiretas sobre o tipo de substrato (STEPHENS; DIESING, 2014). A imagem gerada a partir do mosaico de retroespalhamento revela padrões que, em sua maioria, apresentam coerência e homogeneidade com as características do fundo, variando entre tons claros e escuros, esses padrões são consistentes com a presença de substratos predominantemente arenosos, oscilando entre areia fina e grossa (*riples e dunas*), também é possível inferir ainda a existência de zonas com lama ou sedimentos mais finos em algumas áreas mais homogêneas e de baixa refletividade.

Apesar dessa coerência geral, é importante destacar a presença de ruídos e artefatos visuais na região do *Nadir* em alguns locais e nas linhas perpendiculares as linhas de navegação, nas quais apresentam variação do sinal acústico (zoom A). Outro ponto crítico observado refere-se à representação acústica das feições antrópicas, mais especificamente os naufrágios mapeados. Na imagem pós-processada, apenas um dos naufrágios está claramente visível, apresentando-se como uma mancha clara, de limites bem definidos, com alta intensidade de retroespalhamento e contraste em relação ao fundo. Já o segundo naufrágio, localizado mais à direita da imagem, aparece praticamente invisível, com ausência de assinatura acústica clara ou qualquer distinção perceptível em relação ao entorno. Essa discrepância é especialmente preocupante, pois, nos dados brutos analisados antes do processamento no *software SonarWiz7*, ambos os naufrágios apresentavam respostas acústicas semelhantes, com intensidade elevada e contraste significativo, condizentes com feições metálicas de alta refletividade.

Estes erros destacados na composição do mosaico de intensidade, possíveis problemas na normalização ou equalização da amplitude dos sinais, aplicação inadequada de limiares automáticos que podem ter atenuado o sinal do naufrágio ou até mesmo falhas no alinhamento e interpolação entre diferentes passagens da embarcação. Ainda, alterações na geometria de feixe ou sobreposição de linhas com ângulos desfavoráveis podem ter dificultado a identificação do naufrágio durante a geração do mosaico final. A hipótese mais plausível, no entanto, é de que houve um erro no processamento da intensidade no *SonarWiz7*, onde os parâmetros aplicados (como ganho, ângulo de incidência e compensações geométricas) foram inadequados para preservar a assinatura acústica dessa feição. Isso demonstra a importância de uma revisão cuidadosa e crítica dos produtos intermediários durante o processamento, com atenção especial à manutenção de feições relevantes, como naufrágios, que possuem grande valor informativo.

No entanto, os ruídos na região do *nadir* e a falha em preservar a assinatura de um dos naufrágios compromete, ainda que parcialmente, a confiabilidade do produto final em

termos de mapeamento de feições antrópicas, resultando em um mosaico de qualidade intermediária.

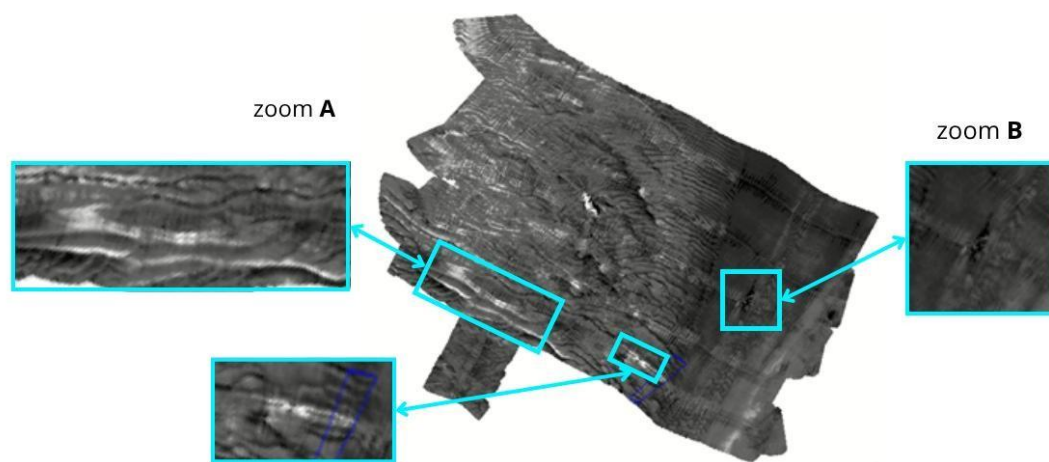


Figura 23 - Zoom retroespalhamento nauf1.

4.2.4.2 Discursão retroespalhamento naufrágio campanha 2

O retroespalhamento gerado apresenta diversas características que refletem as condições operacionais e técnicas do levantamento. Um dos principais pontos observados é a ausência de planejamento fixo das linhas de navegação, o que resultou em uma amostragem aleatória com linhas executadas em múltiplas direções. Essa abordagem compromete a coerência e a continuidade da cobertura, gerando sobreposições irregulares, lacunas e variações na geometria dos feixes acústicos.

Apesar da atitude relativamente estável da embarcação durante a aquisição, favorecida por condições ambientais calmas, as mudanças constantes de direção da navegação causaram variações angulares abruptas que impactaram diretamente a qualidade do retroespalhamento. Isso é visível na forma de transições bruscas entre faixas, ruídos nas bordas e padrões de intensidade inconsistentes apresentados na ausência de alvos metálicos conhecidos, os naufrágios que deveriam apresentar alto retorno acústico. Além disso, regiões arenosas apresentaram altos valores de retroespalhamento, o que contradiz o comportamento acústico esperado para esse tipo de substrato, normalmente associado a baixos retornos.

Em síntese, a qualidade da imagem de retroespalhamento foi comprometida principalmente pela ausência de planejamento adequado das linhas de aquisição e pela possível inadequação na calibração e no processamento dos dados. A não detecção de alvos metálicos e os retornos excessivos em áreas arenosas demonstram que os parâmetros aplicados ao dado bruto precisam ser reavaliados resultando em um mosaico de retroespalhamento de qualidade baixa.

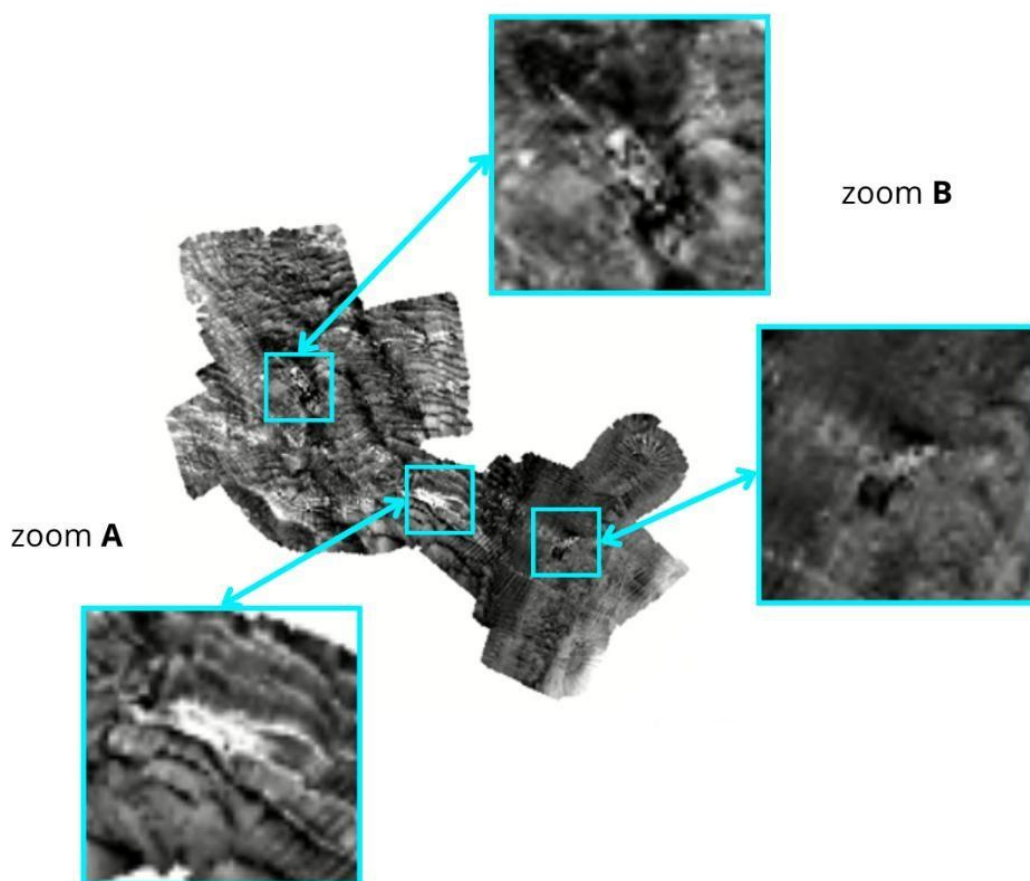


Figura 24 - Zoom retroespalhamento nauf2.

4.2.4.3 Comparação dos resultados de retroespalhamento das campanhas 1 e 2 dos naufrágios

Tabela 10 - Comparação dos resultados de retroespalhamento das campanhas 1 e 2 dos naufrágios.

Critério	Campanha 1	Campanha 2
Atitude da embarcação	Estável, sem grandes oscilações. A navegação seguiu linhas mais organizadas, contribuindo para a coerência dos feixes e menor incidência de artefatos.	Atitude relativamente estável devido às boas condições ambientais, porém prejudicada por mudanças constantes de direção, o que gerou transições angulares abruptas e artefatos.
Condições ambientais	Condições intermediárias.	Condições calmas.
Calibração	Indícios de calibração adequada, mas com possíveis falhas na normalização da intensidade e na interpolação entre linhas.	Possível falha na aplicação de parâmetros de intensidade e compensações geométricas. Indícios de erros de calibração e configuração no processamento.

Persistência de erros, artefatos, ruídos	Ruídos localizados na região do nadir e em transições perpendiculares às linhas de navegação. Um dos naufrágios não foi visível, sugerindo falhas no processamento ou interpolação.	Erros mais generalizados, incluindo faixas com alta resposta em áreas arenosas (contrárias ao esperado) e completa ausência de detecção dos naufrágios metálicos com presença de ruído nas bordas e entre as faixas.
Cobertura e continuidade	Boa cobertura espacial, com padrão coerente e homogêneo de intensidades. Algumas falhas pontuais em alinhamentos.	Cobertura desorganizada, com sobreposições irregulares e lacunas. A ausência de planejamento das linhas de navegação comprometeu a continuidade e dificultou a interpretação espacial.
Qualidade final do retroespalhamento	Qualidade média. Apesar dos problemas com um dos naufrágios e alguns ruídos, o mosaico é, em geral, coerente com a distribuição dos tipos de fundo.	Qualidade baixa. A combinação de navegação não planejada, erros de calibração e falhas na detecção de alvos comprometem a confiabilidade da imagem e dificultam a interpretação do tipo de substrato e feições relevantes.

4.3 REGIÃO DO CANAL DE ITAPARICA (CDI)

4.3.1 Condições operacionais e ambientais campanha 1 e 2 do Canal de Itaparica (CDI)

Os dados de vento durante a aquisição no Canal de Itaparica foram obtidos através da correlação entre os dados de vento da boia BA-01 do SIMCosta e da Estação Meteorológica de Mar Grande do projeto Coral Sol. Um ano de dados foram correlacionados no MATLAB para obter os resultados de R e gerar a equação de correlação, para criar os valores de vento do dia 20/08/2024 através dos dados medidos na BA-01 no momento da coleta dos dados no CDI.

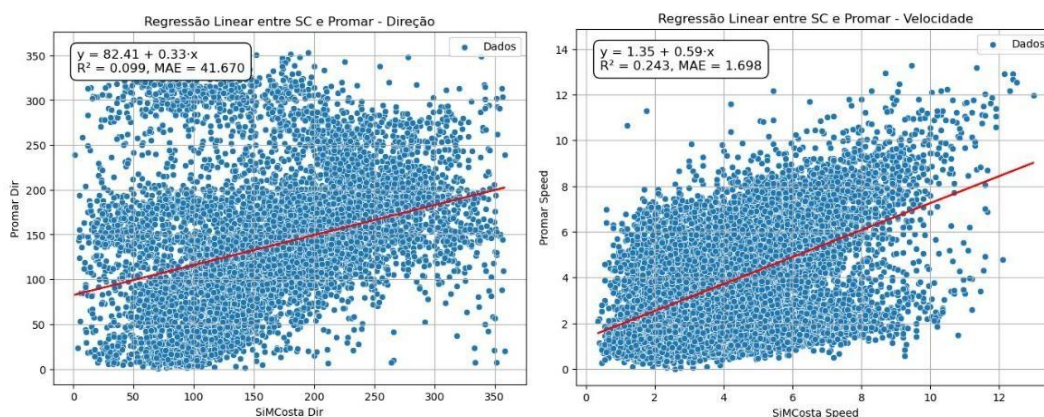


Figura 25 - Gráficos da regressão linear entre direção e velocidade do vento.

Apesar dos valores de correlação baixos foi a partir daí obtemos os valores ambientais de vento para o momento do LH do CDI.

Respectivamente abaixo temos as condições ambientais de direção/intensidade do vento em m/s, direção/velocidade de corrente de superfície em kt disponibilizados pelo ADCP instalado próximo as linhas e direção/altura significativa de onda em metros não foi possível a verificação pois a frequência de aquisição do ADCP era muito espaçada coletando de 10 em 10 minutos. Tornando inviável o estudo de ondulação.

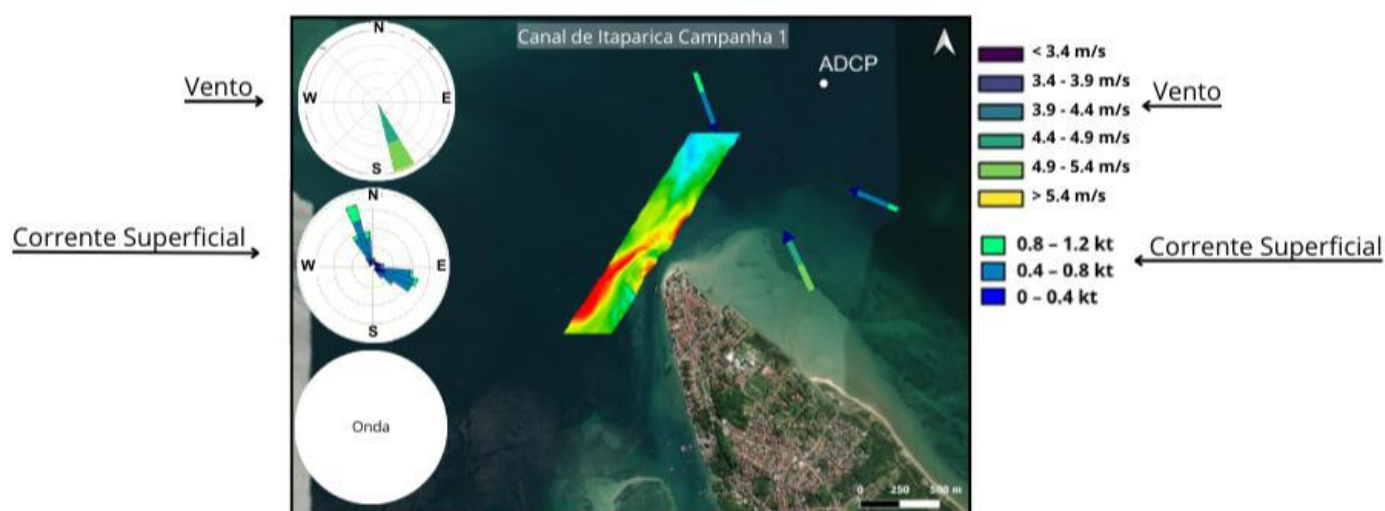


Figura 26 - Gráficos de dados ambientais plotados por MATLAB e Python durante as campanha1 (01 e 02/08/2024) de aquisição na região do CDI.

Durante o levantamento, os ventos predominantes atuaram a partir do quadrante sudeste (SE), com velocidades variando até 5.4 m/s como indicado na rosa dos ventos (a). Considerando que as linhas de aquisição foram executadas de SSW a NNE e vice-versa, observa-se que a ação do vento sobre a embarcação foi altamente amenizada pertinente das linhas estarem a sota da costa. Essa situação diminui-o as possíveis oscilações no *heading*,

pitch e no *roll* da embarcação. Juntamente com o vento, poderíamos ter a ondulação proveniente da mesma direção com as ondulações que entram na baía, porém também foram amenizadas devido a localização das linhas *survey* com a costa.

Corrente superficial predominante apresentou direção NNW e ESE com velocidades variando entre 0 e 1,8 nós. Considerando a orientação das linhas de aquisição (SSW e NNE), a corrente atuou de forma favorável ao deslocamento da embarcação em algumas linhas (NNE e SSW) e contrária em outras (SSW e NNE), essa interação gerou variações na velocidade efetiva da embarcação sobre o fundo (*speed over ground*). Já para a corrente superficial proveniente de SSE tem pouca influência sobre as minhas linhas pois a sua proximidade com a costa e posição extingue amplamente a atuação da corrente vinda de SSE.

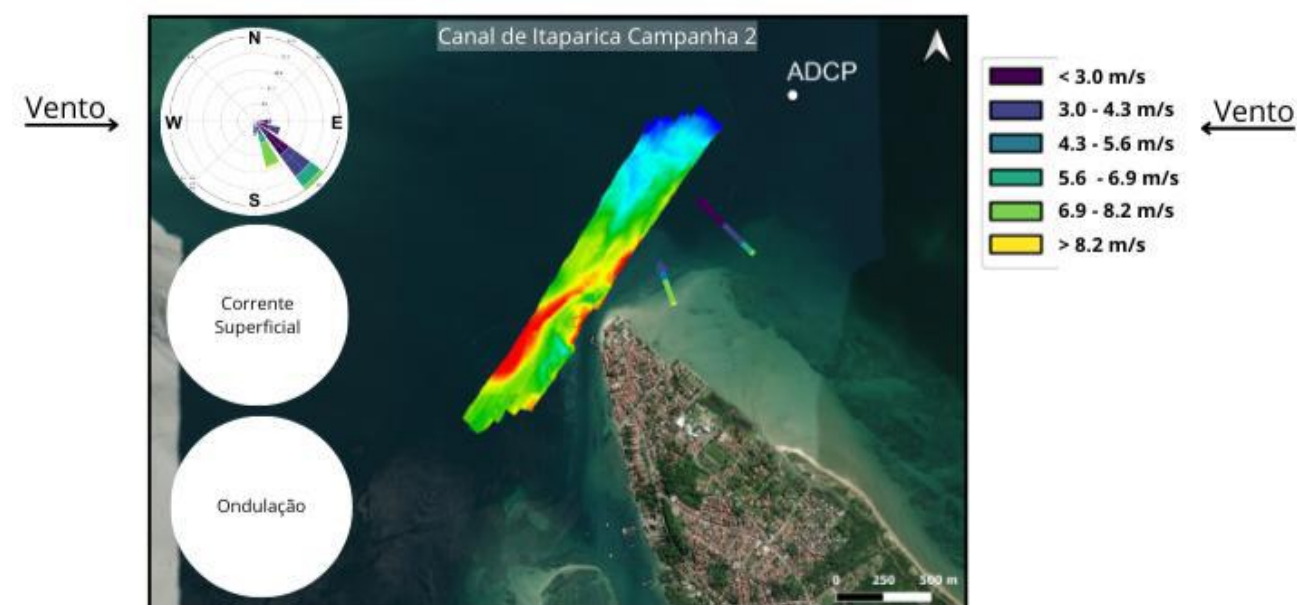


Figura 27 - Gráficos de dados ambientais plotados por MATLAB e Python durante as campanha2 (11/06/2024) de aquisição na região do CDI.

Durante a segunda campanha de levantamento no Canal de Itaparica (CDI), os ventos predominantes atuaram a partir do quadrante sudeste (SE), com velocidades máximas de até 8,2 m/s. Considerando que as linhas de aquisição foram executadas no sentido SSW–NNE e NNE–SSW, observa-se que o vento incidiu de forma aproximadamente lateral em relação ao trajeto da embarcação. Essa configuração favorece a ocorrência de oscilações no roll e no yaw, aumentando a instabilidade da plataforma e impactando diretamente a qualidade dos dados acústicos.

Entre os principais efeitos, destacam-se a maior suscetibilidade a ruídos e artefatos nas bordas da faixa de varredura, ampliação da região central do nadir nas imagens sonográficas e a possibilidade de desalinhamentos sutis entre linhas consecutivas no mosaico batimétrico, caso não haja compensação adequada pelo sistema inercial. Entretanto, deve-se

destacar que não foi possível recuperar o ADCP instalado em campo, o que inviabilizou a obtenção de séries temporais de corrente superficial e parâmetros de ondulação durante o período de aquisição. Essa limitação restringe a análise quantitativa das condições hidrodinâmicas.

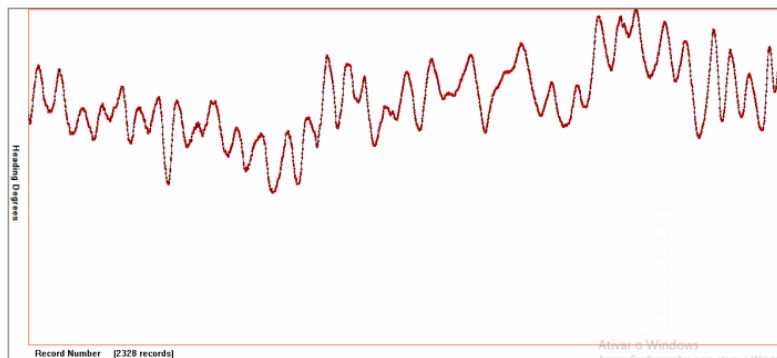


Figura 28 - Gráfico de atitude Heading da embarcação GrauçáIII na campanha 1

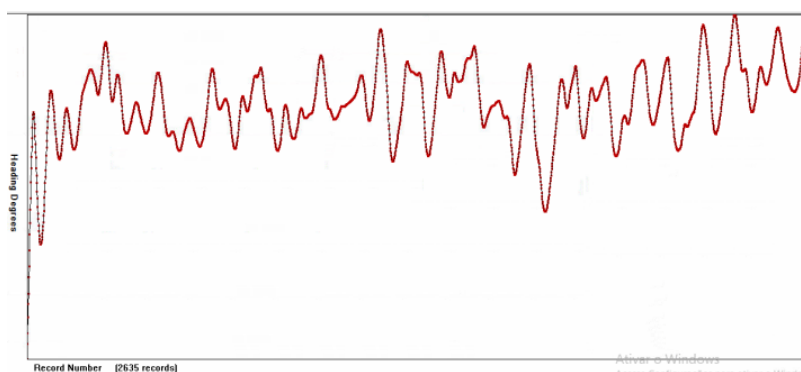


Figura 29 - Gráfico da atitude Heading da embarcação GrauçáIII campanha 2

4.3.1 Batimetria campanha 1 e 2 Canal de Itaparica

Tabela 11 - Comparação visual dos dados batimétricos brutos e pós-tratamento (CDI).

Campanha	Dado Bruto	Dado tratado
1		
2		

4.3.1.1 Discursão batimetria Canal de Itaparica campanha 1

A análise do mosaico batimétrico revela uma boa qualidade geral dos dados adquiridos, especialmente no que se refere à continuidade e à densidade visual do produto final. A distribuição dos dados ao longo das linhas é homogênea, permitindo a identificação clara de feições morfológicas como elevações, depressões e formas antrópicas. o que evidencia que a densidade de pontos foi suficiente e bem ajustada às condições operacionais do levantamento. Considerando que a embarcação utilizada era de pequeno porte e apresentava instabilidade intrínseca, os resultados obtidos são considerados satisfatórios, indicando uma estratégia de aquisição bem-sucedida.

A continuidade das feições é consistente ao longo do mosaico, com sobreposição adequada entre as linhas de aquisição. A coerência entre linhas consecutivas é outro indicativo positivo: não foram observados desalinhamentos ou desníveis abruptos que sinalizassem falhas de calibração no *Patch Test*, erros de sincronização ou problemas

relacionados à atitude da embarcação. Ainda que a embarcação fosse instável, os efeitos do vento e da ondulação foram minimizados pela localização abrigada da área de levantamento e pela orientação das linhas de aquisição (SSW-NNE), que ficaram a sota da costa. A predominância de ventos vindos do quadrante sudeste (SE), com velocidades máximas de até 5,4 m/s, foi mitigada pela topografia costeira, que atuou como barreira natural, reduzindo significativamente as oscilações de *heading*, *pitch* e *roll*. Da mesma forma, as ondulações incidentes da mesma direção foram amenizadas, contribuindo para uma maior estabilidade da plataforma de aquisição.

As correntes superficiais predominantes apresentaram direções NNW e ESE, com velocidades variando entre 0 e 1,8 nós. Essa hidrodinâmica teve influência direta sobre a velocidade efetiva da embarcação sobre o fundo (*Speed Over Ground*), uma vez que, em algumas linhas, a corrente atuava a favor do deslocamento da embarcação, enquanto em outras, contrariamente. Essa alternância pode ter causado pequenas variações na densidade dos *pings* ao longo das linhas, mas não comprometeu significativamente a integridade do mosaico. Já a corrente superficial proveniente de SSE teve pouca influência sobre as linhas de aquisição, uma vez que a configuração costeira e a proximidade com a linha de costa limitaram a atuação dessa corrente na região de levantamento.

No que se refere à presença de ruídos e artefatos, o mosaico não apresenta indícios de *spikes* ou valores espúrios. Logo, destaca-se a boa cobertura transversal do fundo marinho, com sobreposição apropriada entre os *swaths* e continuidade longitudinal das feições, mesmo nas regiões com maiores gradientes batimétricos. A escolha do local das linhas de navegação (próximo a costa) foi estratégica, contribuindo para a regularidade da aquisição. Ainda que a embarcação fosse instável, o uso de uma configuração de aquisição bem adaptada ao ambiente e o bom planejamento do levantamento garantiram um produto final tecnicamente confiável resultando em um LH de alta qualidade.

4.3.1.2 *Discursão batimetria Canal de Itaparica campanha 2*

A análise do mosaico batimétrico da segunda campanha no Canal de Itaparica revela uma cobertura consistente, com continuidade e densidade adequadas dos dados adquiridos, de forma semelhante à campanha anterior. As feições morfológicas principais da área, como elevações, depressões e feições de relevo mais marcadas, foram novamente amostradas de forma satisfatória, embora apresentem uma definição ligeiramente inferior em comparação à campanha 1. Essa diferença pode estar associada às condições ambientais mais intensas registradas durante o levantamento, sobretudo aos ventos mais fortes, que chegaram a 8,2 m/s provenientes do quadrante sudeste (SE).

Não foram observados *spikes* ou *gaps* significativos, o que indica a qualidade do processamento e da calibração aplicada. Entretanto, nota-se que as bordas das linhas ficaram mais marcadas no produto final, sugerindo influência da atitude da embarcação sob condições

de maior exposição ao vento. A embarcação e o equipamento utilizados foram os mesmos da campanha 1, assim como a orientação e o traçado das linhas de aquisição (SSW–NNE e NNE–SSW), o que reforça que as variações de qualidade observadas têm relação direta com as condições ambientais e não com diferenças metodológicas.

Em áreas de menor profundidade foram identificadas marcas de distorção nas bordas das linhas (Zoom A). Essa limitação pode estar associada a um comportamento recorrente de sistemas sonares interferométricos, como o EdgeTech 4600, em águas rasas. Nessas condições, múltiplos sinais podem atingir simultaneamente os receptores, resultando em erros de detecção da posição — fenômeno conhecido como *multipath* (DENBIGH, 1989; BIRD et al., 2011; SAUCAN et al., 2012).

Apesar da ausência de dados de corrente superficial e de ondulação, devido à impossibilidade de recuperação do ADCP, pode-se inferir que a maior intensidade dos ventos atuou como principal fator de instabilidade, influenciando a definição e a suavidade do mosaico batimétrico.

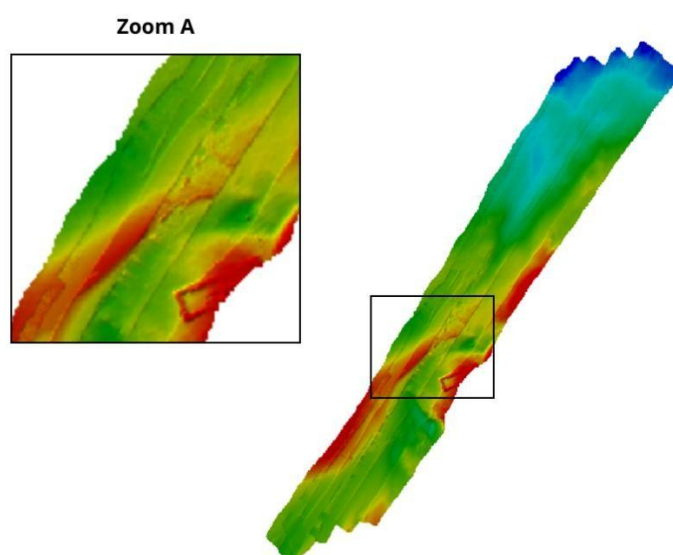


Figura 30 - Zoom batimetria Cdl1

4.3.1.3 Comparação dos resultados de batimetria das campanhas 1 e 2 do Canal de Itaparica

Tabela 12 - Comparação dos resultados de batimetria das campanhas 1 e 2 do Canal de Itaparica

Critério	Levantamento 1 (CDI1)	Levantamento 2 (CDI2)
Atitude da embarcação	Embarcação estável na maior parte das linhas; efeitos de <i>roll</i> e <i>pitch</i> minimizados pela proteção costeira.	Oscilações mais perceptíveis devido a ventos mais intensos (até 8,2 m/s), com bordas de linhas mais marcadas, embora controladas no geral.

Embarcação	Pequeno porte, com instabilidade intrínseca, mas desempenho satisfatório sob abrigo costeiro.	Mesma embarcação; instabilidade natural mais evidente em função das condições ambientais mais desafiadoras.
Condições ambientais	Ventos até 5,4 m/s (SE), correntes até 1,8 nós; ondulação e vento atenuados pela costa.	Ventos mais fortes (até 8,2 m/s, SE); ausência de dados de corrente (sem os dados ADCP); efeito costeiro ainda amenizando ondulação.
Montagem e calibração (Patch Test)	<i>Patch test</i> e parâmetros bem ajustados; continuidade entre linhas sem desalinhamentos significativos.	<i>Patch test</i> aparentemente consistente, mas efeitos ambientais intensos resultaram em bordas de linhas marcadas.
Persistência de erros; Artefatos; Ruídos	Poucos artefatos, ausência de <i>spikes</i> ; mosaico limpo.	Sem <i>spikes</i> , mas presença de artefatos nas bordas das linhas, possivelmente associados a ventos fortes e maior instabilidade da embarcação.
Cobertura e Continuidade	Excelente cobertura, com boa sobreposição entre <i>swaths</i> e linhas.	Cobertura completa, porém, menor definição das feições em comparação à campanha 1.
Densidade da Nuvem de Pontos	Homogênea, permitindo identificação clara de feições morfológicas.	Densidade satisfatória, mas leve perda de definição das feições quando comparada ao CDI1.
Qualidade final do LH	Alta qualidade, resultado consistente e tecnicamente confiável.	Média qualidade: Perda de definição e maior marcação nas bordas das linhas de aquisição.

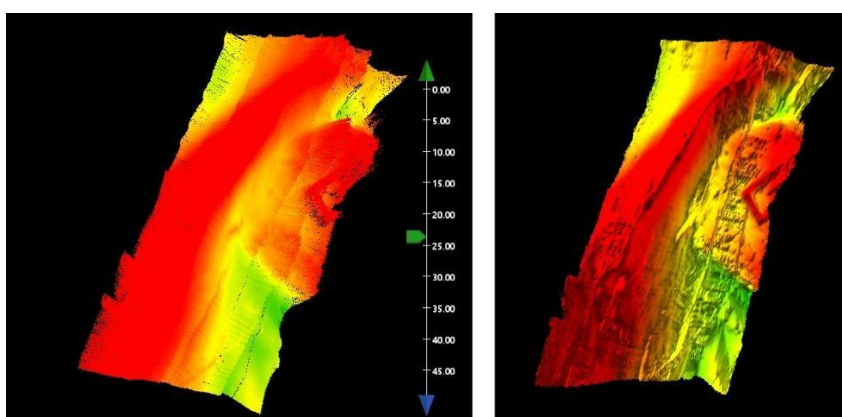


Figura 31 - Estrutura antrópica Canal de Itaparica campanha 2

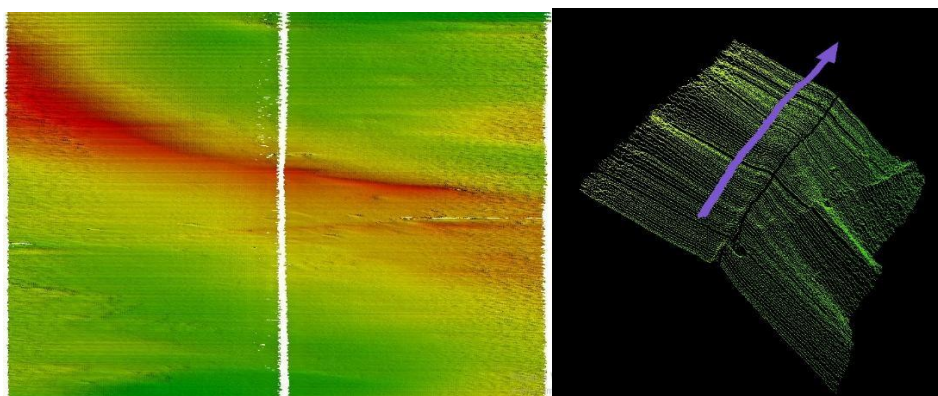


Figura 32 - Water fall do grid batimétrico Canal de Itaparica campanha 1.

4.3.2 Sonografia campanha 1 e 2 Canal de Itaparica

Tabela 13 - Comparação visual dos dados sonográficos brutos e pós-tratamento (CDI).

Campanha	Dado Bruto	Dado Tratado
1		
2		

4.3.2.1 Discursão sonografia Canal de Itaparica campanha 1

É evidenciado uma boa definição acústica das feições morfológicas do fundo marinho, com destaque para a identificação de estruturas antrópicas e variações de textura do sedimento. Observa-se a presença de feições bem delineadas, com sombras acústicas coerentes com elevações e objetos do relevo, o que demonstra um sinal acústico bem definido

e um alcance lateral eficiente. As regiões mais reflexivas, de coloração mais clara, contrastam nitidamente com as zonas mais sombrias, revelando diferenças significativas na rugosidade e composição do fundo. Essas transições são compatíveis com padrões sedimentares típicos de ambientes de transição, como proximidades de canais ou encostas submersas, como é esperado com a descrição da região por Lessa e Dias (2009) o que reforça a coerência geomorfológica dos dados, resultando em um mosaico fonográfico de alta qualidade.

4.3.2.2 *Discursão sonografia Canal de Itaparica campanha 2*

A análise dos dados de sonografia da campanha 2 revela resultados bastante semelhantes aos observados na campanha 1, mantendo uma boa definição acústica das feições morfológicas do fundo marinho. As estruturas antrópicas, variações de textura sedimentar e feições geomorfológicas são claramente identificáveis, com sombras acústicas coerentes com o relevo e objetos presentes, reforçando a consistência da resposta acústica. A diferenciação entre regiões mais reflexivas e áreas mais sombrias também se manteve nítida, permitindo inferências seguras sobre a rugosidade e composição do fundo.

Entretanto, destaca-se nesta campanha a maior evidência da linha do nadir (Figura 34), observada de forma mais marcante ao longo do mosaico. Esse efeito é atribuído às condições operacionais e à atitude da embarcação durante a aquisição, que dificultaram a obtenção de um *bottom track* de qualidade em determinados trechos. Apesar disso, a homogeneidade lateral do mosaico e a clareza das principais feições não foram comprometidas, resultando em um produto de qualidade satisfatória e compatível com os padrões esperados para o ambiente estudado.

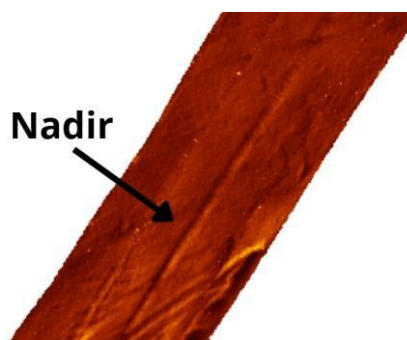


Figura 33 - Nadir Cdl2

4.3.2.3 Comparação dos resultados de sonografia das campanhas 1 e 2 do Canal de Itaparica

Tabela 14 - Comparação dos resultados de sonografia das campanhas 1 e 2 do Canal de Itaparica.

Critério	Campanha 1 (CDI1)	Campanha 2 (CDI2)
Atitude da embarcação	Linha do nadir discreta, favorecendo clareza lateral.	Maior evidência da linha do nadir, associada à atitude da embarcação que dificultou o <i>bottom track</i> .
Embarcação	Pequeno porte, instável, mas compensada pelo abrigo da costa. Altura adequada em relação ao fundo, feixe bem distribuído.	Mesma embarcação; instabilidade mais perceptível devido ao vento mais intenso (até 8,2 m/s).
Condições ambientais	Ventos moderados (até 5,4 m/s) de SE, mitigados pela costa.	Ventos mais fortes (até 8,2 m/s), também de SE.
Montagem e calibração (Patch Test)	Montagem adequada, sem indícios de falhas. Resultados consistentes na definição acústica.	Montagem correta; contudo, a estabilidade inferior da embarcação impactou na eficiência da correção automática do nadir.
Persistência de erros, artefatos, ruídos	Sem ruídos significativos; sombras acústicas coerentes e bem delineadas.	Linha do <i>nadir</i> mais marcada; ruídos discretos associados a oscilações da embarcação, mas sem comprometer o mosaico como um todo.
Cobertura e continuidade	Cobertura contínua, boa sobreposição entre linhas, sem falhas aparentes.	Cobertura igualmente contínua, mas clareza lateral ligeiramente prejudicada pelo <i>nadir</i> mais evidente.
Qualidade final da sonografia	Alta qualidade – mosaico com excelente contraste, definição de feições e sombras acústicas coerentes.	Alta qualidade, mas inferior à CDI1 – mosaico consistente, porém com nadir evidente e leve perda de definição lateral.

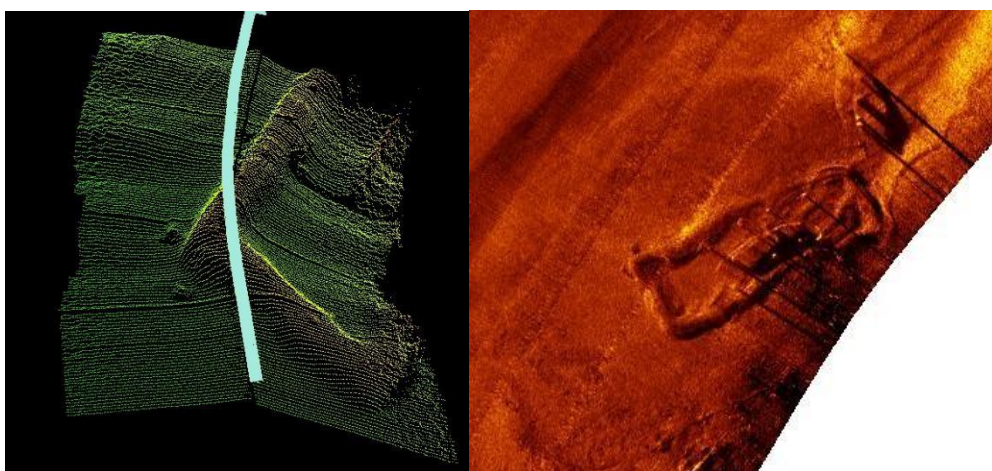
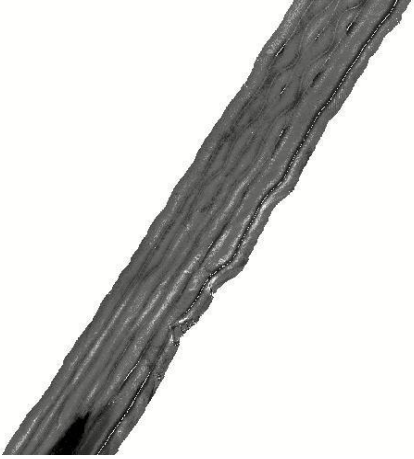
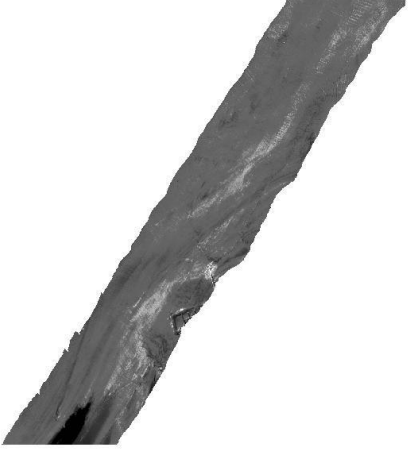
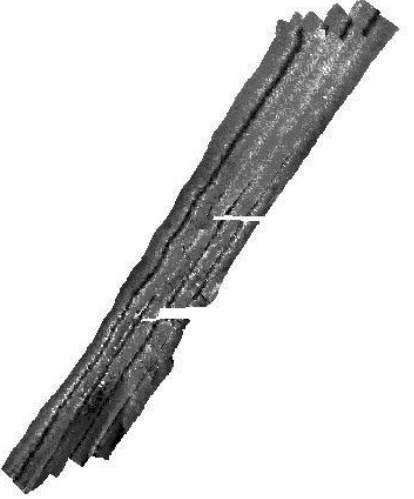
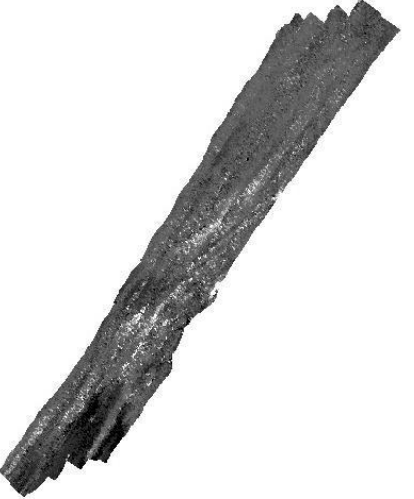


Figura 34 - - Nuvem de pontos e sonografia da estrutura antrópica do Canal de Itaparica campanha 1

4.3.3 Retroespalhamento campanha 1 e 2 Canal de Itaparica

Tabela 15 - Comparação visual dos dados de retroespalhamento brutos e pós-tratamento (CDI).

Campanha	Dado Bruto	Dado tratado
1		
2		

4.3.3.1 Discursão retroespalhamento naufrágio campanha 1

A análise do mosaico de retroespalhamento acústico da área naufr1 evidencia uma distribuição predominantemente coerente e contínua da intensidade de sinal ao longo do fundo, com zonas bem definidas de alto e baixo *backscatter*, consistindo com os padrões esperados para fundos sedimentares mistos nessa região propostos por Lessa e Dias (2009), com áreas de maior intensidade (tons mais claros) sugerindo substratos mais consolidados ou rugosos, enquanto zonas de menor retorno (tons escuros) indicam sedimentos finos ou fundos mais macios. Essa coerência sugere um bom desempenho do sistema de aquisição e da calibração dos sensores, refletindo condições favoráveis de navegação e operação dos equipamentos durante a coleta dos dados.

Assim, o produto de retroespalhamento é de alta qualidade pois apresenta características técnicas que validam sua utilização em análises de caracterização de

substrato, mapeamento de habitats e integração com dados morfológicos. A estabilidade da embarcação, a eficácia do *Patch Test*, as condições ambientais controladas e a correta calibração dos sensores contribuíram diretamente para a obtenção de um mosaico de alta qualidade, com boa representação espacial da intensidade acústica e fidelidade na discriminação dos diferentes tipos de fundo marinho.

4.3.3.2 *Discursão retroespalhamento naufrágio campanha 2*

A análise do mosaico de retroespalhamento acústico da campanha 2 do Canal de Itaparica revelou uma qualidade geral inferior em comparação à primeira campanha. Diferentemente do observado anteriormente, quando os padrões de intensidade acústica se apresentaram claros e bem definidos, nesta campanha a visualização mostrou-se marcada por ruídos e pela perda de nitidez nas transições entre zonas de alto e baixo *backscatter*. Essa limitação comprometeu a homogeneidade do mosaico, resultando em um produto menos consistente.

As áreas de maior e menor intensidade acústica não se destacaram com a mesma clareza, tornando difícil a discriminação de diferentes tipos de substrato. Além disso, a presença de ruídos nas faixas laterais e a baixa uniformidade geral do mosaico evidenciam a influência das condições ambientais mais adversas e da instabilidade da embarcação, especialmente em função dos ventos mais fortes registrados durante o levantamento.

Como consequência, o produto final de *backscatter* da campanha 2 mostrou-se limitado para aplicações mais detalhadas, como análises de substrato ou mapeamento de habitats bentônicos. Apesar de ainda oferecer informações gerais sobre a variação espacial da intensidade acústica, sua confiabilidade é inferior à do mosaico obtido na campanha 1, reforçando a importância das condições ambientais e da estabilidade operacional para a qualidade dos dados interferométricos.

4.3.3.3 *Comparação dos resultados de retroespalhamento das campanhas 1 e 2 do CDI.*

Tabela 16 - Comparação dos resultados de retroespalhamento das campanhas 1 e 2 do Canal de Itaparica.

Critério	Campanha 1	Campanha 2
Condições ambientais	Condições controladas, com influência mínima de vento e ondulação graças ao abrigo da costa.	Condições de vento mais intensas, embora parcialmente atenuadas pela costa. Ausência de dados de corrente superficial e ondulação (ADCP não recuperado).
Calibração	Patch Test e parâmetros de calibração adequados, assegurando um produto uniforme e confiável.	Parâmetros básicos aplicados, mas qualidade geral prejudicada pela atitude da embarcação, dificultando a uniformidade do mosaico.

Persistência de erros, artefatos, ruídos.	Baixa incidência de ruídos; transições entre zonas de diferentes intensidades bem definidas; ausência de artefatos relevantes.	Presença de ruídos evidentes, especialmente na linha do nadir e nas bordas; perda de nitidez nas transições entre diferentes tipos de fundo; produto menos homogêneo
Cobertura e continuidade	Boa cobertura espacial, com padrão coerente de intensidades, permitindo discriminação de substratos e habitats.	Cobertura heterogênea, com ruídos e baixa nitidez limitando a análise de substratos; produto pouco confiável para fins de mapeamento detalhado.
Qualidade final do mosaico de retroespalhamento	Alta qualidade — adequado para caracterização de substratos e habitats, integrando bem com a batimetria.	Qualidade inferior — limitado para caracterização de substratos, com ruídos e baixa resolução que comprometem análises ambientais mais refinadas.
Qualidade final do retroespalhamento	Alta qualidade — adequado para caracterização de substratos e habitats, integrando bem com a batimetria.	Baixa qualidade — limitado para caracterização de substratos, com ruídos e baixa resolução que comprometem análises ambientais mais refinadas.

4.3.4 Análise granulométrica com a sonografia

A análise granulométrica do fundo marinho foi realizada a partir dos dados de sonografia, utilizando a ferramenta *Classification* disponível no software *SonarWiz7*. Esse recurso aplica algoritmos de classificação supervisionada ou não supervisionada sobre o mosaico acústico, agrupando áreas com características semelhantes de retroespalhamento em diferentes classes acústicas.

Na prática, essa abordagem permite identificar padrões texturais no sinal acústico que estão associados à rugosidade e à composição do substrato, fornecendo uma estimativa indireta da distribuição granulométrica. Regiões de maior intensidade (maior retorno acústico) tendem a estar relacionadas a fundos mais consolidados, como cascalhos ou sedimentos grossos, enquanto áreas de menor intensidade (retorno mais fraco) geralmente correspondem a sedimentos finos, como lama ou areia fina.

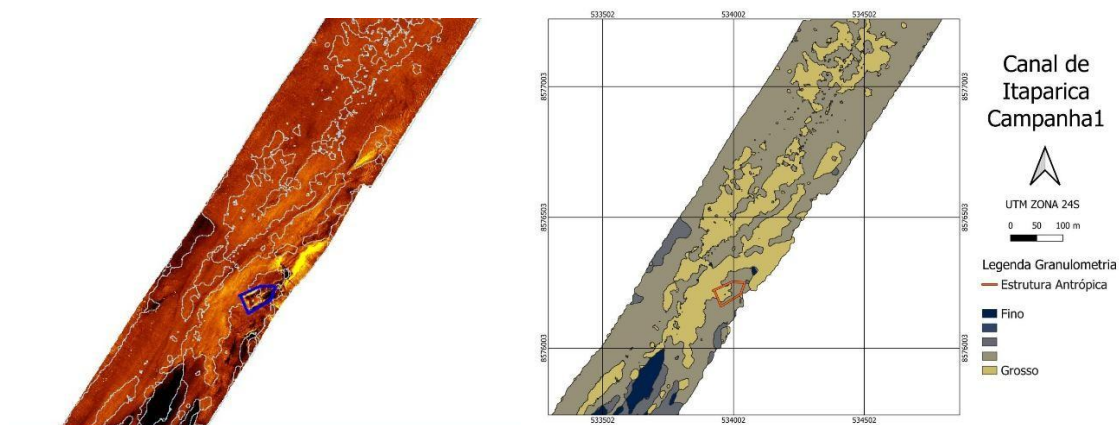


Figura 35 - Granulometria Cdl1

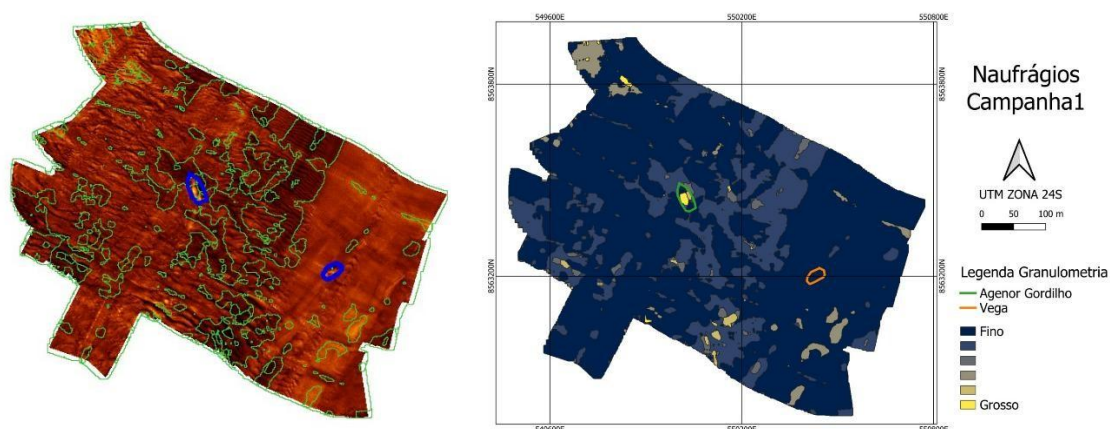


Figura 36 - Granulometria Nauf1

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou a qualidade dos dados interferométricos obtidos em quatro campanhas realizadas na Baía de Todos os Santos, com foco no Canal de Itaparica e nos naufrágios Homei e Vega. Os resultados permitiram identificar os principais fatores ambientais, operacionais e instrumentais que influenciam a qualidade final dos produtos batimétricos, sonográficos e de retroespalhamento acústico, confirmando as hipóteses propostas.

No que diz respeito à atitude da embarcação, ficou evidente que variáveis como vento, corrente e ondulação exercem influência direta sobre a resolução e a continuidade dos dados. Nas campanhas com condições ambientais mais amenas, observou-se maior estabilidade da plataforma e consequente melhoria na nitidez e homogeneidade dos produtos acústicos. Já em condições mais energéticas, ruídos laterais, bordas marcadas e maior evidência do nadir se tornaram mais frequentes, impactando especialmente a sonografia.

Outro aspecto relevante refere-se à montagem e calibração dos sistemas, onde os resultados demonstraram a importância do *Patch Test* bem executado para minimizar erros de *pitch*, *roll* e *yaw*. Embora tenham sido observados ajustes satisfatórios na maioria das campanhas, algumas persistências de artefatos foram atribuídas a limitações no processo de calibração.

No Canal de Itaparica, a comparação entre campanhas revelou que, apesar da manutenção das mesmas condições operacionais — embarcação, linhas de aquisição e equipamento, a segunda campanha apresentou uma definição lateral inferior. Essa diferença foi atribuída, em parte, às condições ambientais mais intensas, mas principalmente ao fenômeno conhecido como *multipath*, característico de sonares interferométricos como o *EdgeTech* 4600 em águas rasas. Nesses cenários, múltiplos sinais acústicos atingem simultaneamente os receptores, provocando distorções nas bordas do *swath* e reduzindo a acurácia do modelo digital de terreno. Esse resultado reforça a necessidade de atenção redobrada em ambientes rasos e geomorfologicamente complexos, onde as limitações técnicas do equipamento se tornam mais críticas.

A análise também confirmou a relevância do perfil de velocidade do som (SVP) na correção batimétrica, uma vez que erros sistemáticos na sua aplicação podem induzir deslocamentos verticais e distorções geométricas. Do mesmo modo, o tipo de embarcação demonstrou influência significativa: embarcações de menor porte e menos estáveis tendem a amplificar os efeitos das condições ambientais, impactando a qualidade dos dados.

De forma integrada, os resultados demonstram que a qualidade dos dados interferométricos não depende de um único fator, mas da combinação entre ambiente, operação e instrumentação. A validação das hipóteses formuladas confirma que: (i) a atitude da embarcação impacta a resolução e o nível de ruído dos dados, (ii) a calibração adequada dos sensores é determinante para a confiabilidade dos produtos, e (iii) a correta aplicação da velocidade do som é indispensável para a acurácia batimétrica.

Assim, este estudo contribui para a compreensão dos limites e potencialidades do uso de sistemas interferométricos em ambientes costeiros, destacando a importância de estratégias de aquisição adaptadas ao contexto ambiental, da calibração cuidadosa dos sensores e da análise crítica dos produtos gerados. Esses achados são particularmente relevantes para aplicações operacionais em regiões costeiras complexas, onde a busca por dados acústicos de alta qualidade é essencial para a pesquisa científica, a gestão ambiental e atividades de engenharia subaquática.

6 REFERÊNCIAS

- AYRES NETO, A. Geofísica aplicada à exploração geológica e ambiental. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2001.
- AYRES NETO, A. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 18, n. 3, p. 242–254, 2001.
- BISPO, B. M. O papel dos estudos oceanográficos na gestão de conflitos da Zona Costeira: o caso das comunidades da Ilha de Maré, Baía de Todos os Santos, Bahia. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019.
- BOYRA, G.; PARADINAS, I.; RICO, I.; MARTÍNEZ, U.; NOGUEIRA, E. Understanding the impact of along-transect resolution on acoustic surveys. *Scientific Reports*, v. 13, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40960-6>.
- CHAPMAN, N. R.; ELEANOR, M. Introduction to underwater acoustics: principles and applications. Dordrecht: Springer Science & Business Media, 2006.
- DOMINGUEZ, J. M. L.; ANDRADE, A. C. S.; ALMEIDA, A. B.; BITTENCOURT, A. C. The Holocene barrier strandplains of the State of Bahia. In: HEALY, T. R.; MEIRELES, A. J. A.; TANNER, W. F. (Org.). *Geology and geomorphology of Holocene coastal barriers of Brazil*. Berlin: Springer, 2009. (Lecture Notes in Earth Sciences, v. 107). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-44771-9_8.
- FAKIRIS, E. et al. Multi-frequency, multi-sonar mapping of shallow habitats – efficacy and management implications in the National Marine Park of Zakynthos, Greece. *Remote Sensing*, v. 11, n. 4, p. 461, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11040461>.
- GENZ, F.; LESSA, G.; CIRANO, M. The impact of an extreme flood upon the mixing zone of the Todos os Santos Bay, Northeastern Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. 2004, n. 39, 2006.
- HOSSAIN, K.; HASAN, N.; SOHAN, T.; MAHMUD, S. Effect of length on the stability of a ship. *SSRN Electronic Journal*, 2023. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4443824>.
- IBRAHIM, R. A.; GRACE, I. M. Modeling of ship roll dynamics and its coupling with heave and pitch. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2010, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1155/2010/934714>.
- JESUS, H. G. C. F. M.; LUGON JUNIOR, J.; FERREIRA, C. N. Revisão das tecnologias utilizadas para levantamento batimétrico em corpos hídricos. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, v. 9, n. 2, p. 145–163, 2015. DOI: <https://doi.org/10.19180/2177-4560.v9n215-10>.
- KARAPETYAN, N.; MOULTON, J.; REKLEITIS, I. M. Dynamic autonomous surface vehicle control and applications in environmental monitoring. In: *OCEANS 2019 MTS/IEEE*

- Seattle. Anais [...]. [S.l.: s.n.], 2019. DOI: <https://doi.org/10.23919/OCEANS40490.2019.8962831>.
- LESSA, G. C.; DIAS, K. C. Distribuição espacial das litofácies de fundo da Baía de Todos os Santos. *Revista Oceanografia e Geologia da UFBA*, n. 2, 2009.
- PINHO, M. P.; MADUREIRA, L. S.; CALLIARI, L. J.; GRIEP, G. H.; COOKE, C. V. Depósitos fosfáticos marinhos na costa sudeste e sul do Brasil: potenciais áreas de ocorrência identificadas com dados de retroespalhamento acústico do fundo e sedimentológicos analisados sobre mapa batimétrico 3D. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 29, n. 1, p. 113–126, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2011000100008>.
- STEPHENS, D.; DIESING, M. A comparison of supervised classification methods for the prediction of substrate type using multibeam acoustic and legacy grain-size data. *PLoS ONE*, v. 9, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093950>.
- URICK, R. J. Principles of underwater sound. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1983.
- VOOGD-CLAESSEN, H. et al. Development of an innovative single scull for the recreational rower. *Procedia Engineering*, v. 2, p. 2701–2706, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.04.054>.
- YANG, H.; LIANG, B.; GAO, H.; SHAO, Z. High-resolution mapping of significant wave heights in the Northeast Pacific and Northwest Atlantic using improved multi-source satellite altimetry fusion method. *Frontiers in Marine Science*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1458892>.
- YU, Y.; KOK, Z.; CHAI, S.; ENSHAEI, H.; WOODWARD, M. Previsão URANS em escala real da estabilidade transversal de uma embarcação no vento e nas ondas sob condição de elevação. *Revista Internacional de Engenharia Marítima*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5750/ijme.v164ia2.811>.