Universidade Federal Fluminense
Instituto De Geociências
Departamento De Geologia E Geofísica
Programa De Pós-Graduação Em Dinâmica Dos Oceanos E Da Terra

JOÃO MANENGA DANIEL

# DA PAISAGEM EMERSA A PAISAGEM SUBMARINA: FORMAÇÃO DE UM SUBSTRATO SUBMARINO APÓS 70 ANOS DE EROSÃO COSTEIRA NO DELTA DO RIO PARAÍBA DO SUL

NITERÓI-RJ

2025

**JOÃO MANENGA DANIEL**

# DA PAISAGEM EMERSA A PAISAGEM SUBMARINA: FORMAÇÃO DE UM SUBSTRATO SUBMARINO APÓS 70 ANOS DE EROSÃO COSTEIRA NO DELTA DO RIO PARAÍBA DO SUL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra do Departamento de Geologia e Geofísica da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geologia e Geofísica.

**Orientadores:**

Prof. Dr. Guilherme Borges Fernandez

Prof. Dr. João Regis dos Santos Filho

NITERÓI-RJ

2025

Ficha catalográfica automática - SDC/BIG
Gerada com informações fornecidas pelo autor

D184p Daniel, JOÃO MANENGA
DA PAISAGEM EMERSA A PAISAGEM SUBMARINA: FORMAÇÃO DE UM SUBSTRATO SUBMARINO APÓS 70 ANOS DE EROSÃO COSTEIRA NO DELTA DO RIO PARAÍBA DO SUL / JOÃO MANENGA Daniel. - 2025.
59 f.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Borges Fernandez.
Coorientador: João Regis dos Santos Filho.
Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense, Instituto de Geociências, Niterói, 2025.

1. Submarine Human Occupation Sites. 2. Paisagem Submarina (Seascape). 3. Sonar de Varredura Lateral. 4. Antropoceno. 5. Produção intelectual. I. Fernandez, Prof. Dr. Guilherme Borges, orientador. II. Santos Filho, João Regis dos, coorientador. III. Universidade Federal Fluminense. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDD - XXX

Bibliotecário responsável: Debora do Nascimento - CRB7/6368

JOÃO MANENGA DANIEL

**DA PAISAGEM EMERSA A PAISAGEM SUBMARINA: FORMAÇÃO DE UM SUBSTRATO SUBMARINO APÓS 70 ANOS DE EROSÃO COSTEIRA NO DELTA DO RIO PARAÍBA DO SUL**

Aprovada em 24 de fevereiro de 2025, pela banca examinadora:

Prof. Dr. Guilherme Borges Fernandez - **UFF** (Orientador)

Instituto de Geociências- Departamento de Geologia e Geofísica/LAGEMAR

---

Prof. Dr. João Regis dos Santos Filho - **UERJ** (Coorientador)

Faculdade de Oceanografia- Departamento de Oceanografia Geológica

---

Prof. Dra. Thais Baptista da Rocha – **UFF** (Interno)

Instituto de Geociências- Departamento de Geografia

---

Prof. Dr. Allan Sandes de Oliveira – **UERJ** (Externo)

Departamento de Geografia

---

Prof. Dr. Arthur Ayres Neto – **UFF** (Interno)

Instituto de Geociências- Departamento de Geologia e Geofísica/LAGEMAR

---

**DEDICATÓRIA:**

*Em memória dos meus pais, Daniel Dango  e Elisa Augusto, e*

*a todos Moçambicanos sem acesso à educação.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus todo soberano por estar sempre presente em todo meu percurso, instruindo-me, corrigindo-me e acima de tudo consolando-me. Agradecimento especial aos meus orientadores, Prof. Dr. Guilherme Borges Fernandez, pelas maravilhosas histórias e ricas em ensinamentos, e Prof. Dr. João Regis, pelo acompanhamento, paciência abrindo novos horizontes. Imensurável agradecimento aos meus irmãos, Albino Daniel, Gimo Daniel, Amelia Daniel, Efraime Daniel, e a minha namorada Letícia Regineta. Ao Programa de Pós-Graduação em Dinâmica dos Oceanos e da Terra (PPGDOT), pela oportunidade e aos Professores que transmitiram a ciência, construíram o conhecimento e ensinaram-me valores que me tornaram cosmo visionário em Geologia e Geofísica. Aos meus amigos e colegas que marcaram esta caminhada, minha gratidão é imensa. Ao, PhD. Antônio Raul, pelas conversas descontraídas, sinceras e sábias desde a minha chegada no RJ. Ao Jairson (Mr. Bronca), por ser um companheiro fiel nos momentos de estudo e nas idas à Cantareira; Pedro Fernandes, pelas resenhas enquanto aguardámos o café sair, ao AP Kiambote, que se destaca pela sua generosidade e pela união que promove entre os africanos na UFF, ao Florentino Maria (Rei dos scores), ao Ângelo Quimbine, Carlos Mamboza, e sem se esquecer do Colt Blame, cuja amizade tem sido constante desde a minha chegada ao Brasil. Um agradecimento especial à equipe de LAGEF Futebol Clube, os Professores e Post-Doc, pelo acolhimento para o desenvolvimento desta pesquisa, ao Eng. Arthur Brandão, pelo suporte técnico, ao Mahathma Aguiar, e ao Professor Hélio Heringer, pelo suporte durante o trabalho de campo. Ao Governo Brasileiro e a CAPES, que, através da bolsa de mestrado, abriram portas para que eu pudesse contribuir com o conhecimento sobre o Antropoceno submarino na região do Delta do Rio Paraíba do Sul, sem esse apoio institucional, esta jornada teria sido impossível.

## EPÍGRAFE

***"O mar não é um obstáculo: é um caminho."***

Amyr Klink

**Resumo:**

Deltas marinhos são planícies costeiras formadas a partir de sedimentos fluviais, que se sobrepõem a capacidade das ondas e marés de redistribuírem este material, alterando a morfologia do litoral. Estas planícies apresentam uma série de ambientes deposicionais que facilitaram a fixação de diferentes grupos sociais desde o Holoceno Médio até o atual (Antropoceno). Exemplos da ocupação humana em escala geológica são bem-marcados em deltas ao longo do Mediterrâneo e na Ásia. De fato, pesquisas recentes destacam a importância da ocupação costeira na configuração da paisagem emersa e submarina em áreas deltaicas. Especificamente em relação à paisagem submarina, tais materiais identificados resultam na classificação dos *Submarine Human Occupation Sites* (SHOS). Esses sítios representam vestígios de ocupação humana submersos que influenciam diretamente a geomorfologia do leito marinho, estando submersos devido a fatores como subsidência, variações do nível do mar ou erosão costeira. Por outro lado, os deltas no continente americano, principalmente na costa oriental brasileira (Paraíba do Sul, Doce, Jequitinhonha e São Francisco, por razões históricas tem sua ocupação por adensamento bem mais recente, remontando os últimos 500 anos. Os deltas da costa leste brasileira são exemplos globais de deltas dominados/influenciados por onda, sendo caracterizados pela formação de sucessivas cristas de praia, marcando posições pretéritas da posição da linha de costa. No caso específico do Paraíba do Sul, o processo de ocupação se deu a partir do século XVII, com a cidade de São João de Barra, e posteriormente à localidade de Atafona. Esta última está posicionada próxima à foz e se tornou um balneário de veraneio desde os anos 1950. E Atafona vem se desenvolvendo um intenso processo erosivo, que comprometeu severamente a infraestrutura da cidade. Este processo erosivo vem sendo alvo de diferentes estudos nas duas últimas décadas, em que a foram identificadas perdas de área urbana da ordem de 40 quarteirões envolvendo diferentes benfeitorias. Se os registros emersos foram bem caracterizados, os resultados na paisagem submarino são incertos. Assim, o principal objetivo deste trabalho foi mapear o fundo marinho próximo à foz do rio Paraíba do Sul, uma área que apresenta pelo menos 70 anos de recuo contínuo da linha de costa, resultando na destruição de parte da cidade de Atafona. Para atingir esse objetivo, foram realizadas expedições com Sonar de Varredura Lateral, cobrindo uma extensão de 42,2 quilômetros na parte sul do delta do rio Paraíba do Sul. Itens associados a *Submarine Human Occupation Sites* (SHOS) foram detectados, catalogados, medidos, mapeados e comparados com a posição da linha de costa e as áreas construídas em diferentes períodos (1954, 1976, 2005 e 2023), com base em fotografias

aéreas e imagens de satélite. Os resultados sugerem que os locais de *Submarine Human Occupation Sites* (SHOS), seguiram a tendência predominante do transporte sedimentar em direção ao sul sendo gradualmente redistribuídos por ondas e correntes. Itens menores foram progressivamente depositados em áreas mais afastadas da costa. Três principais campos de detritos foram identificados, com a maior concentração de elementos localizada entre as linhas de costa de 1976 e 2005. Desta forma, a área do delta do Paraíba do Sul se mostrou como um bom exemplo da paisagem marinha do Antropoceno.

**Palavras-chave:** Submarine Human Occupation Sites, Erosão Costeira, Paisagem Submarina (Seascape), sonar de Varredura Lateral, Antropoceno.

**Abstract :**

Marine deltas are coastal plains formed by river sediments that exceed the ability of waves and tides to redistribute this material, altering the coastal morphology. These plains encompass a variety of depositional environments that have facilitated the settlement of different social groups from the Middle Holocene to the present (Anthropocene). Examples of human occupation on a geological scale are well documented in deltas across the Mediterranean and Asia. Recent research highlights the importance of coastal occupation in shaping both the emerged and submerged landscapes of deltaic areas. Specifically concerning the underwater landscape, identified materials have led to the classification of Submarine Human Occupation Sites (SHOS). These sites represent submerged traces of human occupation that directly influence the seafloor's geomorphology, being submerged due to factors such as subsidence, sea-level variations, or coastal erosion. On the American continent, deltas—particularly those along Brazil's eastern coast (Paraíba do Sul, Doce, Jequitinhonha, and São Francisco)—have experienced relatively recent settlement, mostly within the past 500 years due to historical factors. The deltas along Brazil's east coast are global examples of wave-dominated deltas, characterized by successive beach ridges marking past positions of the coastline. In the specific case of the Paraíba do Sul Delta, human settlement began in the 17th century with the establishment of São João da Barra, followed by the development of Atafona. Located near the river's mouth, Atafona became a summer resort town in the 1950s. However, the town has since experienced intense coastal erosion, severely compromising its infrastructure. Over the past two decades, various studies have documented the loss of urban areas, with approximately 40 city blocks affected by erosion and the destruction of buildings and infrastructure. While emerged records of this erosion are well documented, the impact on the submerged landscape remains uncertain. Thus, the main objective of this study was to map the seafloor near the mouth of the Paraíba do Sul River, an area that has experienced at least 70 years of continuous coastline retreat, leading to the destruction of parts of Atafona. To achieve this goal, we conducted a shallow survey using Side-Scan Sonar, covering 42.2 kilometers in the southern part of the Paraíba do Sul Delta. Items associated with Submarine Human Occupation Sites (SHOS) were detected, cataloged, measured, mapped, and compared with coastline positions and built-up areas from different periods (1954, 1976, 2005, and 2023) using aerial photographs and satellite images. The results suggest that SHOS sites followed the predominant sediment transport trend towards the north, gradually being redistributed by waves and currents. Smaller items were progressively

deposited in areas farther from the coast. Three main debris fields were identified, with the highest concentration of elements located between the 1976 and 2005 coastlines. Our findings indicate that the submarine debris in the Paraíba do Sul Delta is a clear example of the Anthropocene's marine landscape. For a long time, human prehistory marginalized the role of oceans, islands, and coastal areas, considering human adaptations to these environments as a relatively recent development, limited to the past 15,000 years. However, recent research highlights the significance of coastal occupation in shaping the current submarine landscape, reinforcing the classification of Submarine Human Occupation Sites (SHOS). These sites remain underexplored, particularly regarding the relationship between human occupation and changes in the submarine landscape.

**Keywords:** Submarine Human Occupation Sites, Coastal Erosion, Submarine Seascape, Side-Scan Sonar, Anthropocene.

**SUMÁRIO**

1. **INTRODUCÃO** ..... 1

2. Área de Estudo ..... 4

2.1. Contexto Geológico ..... 4

2.2. Contexto Oceanográfico ..... 7

**3. MATERIAIS E MÉTODOS** ..... 9

3.1. Aquisição de dados de Sonar de Varredura Lateral ..... 10

3.2. Processamento de dados do Sonar de Varredura Lateral ..... 11

3.3. Análise do Comportamento da Linha de Costa do Delta do Rio Paraíba do Sul ..... 14

4. **RESULTADOS** ..... 17

4.1. Classes de características submarinas determinadas pelo SVL e distribuição espacial dos padrões sonográficos ..... 17

5. **DISCUSSÃO** ..... 28

5.1. Padrões sonográficos associados às ondas e sedimentação deltaica ..... 28

5.2. Evolução e Distribuição de Sítios de Ocupação Humana Submarina no Contexto das Dinâmicas Costeiras ..... 30

6. **CONCLUSÃO** ..... 33

7. Referências bibliográficas ..... 34

**ANEXOS** ..... 45

**FIGURAS E TABELAS**

**Figura 1:** Área de estudo, Localidade de Atafona, e ii) disposição das linhas de navegação durante o levantamento com o Sonar de Varredura Lateral ao longo do Sul do Rio Paraíba do Sul, Localidade de Atafona. ..... 5

**Figura 2:** Schematic of the Starfish 452F Side Scan Sonar applied during the fieldwork. ..... 11

**Figura 3:** Processo de retirada da coluna de água pela ferramenta Bottom Track no SonarWiz 7.09.01, visualizada pela demarcação da linha preta limitando a coluna de água com a superfície de fundo. ..... 12

**Figura 4:** Fluxograma metodológico utilizado na pesquisa. ..... 16

**Figura 5:** Distribuição pontual de todos os artefatos antrópicos identificados no fundo marinho, na área de estudo. Nota-se, que diferentes padrões sonográficos identificados na área: (A) Porção norte de Atafona, caracterizada por areia média e presença de ripplemarks; (**B**) Porção distal, com sedimentos finos; (**C**) Porção Sul, apresentando pequenos detritos; e (**D**) Região próxima à linha de costa, com alta densidade de estruturas e vestígios no sonograma. ..... 20

**Figura 6:** Feição associada a ripplemarks, com influência fluvial (azul claro), enquanto as setas vermelhas indicam a influência das ondas na dinâmica sedimentar da frente deltaica. ..... 21

**Figura 7:** Região próxima à costa, caracterizada por uma alta densidade de estruturas e vestígios submersos, incluindo possíveis restos de construções, fragmentos de embarcações e outros elementos antrópicos. ..... 22

**Figura 8:** Mapa de densidade de Submarine Human Occupation Sites identificados no fundo marinho com base em dados de SVL, evidenciando áreas de maior concentração dessas estruturas submersas e sua distribuição espacial. ..... 23

**Figura 9:** Mapa da distribuição dos Submarine Human Occupation Sites, em função de distribuição do comportamento erosivo da linha de costa. Notar que a concentração de ocorrências está estabelecida entre as linhas de 1976 e 2005, provavelmente a época de maior concentração de ocorrências está estabelecida entre as linhas de 1976 e 2005. ..... 27

**Figura 10 e 11:** (A) Porção de maior concentração dos vestígios, conforme indicado na Figura 6. (B) Porção sul da área, com concentração relativamente baixa de detritos. ..... 27

Figura 11: Janela de aplicação dos filtros BAC e AGC nos Sonogramas, com os respectivos valores empregados. ..... 45

**Tabela 1:** Retornos acústicos e características das formações do fundo do mar, Barnhard et al., (1998). ..... 13
**Tabela 2:** Imagens disponíveis utilizadas para a identificação das áreas ocupadas..... 15
**Tabela 3:** Padrões e características acústicas que representam Sítios de Ocupação Humana Submarina (SHOS) e influência antrópica. ..... 24
**Tabela 4**: Padrões acústicos associados à influência marinha. ..... 25

# 1. INTRODUCÃO

Deltas marinhos são planícies costeiras que se desenvolveram durante o Quaternário em função do aporte sedimentar moderno se sobrepondo à capacidade de forçantes oceanográficas dispersarem estes materiais, de forma que se torna notável a alteração na morfologia litorânea não somente emersa, mas também submarina. Modelos descritivos para melhor entendimento da fisiografia deltaica foram construídos ao longo dos anos 1970 para que fossem agrupados padrões morfológicos observados em planta (Galloway, 1975), com reflexos diretos nos padrões de empilhamento sedimentar (Coleman e Wright, 1975), que possibilitaram melhor assertividade da evolução quaternária destas feições. A maior parte dos deltas modernos se desenvolveram a partir da desaceleração glacioeustática entre o Holoceno Inferior (11,7 ka) e o Holoceno Médio (8,2 ka), conforme sugerido por Stanley e Warne (1994). Em função de uma série de ambientes deposicionais formados durante a evolução quaternária dos deltas, estes foram fundamentais para o estabelecimento de diferentes grupos sociais, principalmente em deltas formados no Mar Mediterrâneo e no Oceano Índico (Stanley e Warne, 1997, Anthony et al. 2024).

A concentração populacional sobre os deltas localizados na costa mediterrânea e asiática tem sido constantemente identificados como representativos da pressão populacional que estas áreas têm sofrido nos últimos 100 anos (Nicholls et al., 2020; Renaud et al., 2013). Tal concentração populacional tem sido identificada como vulnerável para eventos futuros definidos por elevação no nível do mar (Ericson et al., 2006), ou mesmo a própria ocupação alterando as condições naturais evolutivas esperadas para estas planícies (Syvitski & Saito, 2007). Desta maneira, pode-se afirmar que os deltas podem ser considerados áreas prioritárias para investigações relacionadas às alterações antrópicas, que definiriam os deltas como *hotspots* daquilo que tem sido considerado como resultados de intervenções do homem sobre a estrutura e funcionamento de diferentes ambientes, formalmente definido como antropoceno (e.g. Jefferson et al., 2013; Lewis & Maslin, 2015; Steffen et al., 2007, 2011, 2015; Zalasiewicz et al., 2010).

Se os deltas observados na Asia e Mediterrâneo são sensivelmente ocupados, o mesmo não se pode dizer para os deltas localizados na costa oriental brasileira, representados pelos deltas do São Francisco, Jequitinhonha/Pardo, Doce e Paraíba do Sul (e.g. Martin et al, 1997; Dominguez, 2009; Fernandez et al, 2019). A ocupação rarefeita deve-se provavelmente à história da ocupação costeira

colonial brasileira, que privilegiou baías e reentrâncias litorâneas, como áreas mais favoráveis para a fixação das primeiras cidades após a chegada dos portugueses no litoral do Brasil. De fato, cidades como Rio de Janeiro e Salvador representam áreas densamente ocupadas desde tempos coloniais, localizadas em baias estruturalmente controladas, favoráveis à navegação, abrigada da ação de ondas e com amplo acesso à água doce.

Se existem diferentes padrões de ocupação entre os deltas do hemisfério norte, em relação aos deltas brasileiros, o mesmo pode-se se dizer sobre a morfologia. Em termos morfológicos os deltas da costa leste do Brasil representam típicos deltas dominados por ondas (Galloway, 1975), em que a morfologia predominante está associada à formação de cristas de praia, comumente interpretadas como a tradução de beach ridges (e.g. (Hesp et al., 2005; Lauderdale et al., 1996; Otvos, 2000; Tamura, 2012). Nestes deltas o desenvolvimento das cristas de praia marca sucessivas posições da linha de costa, de forma que o processo de progradação se torna evidente pela formação de elevações e depressões marcando a migração do continente em direção ao oceano. O nível de energia de ondas é uma característica importante, pois enquanto deltas dominados por ondas no Mediterrâneo foram desenvolvidos em condições de baixa energia, os deltas da costa oriental evoluíram sobre condições de exposição à ondas de tempestade (Dominguez, 2023). Se as alterações humanas nos ambientes deltaicos, ou de maneira mais ampla na zona costeira como um todo, sendo destacadas em diferentes escalas de tempo (Ramesh et al., 2015), existem lacunas na identificação de aspectos relacionados as atividades humanas preservadas ou derivadas das atividades sociais na zona submarina. Neste sentido, recentemente, houve esforços para identificar como que a ocupação humana na zona costeira se reflete na paisagem submarina, resultando na classificação de *Submarine Human Occupation Sites* (SHOS) (Flemming, 2004). Conceitualmente, os SHOS são os resquícios de ocupação humana que interferem diretamente na configuração geomorfológica atual do leito marinho, estando submersos por diversos fatores como subsidência, variação do nível do mar ou erosão costeira. Usualmente relacionam-se os SHOS com ocupações costeiras que são alvos de trabalhos arqueológicos desenvolvidos na antiguidade. Como exemplo, remanescentes de portos antigos, como no estreito de Dellos, na Grécia (Desruelles et al. 2023), ruínas submersas em Port Royal, na Jamaica (Hamilton, 2007), ruínas de ocupação portuária na ilha de Bet Dwarka, Índia, (Gaur et al. 2005), além de megaestruturas usadas para caça na plataforma continental do Mar Báltico (Geersen et al., 2024). Embora, exemplos modernos de SHOS sejam raros na literatura acadêmica, eles podem ser importantes para entender a relação

entre ocupação humana e alterações na paisagem submarina, envolvendo dados de dinâmica costeira e o impacto direto sobre benfeitorias humanas mais recentes.

O SHOS podem ser considerados como paisagem submarina (*seascape*) que é um espaço oceânico complexo, moldado por processos dinâmicos que atuam em várias escalas espaciais e temporais, dando origem a diferentes padrões naturais observados no fundo marinho (Steele, 1989; Levin, 1992; Boström et al. 2011). O conceito de paisagem marinha que é utilizado neste trabalho se remete mais a paisagem submarina ou submarine landscape, uma vez que o conceito de seascape é mais utilizado pelas ciências sociais, ou por estudos relativos a geoecologia (Martín et al., 2014; Pungetti, 2012). Assim como a paisagem terrestre (*landscape*), pode ser interpretada como um mosaico tridimensional, que não raramente representa variabilidade geológica, geomorfológica e ecológica (Pittman et al., 2007;Boström et al. 2011; Pittman et al. 2021), em que se assume, por processos naturais e antrópicos. À investigação dos *Submarine Human Occupation Site* (SHOS), pode ser realizada por observação direta, com mergulhos e registros fotográficos, ou por métodos indiretos, como o Sonar de Varredura Lateral, que permite gerar imagens bidimensionais do fundo marinho, facilitando a localização de objetos e estruturas submersas (Kenny et al. 2003); (Lubis & Manik, 2016). Este, especialmente em alta frequência, é eficaz na exploração submarina, proporcionando uma visão detalhada da superfície do fundo marinho, e sua resolução melhora com a frequência do sinal, embora a área coberta diminua (Roe et al. 2021). No litoral do estado do Rio de Janeiro, mais especificamente no litoral norte fluminense, destaca-se a planície deltaica associada ao Rio Paraíba do Sul (DRPS). Estudos relacionados à evolução quaternária tem sido desenvolvido desde os anos 1980, que a partir de mapeamentos em planta e datações por radiocarbono e por luminescência, mostraram como que o desenvolvimento do DRPS foi governado pelo abaixamento do nível do mar a partir do Holoceno Médio, dando origem a sequencias de cristas de praia, promovendo e progradação do DRPS (e.g. Dias 1980; Martim et al., 1997; da Rocha et al., 2019a, Fernandez et al., 2023). Em relação a estudos de morfodinâmica em escalas de tempo de décadas, o DRPS mostra comportamentos distintos, com processos de sedimentação identificados ao norte da atual desembocadura (Vasconcelos et al., 2016; Fernandez et al. 2023), e processos erosivos predominantes a sul, o (Dias, 1980) (Loureiro dos Santos et al., 2022); (Vasconcelos et al., 2016). Particularmente os processos erosivos identificados ao sul da desembocadura, tem afetado dramaticamente a localidade de Atafona, em que aproximadamente 12 quarteirões foram diretamente afetados (Machado et al 2024). Mesmo com uma boa

documentação da erosão costeira em Atafona, (Bastos et al., 2003) ainda não foram estudados quais os efeitos destes processos erosivos sobre o substrato marinho.

Neste sentido este trabalho teve como objetivo principal mapear e identificar os *Submarine Human Occupation Sites* (SHOS), resultado da erosão contínua nos últimos 70 anos, ao sul da desembocadura do Rio Paraíba do Sul, a partir de métodos sonográficos comparados com o comportamento da linha de costa durante os últimos 70 anos.

A importância dessa pesquisa reside, portanto, na ampliação do conhecimento sobre os efeitos das atividades humanas não apenas na linha de costa visível, mas também nas áreas submersas, que são essenciais para entender a dinâmica total da zona costeira. Assim, o estudo preenche uma lacuna significativa no entendimento dos impactos da ocupação humana sobre a geomorfologia submarina e oferece dados essenciais para políticas públicas de proteção e mitigação dos efeitos da erosão costeira.

## 2. Área de Estudo

### 2.1. Contexto Geológico

A localidade de Atafona está posicionada na margem meridional da desembocadura do rio Paraíba do Sul, ou seja, na faixa de sedimentação atual do DRPS (Figura 1), localizada na costa Sudeste do Brasil. Observado de maneira mais ampla o DRPS faz parte do Complexo deltaico do Rio Paraíba do Sul (CDRPS), que de acordo com Dias (1981), pode ser definido como um conjunto de ambientes sedimentares relacionados a diferentes fases de deltação do Rio Paraíba do Sul (RJ), sendo limitado ao sul por planícies fluvio-lagunares; e ao norte, por Tabuleiros do Grupo Barreiras, além da presença do domínio suave colinoso, desenvolvido sobre rochas pré-cambrianas a oeste da planície. Esta região faz parte da porção *onshore* da Bacia de Campos, (Murillo; Silva; Fernandez, 2009), (Da Rocha et al., 2019b), (Da Costa; Da Rocha; Fernandez, 2020).Uma particularidade morfológica relacionada ao DRPS, se define pela presença de feições típicas associadas a deltas assimétricos dominados por ondas, (Fernandez,2008) (Dominguez; Guimarães, 2021a), (Suguio et al., 1984a). De acordo com Ashton e Murray (2005) e Ashton e Giosan (2011), Rocha et al., (2019), este padrão assimétrico ocorre quando a hidrodinâmica estiver associada a ocorrência de ondas anti-difusivas, isto é, ondas que se aproximam com grande grau de

obliquidade em relação à linha de costa. Neste caso a feição deltaica tenderá a uma morfologia assimétrica, com o desenvolvimento de cristas de praia típicos de deltas dominados por ondas num flanco, enquanto em outro flanco, poderão ser geradas feições de instabilidade como barras submarinas, spits e lagunas. Uma particularidade morfológica relacionada ao DRPS, se define pela presença feições típicas associadas a deltas assimétricos dominados por ondas, (Fernandez,2008) (Dominguez; Guimarães, 2021a)(Suguio et al., 1984a). De acordo com Ashton e Murray (2005) e Ashton e Giosan (2011), Rocha et al., (2019), este padrão assimétrico ocorre quando a hidrodinâmica estiver associada a ocorrência de ondas antidifusivas, isto é, ondas que se aproximam com grande grau de obliquidade em relação à linha de costa. Neste caso a feição deltaica tenderá a uma morfologia assimétrica, com o desenvolvimento de cristas de praia típicos de deltas dominados por ondas num flanco, enquanto em outro flanco, poderão ser geradas feições de instabilidade como barras submarinas, spits e lagunas.

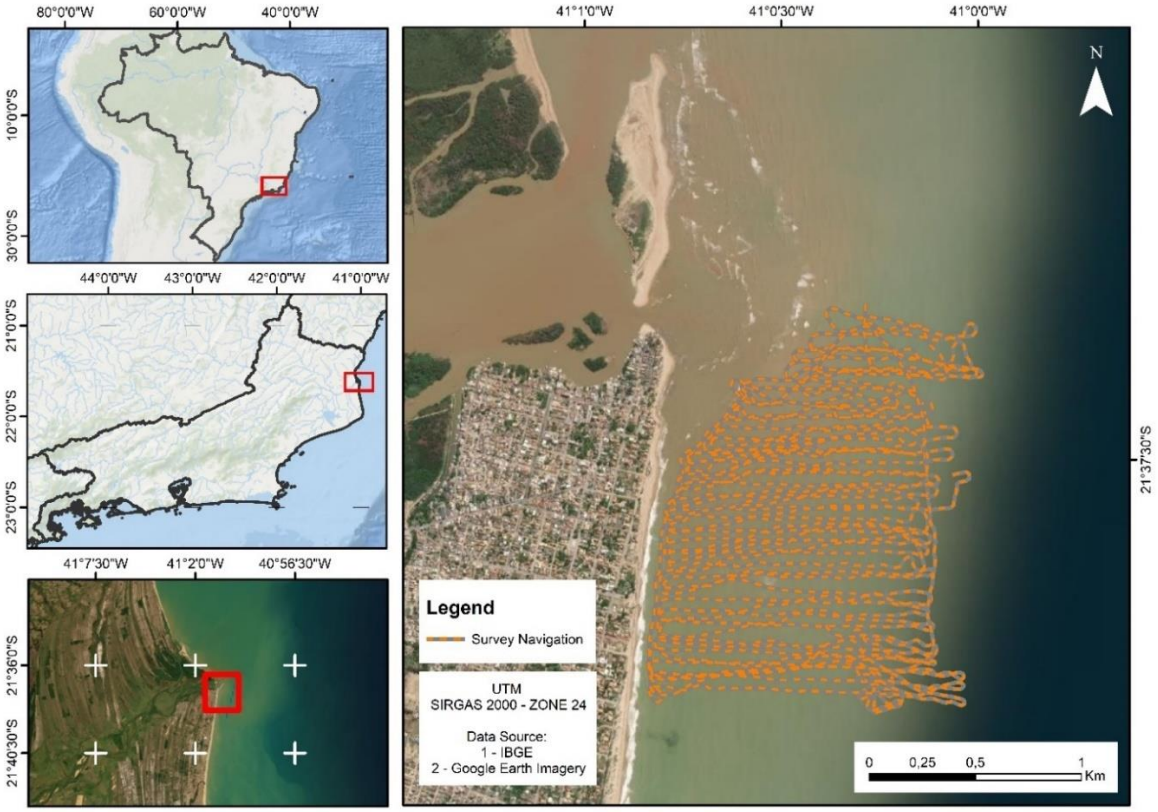



**Figura 1:** Área de estudo, Localidade de Atafona, e ii) disposição das linhas de navegação durante o levantamento com o Sonar de Varredura Lateral ao longo do Sul do Rio Paraíba do Sul, Localidade de Atafona.

O DRPS consiste em uma planície costeira quaternária, (Murillo; Silva; Fernandez, 2009) (Da Rocha et al., 2019b) (Da Costa; Da Rocha; Fernandez, 2020) sendo assolada pela erosão costeira.

Os processos de evolução quaternária do DRPS se desenvolveram ao longo de uma extensa planície costeira formada sob condições de desaceleração e abaixamento do nível relativo do mar regionalmente, identificado por Angulo et al., (2006) durante o Holoceno Médio e Superior, na costa brasileira, que acabou por influenciar diretamente a construção do DRPS (e.g. Dominguez et al, 1981; Martim et al 1994;), em função do aporte sedimentar do Rio Paraíba do Sul (Rocha et al., 2019 e Figueiredo et al., 2021). Portanto, atualmente se assume sua formação foi condicionada pelo aporte sedimentar do rio e pelas condições de diminuição do nível relativo do mar nos últimos 5.000 anos, conforme descrito por Dias e Gorini (1980); Dominguez et al. (1981); Martin et al. (1984); Silva (1987) e Bastos (1997), Rocha et al., 2019 e Fernandez et al. (2023).

A geomorfologia desta planície é formada por uma sucessão de feixes de cristas de praia e representa um processo evolutivo de progradação da linha de costa com episódios truncamentos erosivos que marcariam fases de interrupção no processo de progradação da planície deltaica, especificamente no flanco sul da fase mais recente de deltação (Dias, 1981; Bastos 1997, Rocha et al. 2017, Rocha et al. 2019). É possível se observar a existência de paleodunas associada às discordâncias na orientação dos feixes de cristas de praia, que marcariam registros pretéritos da ocorrência de eventos erosivos ao longo de sua evolução (Dominguez et al. 1981; Silva, 1987; Martin et al.,1997; Bastos, 1997; Almeida et al., 2005, Ângulo et al. 2006, Vasconcelos, 2010 e Rocha et al. 2018).

Na linha de costa atual, desde a década de 1950 a região vem experimentando fases erosivas que já causaram a perda de mais de 14 quadras de ruas, e quase 200 construções no distrito de Atafona (Azevedo, 2004 e Santos, 2006). De acordo com Fernandez et al. (2008) e Rocha et al. (2018) apontam ainda que a erosão acaba por disponibilizar sedimentos que, sobre a atuação intensa dos ventos de nordeste (NE) locais, levou ao desenvolvimento vertical de dunas e sua migração sobre as edificações.

Em relação à sedimentação marinha, Dias e Gorini (1980) mostram a ocorrência de areias depositadas próxima a desembocadura fluvial, a que atribuem a materiais mais grossos, tracionados para áreas mais distais à foz, durante períodos de alta vazão. Estas areias formariam

bancos arenosos da frente deltaica. Nas áreas mais distais, lamas estão dispostas paralelamente à curvatura da frente deltaica, formando depósitos lamosos típicos de prodelta. Estudos conduzidos por Murilo et al (2009), a partir de dados sísmicos de alta frequência, identificaram que estas lamas prodeltaicas tinham espessuras de até 4 metros, com diminuição das isópacas conforme se distancia da foz. Vasconcelos et al. (2016) também identificaram este padrão de deposição deltaica, porém mostram que as areias depositadas na frente deltaica, estão parcialmente organizadas em ondas arenosas (*sand waves*). Estas feições submarinas seriam gradualmente impulsionadas de sul para norte, a partir da desembocadura, dando origem a sedimentação que promove a sedimentação da linha de costa, geando processos progradacionais.

### 2.2. Contexto Oceanográfico

A área de estudo apresenta características de clima tropical húmido (Costa, 1994), marcada por um período chuvoso no verão e uma estação seca no inverno. Segundo Pinho (2003), a região está sobre a influência da célula de Alta Pressão do Atlântico Sul fazendo com que predominem ventos do quadrante nordeste (NE) com velocidades médias variando entre 2,6 e 5,0 $m.s^{-1}$. Segundo o autor, em decorrência da passagem de frentes frias principalmente durante o inverno, ventos dos quadrantes (Sul) S, (Sudeste) SE e até mesmo (Sudoeste) SW também podem atingir a região.

O clima de ondas na região é caracterizado por um padrão bimodal, conforme observado por Lambeck et al., (2014), (Artemieva; Thybo, (2020)), (Souza D. C., (2021)), (Souza, (20155)), (Pinho, (2003)) e (Vasconcelos et al., (2016)). Isso significa que existem duas direções predominantes de ondas que impactam a área. A maior frequência de ondas está associada aos ventos locais provenientes do quadrante nordeste (NE), Souza (2015). Este padrão de ondas pode ser atribuído a sistemas de ventos predominantes na região, que são responsáveis pela geração e direcionamento das ondas, (Souza D. C., 2021). As ondas vindas do NE são influenciadas por ventos alísios e padrões de circulação atmosférica típicos da zona tropical, (Angulo; Lessa; Souza, 2006).

Além das ondas predominantes do NE, também são observadas ondas provenientes dos quadrantes sudeste (SE) e sul (S), (Angulo; Lessa; Souza, 2006). Essas ondas são associadas a frentes frias que se deslocam para o litoral, trazendo ondas de maior energia e impacto para a

região, (Souza, 2015), (Souza D. C., 2021), (Pinho, 2003) e (Vasconcelos et al., 2016), indicam que a altura média das ondas varia entre 1,6 e 2 metros. No entanto, eventos de ondas mais altas, com altura superior a 3 metros, ocorrem com maior frequência quando as ondas se originam dos quadrantes sul e sudeste. Esse fenômeno pode estar relacionado a sistemas de baixa pressão e frentes frias que geram condições meteorológicas mais severas, (Pinho, 2003), (Souza, 2015).

O padrão de marés no DRPS é classificado como semi-diurno, o que significa que há duas marés altas e duas marés baixas a cada ciclo lunar, (Souza D. C., 2021), (Vasconcelos et al., 2016). Vasconcelos et al. (2016), a partir de dados gerados pelo modelo WAN para a Bacia de Campos, descrevem a ocorrência de ondas com direção de propagação de pico de NE e SE associadas a ocorrência dos ventos locais e daqueles relacionados aos sistemas frontais. Tais características de ondas também foram observadas por Souza (2011) ao analisar dados de ondas obtidos entre 2005 e 2011. Neste litoral as ondas desempenham um papel importante na evolução deltaica sendo este caracterizado como dominado por ondas. A região também é marcada por uma amplitude de maré que pode chegar até 1,3 m na maré de sizígia, classificando o litoral como sujeito a micro maré.

A relação entre os aspectos oceanográficos e a evolução deltaica é representada pela deriva litorânea. De acordo com Dias e Gorini (1980), Cassar e Neves (1993) e Machado (2009) apontaram o sentido N-S, a partir da foz, como o predominante na região da área de estudo. Recentemente, Vasconcelos et al. (2016) reafirmam os dados encontrados por estes autores ao calcular o transporte residual a partir da reconstituição do clima de ondas entre 2004 e 2007.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O Sonar de Varredura Lateral/Side Scan Sonar (SVL), refere-se a um transdutor de feixe único com um amplo ângulo transversal e um ângulo longitudinal estreito. Esse tipo de transdutor geralmente trabalha em altas frequências, entre 100 e 1.200 kHz, e é montado em uma espécie de torpedo para evitar qualquer tipo de perturbação e diminuir sua resistência ao se deslocar na água. O SVL funciona como um dispositivo de imagem acústica, que fornece imagens de alta resolução do fundo do mar e, devido à sua baixa orientação angular e altas frequências, permite aos usuários estudar as características texturais do fundo do mar, sendo ideal para detecção de objetos.

Os sistemas de Sonar de Varredura Lateral (SVL), têm sido amplamente utilizados há mais de 60 anos para o mapeamento e a visualização de ambientes submarinos, incluindo a coluna de água e o leito marinho (Chesterman et al., 1958); (Klein & Edgerton, 1968); (Ludvigsen et al., 2006), explorando as propriedades de propagação das ondas sonoras na água (Blondel, 2009). Nas últimas décadas, o uso do SVL expandiu-se significativamente em águas rasas com profundidades inferiores a um metro em ambientes fluviais (Reid et al., 2016); (Amiri-Simkooei et al., 2009); (Buscombe, 2017), lacustres e estuarinos (Peterson, 2004), permitindo a obtenção de imagens acústicas de alta resolução (chegando à escala centimétrica) em áreas que podem atingir milhares de quilômetros quadrados por dia. Essas imagens são fundamentais para a caracterização da estrutura do fundo, mapeamento de morfologias e substratos físicos e biológicos, identificação de fácies geológicas, detecção de estruturas submersas, como cabos, dutos e objetos afundados, além da análise de substratos em estudos de adequação de habitat (Allen et al., 2005); (Yeung & McConnaughey, 2008); (Todd & Kostylev, 2011), (Bajjouk et al., 2015).

O Sonar de Varredura Lateral (SVL) tem sido utilizado no Brasil em pesquisas científicas e aplicações práticas. Entre os principais usos estão, por exemplo, o mapeamento ultrassônico da plataforma continental, (Moreira et al., 2013), estudos de Arqueologia Subaquática, (Fernando Bava-De-Camargo, n.d.;),(Siqueira Neto et al., 2024), e a localização de estruturas submersas, como naufrágios e objetos perdidos no mar, além do mapeamento de canais de dragagem, (Neto et al., 2018), entretanto, ainda são escassos os estudos que buscam relacionar vestígios de ocupação humana submersa utilizando dados de Sonar de Varredura Lateral, especialmente no contexto dos *Submarine Human Occupation Sites* (SHOS).

### 3.1. Aquisição de dados de Sonar de Varredura Lateral

O levantamento com SVL foi realizado entre os dias 1 a 4 de novembro de 2023, seguindo protocolos de coleta de dados para condições de águas rasas, conforme descrito por Robert et al. (1999, 2000) e Robert e Freeman (2005). A operação foi conduzida a bordo de uma embarcação tipo traineira, que permite uma navegação em linhas batimétricas inferiores a 2 metros. As linhas de navegação foram projetadas para garantir 100% de cobertura do fundo marinho, utilizando feixes com abertura de até 100 metros. A área total investigada foi de 42,2 km², e a velocidade média da embarcação durante o levantamento foi mantida entre 4/5 nós.

O sistema de posicionamento geográfico empregado foi o Diferencial Global Positioning System (DGPS), modelo Hemisphere R130, com correção diferencial para garantir melhor precisão nos dados de localização das linhas navegadas. O DGPS foi instalado na mesma haste do sonar, eliminando discrepâncias entre as coordenadas do sistema de posicionamento e do equipamento geofísico. O SVL utilizado na aquisição dos dados submarinos foi o modelo StarFish 452F Pro, operando com uma frequência acústica de 410 kHz e uma escala lateral de até 150 metros, resultando em um alcance efetivo de aproximadamente 75 metros para cada lado. O sonar foi fixado a meia nau da embarcação como mostra a esquematização (ver figura 2), submerso a uma profundidade aproximada de 1,5 metros, minimizando interferências do casco da embarcação.

A aquisição dos dados foi realizada com o software Starfish Scanline 2.0, que permitiu a recepção e registro das informações coletadas pelo sonar.

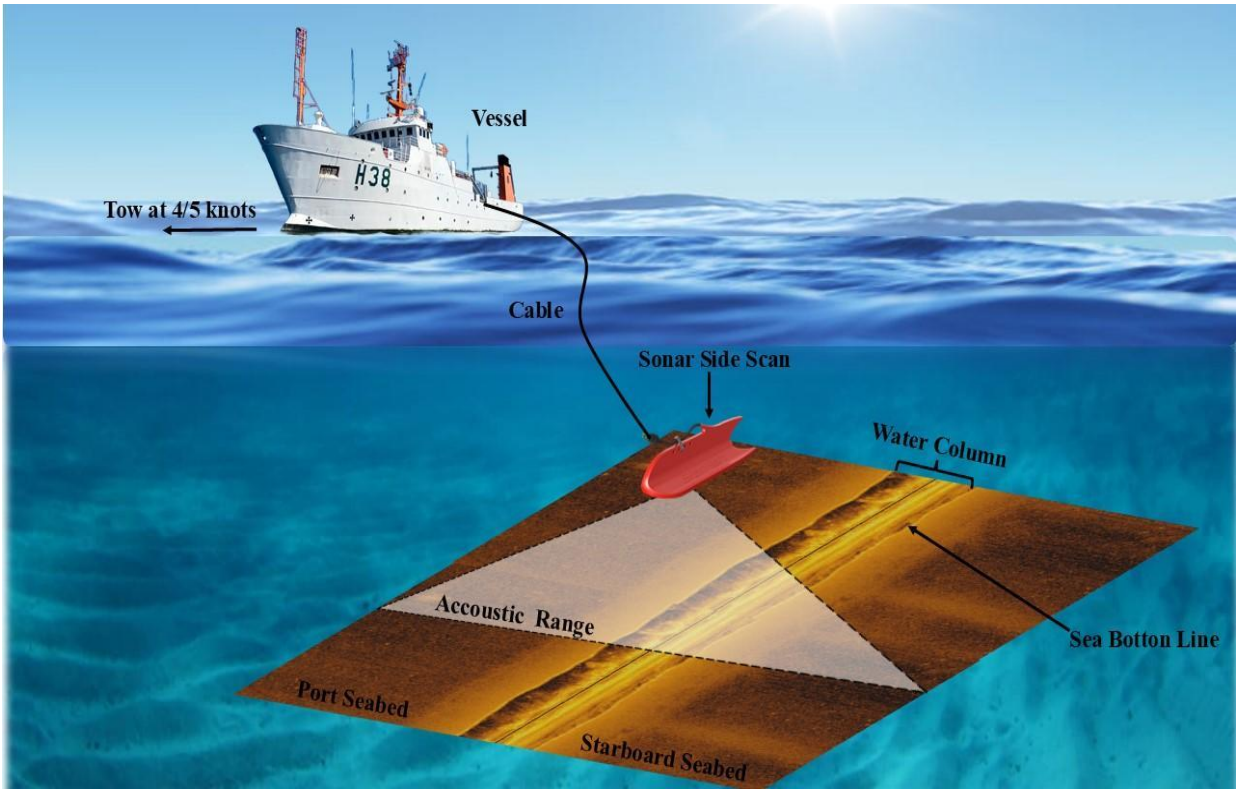



**Figura 2:** Schematic of the Starfish 452F Side Scan Sonar applied during the fieldwork.

### 3.2. Processamento de dados do Sonar de Varredura Lateral

Os dados obtidos pelo SVL foram padronizados no sistema de coordenadas UTM, Zona 24S, datum SIRGAS 2000. Em seguida, foram importados para o software SonarWiz 7.09.01, realizando o *bottom track* (Figura 3). Para compensar as características de resposta não linear dos transdutores do sonar, foi desenvolvida por Bill Danforth, US Geological Survey, foi utilizado o filtro *Beam Angle Correction* (BAC), para evitar distorção de imagem (Milkert; Fiedler, 2002), (Chavez P S JR. et al., 2002); (Milkert; Fiedler, [s.d.]), causado pela variação do ângulo do feixe, e o *filtro Automatic Gain Control* (AGC), também foi utilizado para ajustar automaticamente o ganho do sinal, (CHavez P S JR. et al., 2002); (Milkert; Fiedler, 2002), a aplicação deste filtro é a capacidade de reduzir a atenuação com distância, e variações no retroespalhamento produzidas quando o sinal acústico recebido é inferior ao transmitido que afetam a intensidade da imagem, para esses casos é aplicado o filtro *Time Varying Gain* (TVG), como corretor deste efeito para aumentar a amplificação.

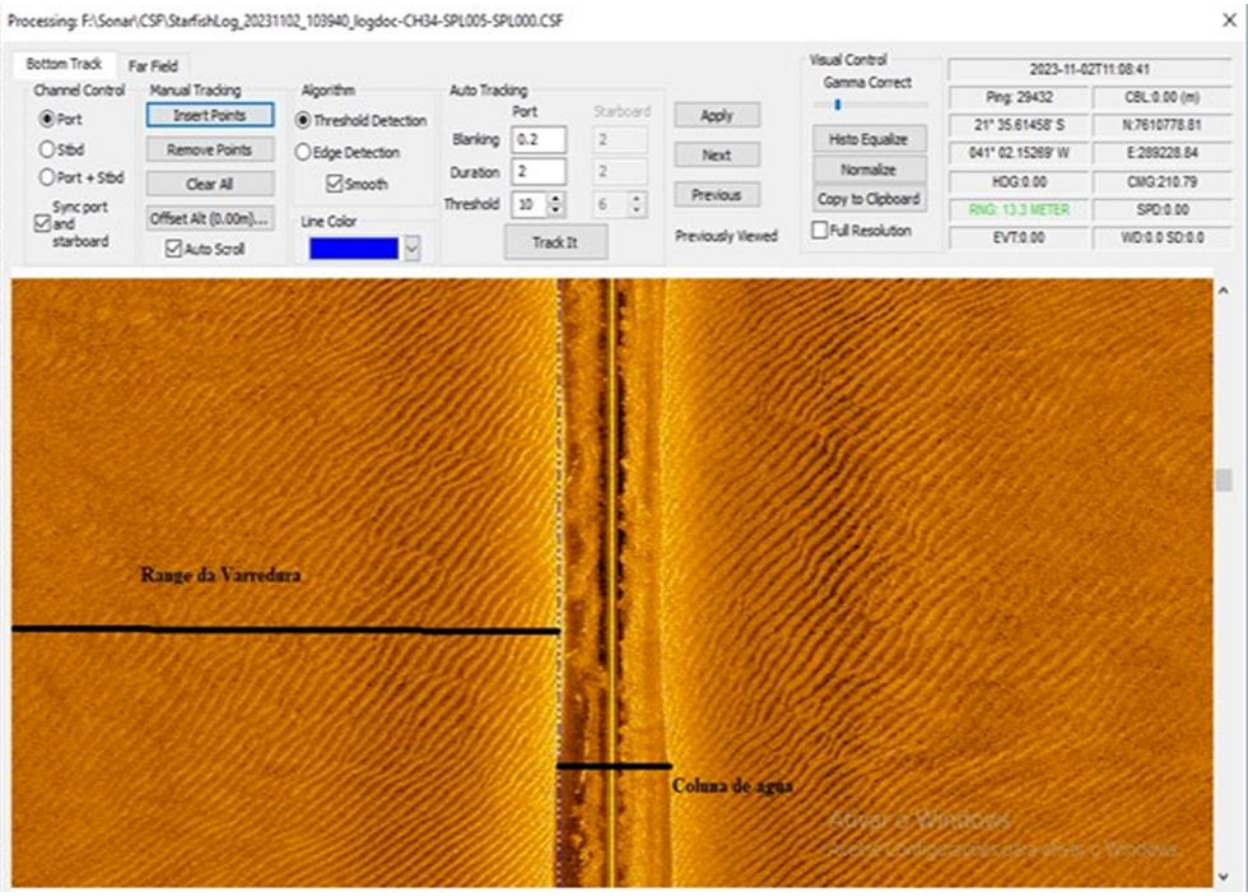



**Figura 3:** Processo de retirada da coluna de água pela ferramenta Bottom Track no SonarWiz 7.09.01, visualizada pela demarcação da linha preta limitando a coluna de água com a superfície de fundo.

As distorções provocadas pela construção da imagem sonográfica, variações na velocidade da embarcação, alteração de escala, cálculos da resolução transversal, resolução vertical (range resolution-Rr), altura do alvo (H0), comprimento da sombra acústica (Ls), inclinação do range (slant range-Rs) e a distância horizontal, foram eliminadas de acordo com as indicações de Russell-Cargill (1980), (Burguera & Oliver 2016), para evitar interpretações falsas.

Para a visualização e interpretação dos dados sonográficos, utilizou-se o software SonarWiz 7.09.01. Além dos filtros mencionados anteriormente, aplicou-se também ajustes de brilho, inserção de escalas verticais e horizontais, bem como uma paleta de cores adequada. Após a identificação de todos os alvos desejados, exportou-se o mosaico em arquivos GeoTIF.

Para o geoprocessamento dos dados, empregamos o Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGIS 10.8. Para interpretar a geomorfologia submarina e identificar alvos de origem antrópica ou natural das feições subaquáticas, dividimos as feições em gênese (antrópica e natural).

Para interpretar as secções, levou-se em consideração o tipo de resposta do sinal acústico com o substrato marinho e/ou refletores superficiais rasos. Utilizamos o termo "padrões acústicos" para descrever as diferentes respostas acústicas em interação com o substrato (consolidado ou inconsolidado), com ou sem refletores superficiais. Esse método permitiu identificar as características acústicas associadas a diferentes tipos de substrato e a presença ou ausência de refletores superficiais.

A identificação dos padrões do fundo marinho foi realizada de acordo com Barnhardt et al. (1998), e as definições das principais unidades refletem as características das formações do fundo marinho descritas na Tabela 1 abaixo.

**Tabela 1:** Retornos acústicos e características das formações do fundo do mar, Barnhard et al., (1998).

| Map unit | Acoustic reflection intensity | Feature characteristics |
|---|---|---|
| Mud (M) | Week | Smooth flat |
| Muddy sand (Ms) | Week | Smooth flat |
| Mud Sand (Md) | Medium | Smooth flat |
| Sand (s) | Medium | Low relieve often covered with ripples |
| Gravel | Strong | |

### 3.3. Análise do Comportamento da Linha de Costa do Delta do Rio Paraíba do Sul

Para auxiliar as interpretações a respeito da dinâmica da linha de costa no intervalo temporal definido, foram utilizadas as paleolinhas de costas de 1954, 1974, 2005, e a mais recente do ano 2023, conforme determinado por (Machado et al., 2024), que consistiu na vetorizaçao nas seguintes imagens: (i) fotografia aérea do ano 1954 (Fonte DRM- resolução espacial de 3,8m); (ii) fotografias de ano 1976, (Fonte DRM – resolução espacial 0,86m) e 2005 (Fonte IBGE - resolução espacial 1m), (iv) imagem Planet do ano 2023, ( Fonte: Planet Lab- resolução espacial de 5m), todas as imagens foram georreferenciadas a partir da Ortofoto do IBGE do ano de 2005, com a resoluçao espacial de 1m, (disponível em https://www.ibge.gov.br/geociencias/imagens-do-territorio/imagens-corrigidas/10852-ortomosaicos.html?=&t=downloads), como mostra a Tabela 2 abaixo. Desta forma, adotou-se o software ArcMap 10.8 para o geoprocessamento. Segundo a avaliação geométrica realizada por (QUADROS, 2025) nas ortofotos de Macaé (RJ) e Quissamã (RJ), foi obtido um erro médio de posicionamento de 2,26 metros, classificando essas ortofotos como classe A no padrão de exatidão cartográfica.

A segmentação das fotografias aéreas e das imagens de satélite foi realizada utilizando o software eCognition Developer 10.2 (Trimble Geospatial), utilizando a árvore de processo (process tree), na qual foram ajustados parâmetros como o algoritmo de segmentação a ser empregado (multiresolution segmentation) para as quatro datas analisadas. Também foram ajustados elementos como escala, compacidade e formato. Para as imagens aéreas de 1954 e 1976, utilizou-se uma escala de (20), com formato de segmentação de (0,4) e compacidade de (0,5). Já para as imagens de 2005 e 2023, optou-se por uma escala de (30), mantendo o formato de segmentação em (0,4) e a compacidade em (0,5). A segmentação das construções presentes nas imagens foi realizada com o auxílio do *layer* temático, buscando identificar corretamente as edificações em função dos anos analisados.

Após a segmentação, a atribuição das classes (tipos de construções) foi realizada manualmente no software ArcMap 10.8, com o objetivo de categorizar de forma precisa as áreas ocupadas ao longo dos diferentes períodos analisados.

**Tabela 2:** Imagens disponíveis utilizadas para a identificação das áreas ocupadas

| Year | Typology | Spatial resolution(m) | Source |
|---|---|---|---|
| 1954 | Aerial -photo | 3. 8 | DRM |
| 1976 | Aerial-photo | 0.86 | DRM |
| 2005 | Orthophoto | 1 | https://www.ibge.gov. |
| 2023 | Planet Explorer | 5 | Planet Explorer |

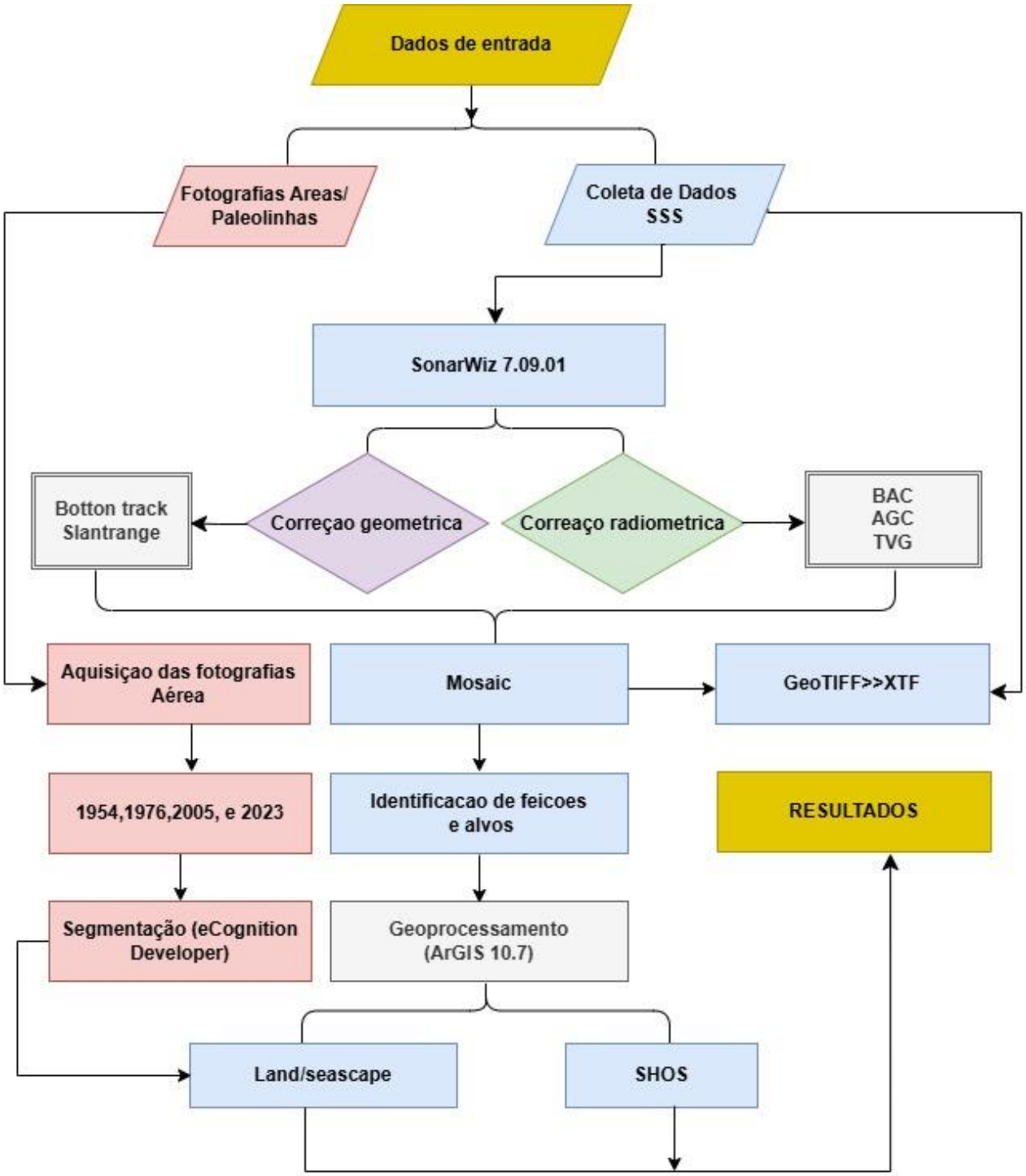



**Figura 4:** Fluxograma metodológico utilizado na pesquisa.

# 4. RESULTADOS

## 4.1. Classes de características submarinas determinadas pelo SVL e distribuição espacial dos padrões sonográficos

Os resultados dos sonogramas derivados das imagens do SVL foram classificados em dois padrões acústicos ou de retroespalhamento (*backscatter*) distintos: (**i**) padrões de retroespalhamento que descrevem *Submarine Human Occupation Sites* (SHOS) e feições associadas à influência antrópicas e (**ii**) retroespalhamento que mostram padrões de retrabalhamento marinho ou de ondas em substrato sedimentar, variável em função da granulometria. As estruturas antrópicas distribuídas por toda a área mapeada foram identificadas pelo distinto padrão de refletividade em comparação com o ambiente natural. A Tabela 3 sumariza o entendimento dos padrões sonográficos determinados pela análise dos dados de SVL. Na Tabela 3 foram identificados padrões sonográficos que mostram um fundo marinho que refletiria alterações do retroespalhamento previsto com registros sugerindo a destruição de edificações e benfeitorias dando origem a padrões sonográficos de retroespalhamento alto sobre uma superfície relativamente plana (Tabela 3). Foram ainda obtidos ainda dados sonográficos típicos de embarcações afundadas e de redes de pesca dispersas sobre o fundo marinho, definidas como de origem antrópica, porém fora do que seria um domínio de SHOS, e sim apernas de origem antrópica, por estarem pontualmente representadas, ou seja, sem continuidade de retroespalhamento.

Na Figura 4 foram identificados todos os padrões de retroespalhamento derivados da ocorrência de SHOS, sejam estes contínuos ou dispersos, segundo a Tabela 1. Nota-se que as distribuições destes artefatos seguem as linhas de navegação realizadas durante o trabalho de campo, o que era esperado, haja visto a área de cobertura da amostragem junto a desembocadura, seguiu uma direção transversal à costa. Para melhorar a visualização da distribuição espacial dos registros sonográficos antrópicos foi gerado um mapa de concentração destes artefatos (Figura 5), que mostra uma concentração no trecho central e próxima à costa. Por outro lado, pode ser observado que houve uma concentração da ocorrência proximal à costa. Nota-se também que este padrão de concentração é decrescente em direção às áreas mais distais da linha litorânea, porém ainda destacadas, e ainda mais decrescentes também para o sul.

A Figura 6 mostra a distribuição dos artefatos identificados, em comparação com o comportamento da linha de costa entre 1954 e 2023. É evidente que a concentração de depósitos antropogênicos na área mais urbanizada de Atafona, com concentrações entre as linhas de costa de 1976 e 2005 (Figura 6). Nota-se que entre as linhas 1976 e 1954 e mesmo em trechos fora da identificação de padrões antropogênicos, também foram determinados. No período de 1954 a 1976, observou-se uma ligeira predominância dos SHOS ao sul da localidade de Atafona, com um aumento significativo em direção ao norte. Isso pode ser relacionado à menor urbanização na região sul em contraste com a maior concentração no Norte, conforme evidenciado nas fotografias aéreas e imagens de satélite.

Os resultados evidenciam a concentração mais elevada de *Submarine Human Ocupattion Sites* nas proximidades da costa, como ilustrado, (Figura 6), parece estar diretamente relacionada à intensa erosão costeira verificada na área. Durante o período investigado (1954-2023), observou-se um agravamento significativo desse fenômeno. Esse processo resultou na retirada de sedimentos da linha de costa e sua redistribuição, promovendo a reconfiguração da paisagem submarina local, com a formação de novas feições, como depressões e bancos de areia, que refletem a interação entre os processos erosivos e deposicionais na região.

Entre 1976 e 2005, houve uma maior concentração de SHOS, marcando o pico máximo registrado no período em análise do processo de erosão costeira. Este aumento sugere um acentuado processo de erosão costeira, mesmo com um intervalo temporal de análise maior em comparação com os períodos de 1954-1976 e 2005-2023.

A análise comparativa ao longo das décadas revelou um aumento na quantidade e dispersão dos *Submarine Human Occupation Sites*, especialmente em áreas com maior desenvolvimento urbano. A expansão urbana é apontada como um fator significativo para a presença crescente de SHOS nas zonas costeiras. Além disso, os resultados indicam que os processos naturais de sedimentação e a dinâmica das correntes costeiras desempenham um papel crucial na distribuição espacial dos SHOS.

Para os intervalos mais recentes entre 2005 e 2023, não foram registrados dados sonográficos devido à baixa profundidade da área, o que impossibilitou a navegação.

Observa-se variações nas de linhas costa ao longo do tempo, sugerem uma tendência de retrabalhamento dos SHOS de sul para norte de Atafona. A análise da linha de costa em uma escala

temporal ampla, como no período de 1954 a 2023, proporciona uma investigação mais precisa sobre as tendências dos fenômenos de erosão e das taxas de mudança no comportamento costeiro.

As imagens coletadas do sonar de varredura lateral foram processadas para criar um mosaico (Fig. 6). Uma parte do mosaico com imagens ampliadas (Figura, abaixo) demonstrou a perspectiva e distribuição adequadas aos *Submarine Human Occupation Sites*.

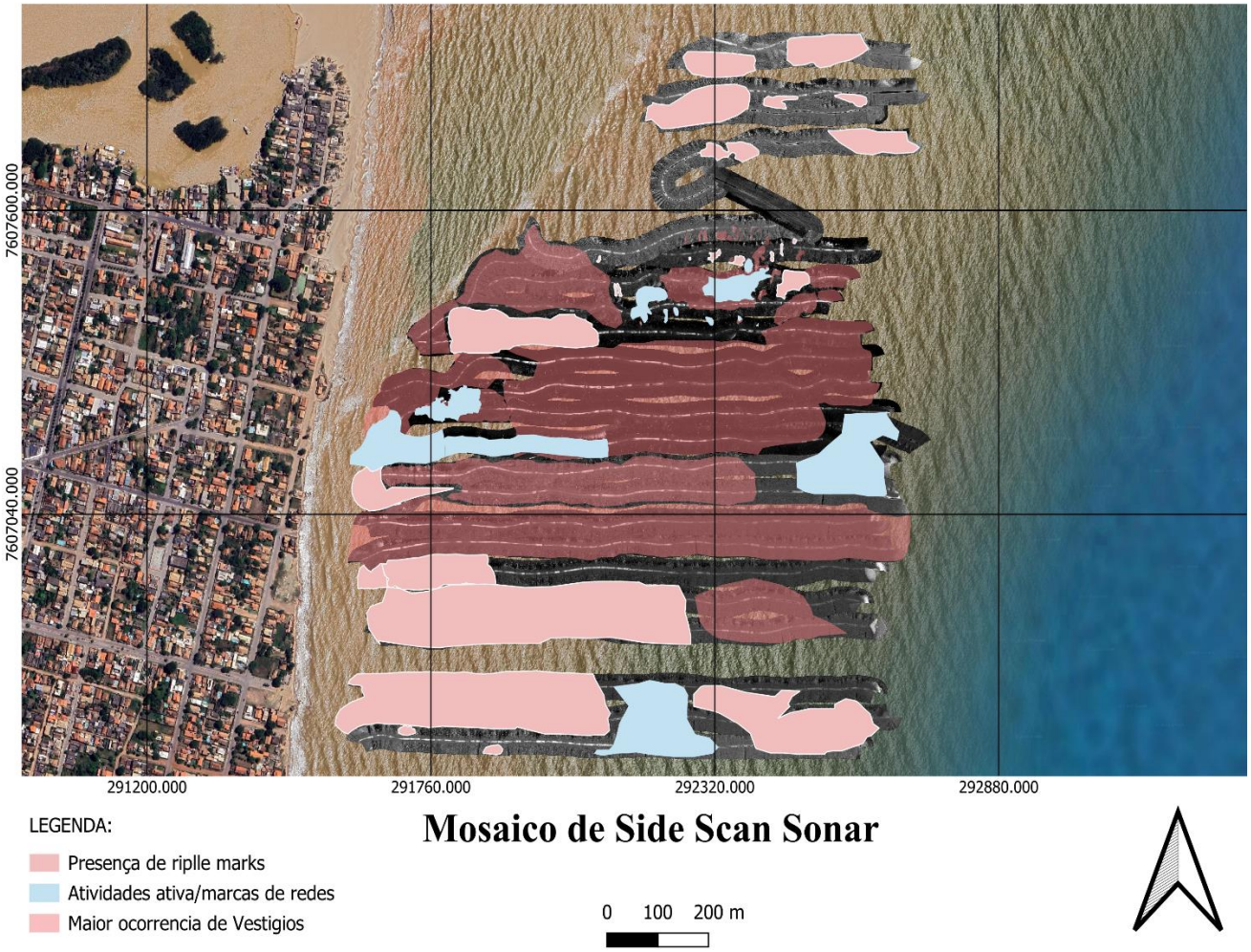



**Figura 6:** Mosaico de imagens de Side Scan Sonar, apresentando as feições macroscópicas dos achados registrados durante a aquisição de dados em campo.

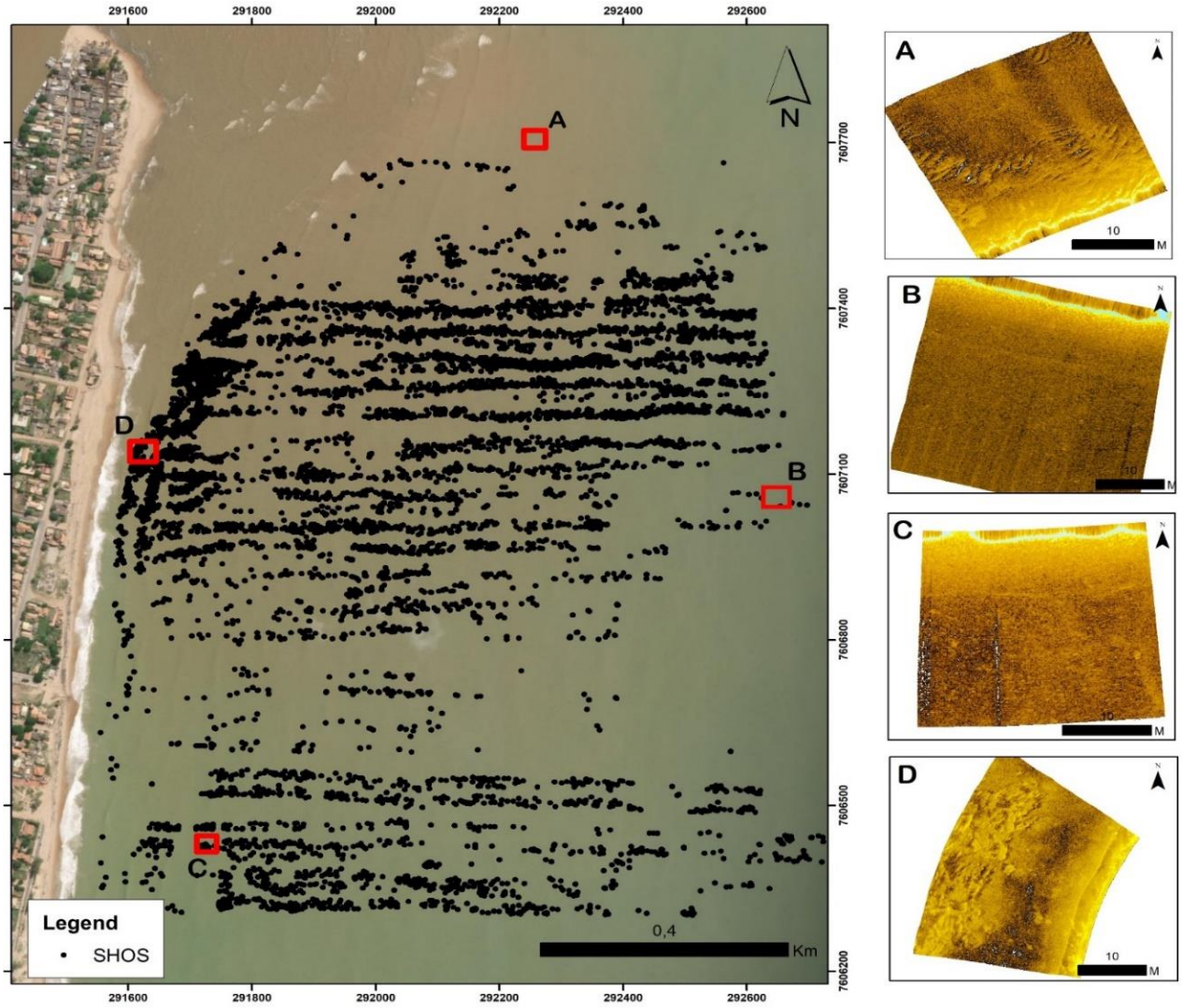



**Figura 5:** Distribuição pontual de todos os artefatos antrópicos identificados no fundo marinho, na área de estudo. Nota-se, que diferentes padrões sonográficos identificados na área: (A) Porção norte de Atafona, caracterizada por areia média e presença de ripplemarks; (**B**) Porção distal, com sedimentos finos; (**C**) Porção Sul, apresentando pequenos detritos; e (**D**) Região próxima à linha de costa, com alta densidade de estruturas e vestígios no sonograma.

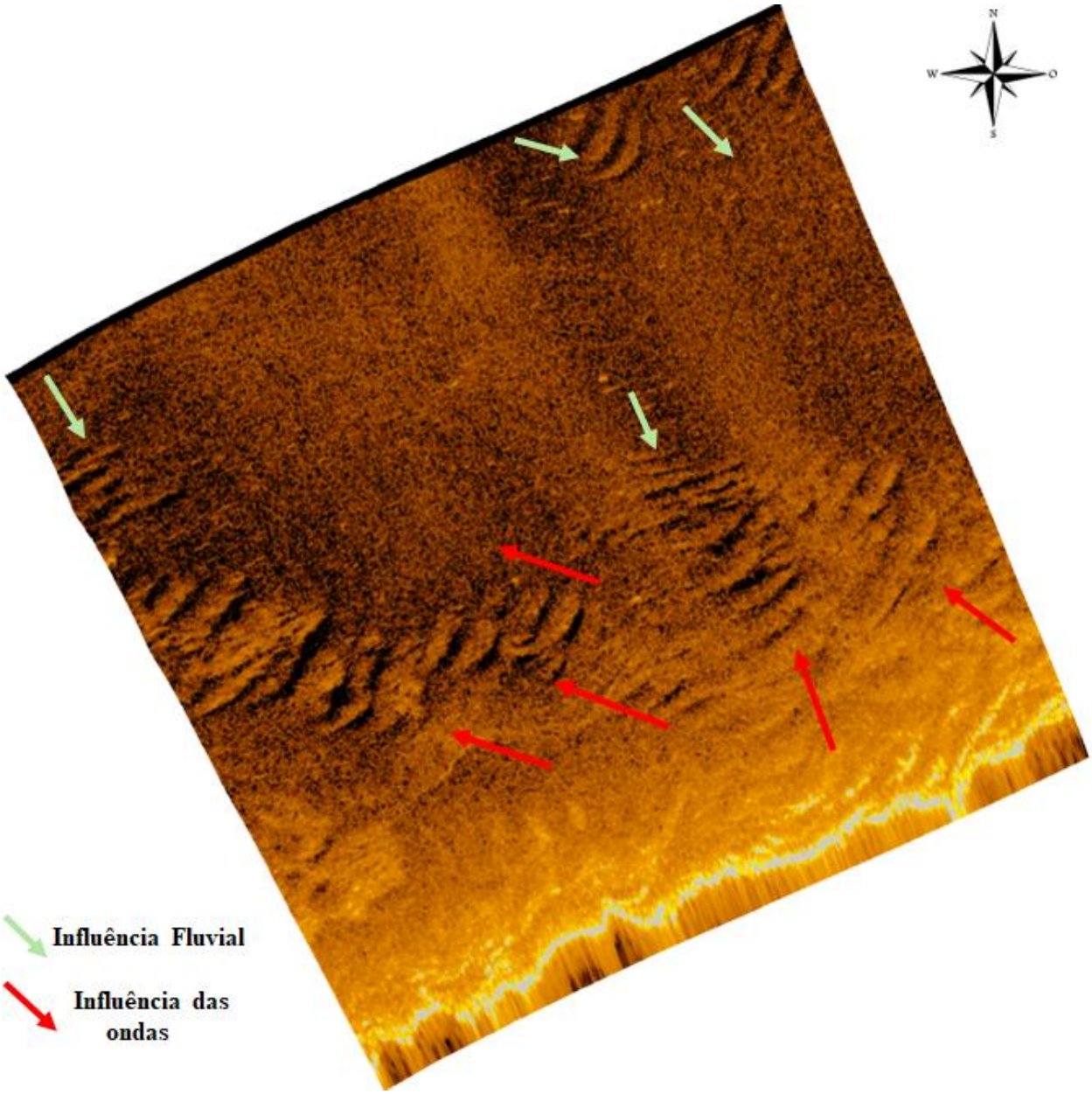



**Figura 6:** Feição associada a ripplemarks, com influência fluvial (azul claro), enquanto as setas vermelhas indicam a influência das ondas na dinâmica sedimentar da frente deltaica.

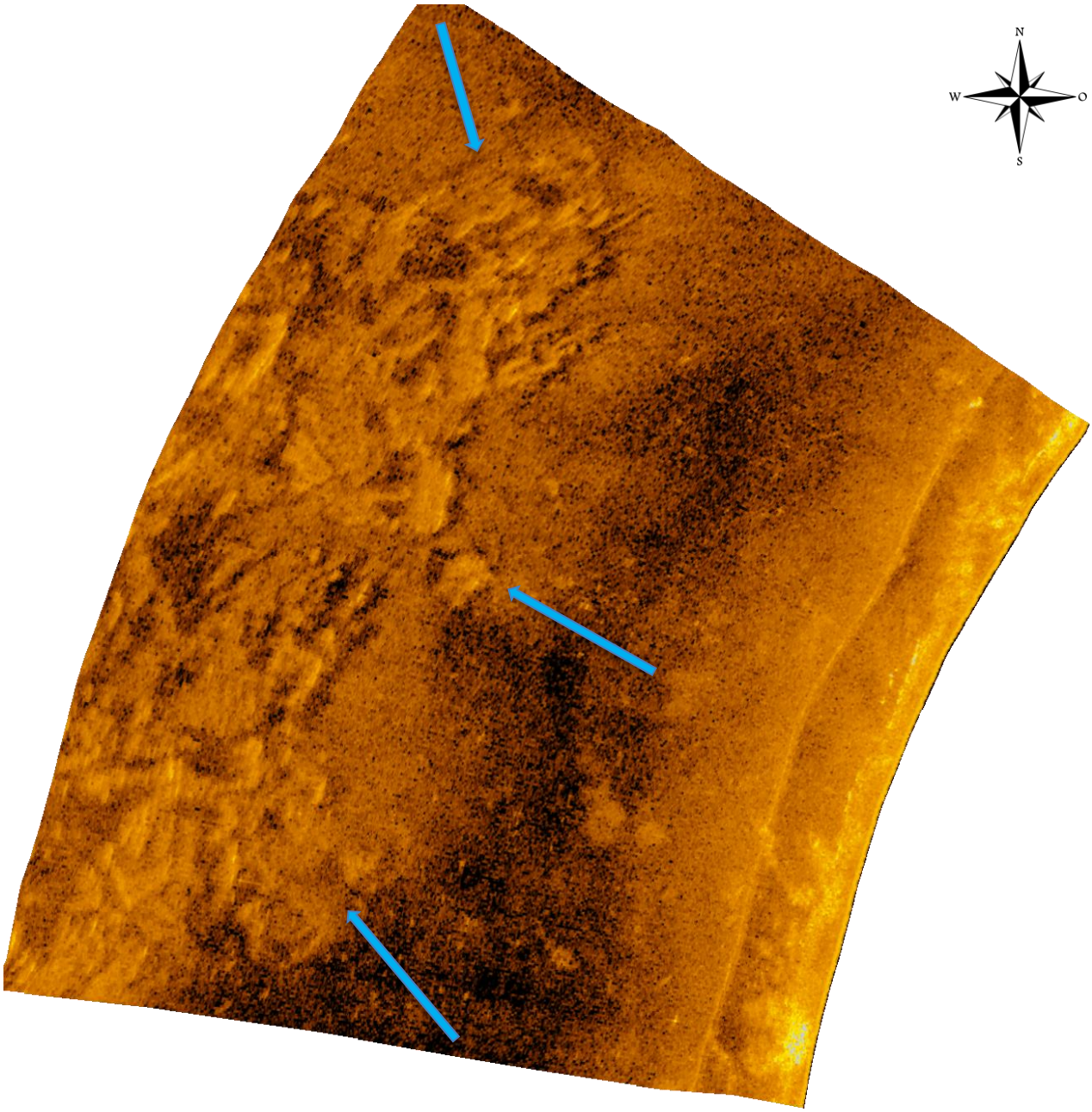



**Figura 7:** Região próxima à costa, caracterizada por uma alta densidade de estruturas e vestígios submersos, incluindo possíveis restos de construções, fragmentos de embarcações e outros elementos antrópicos.

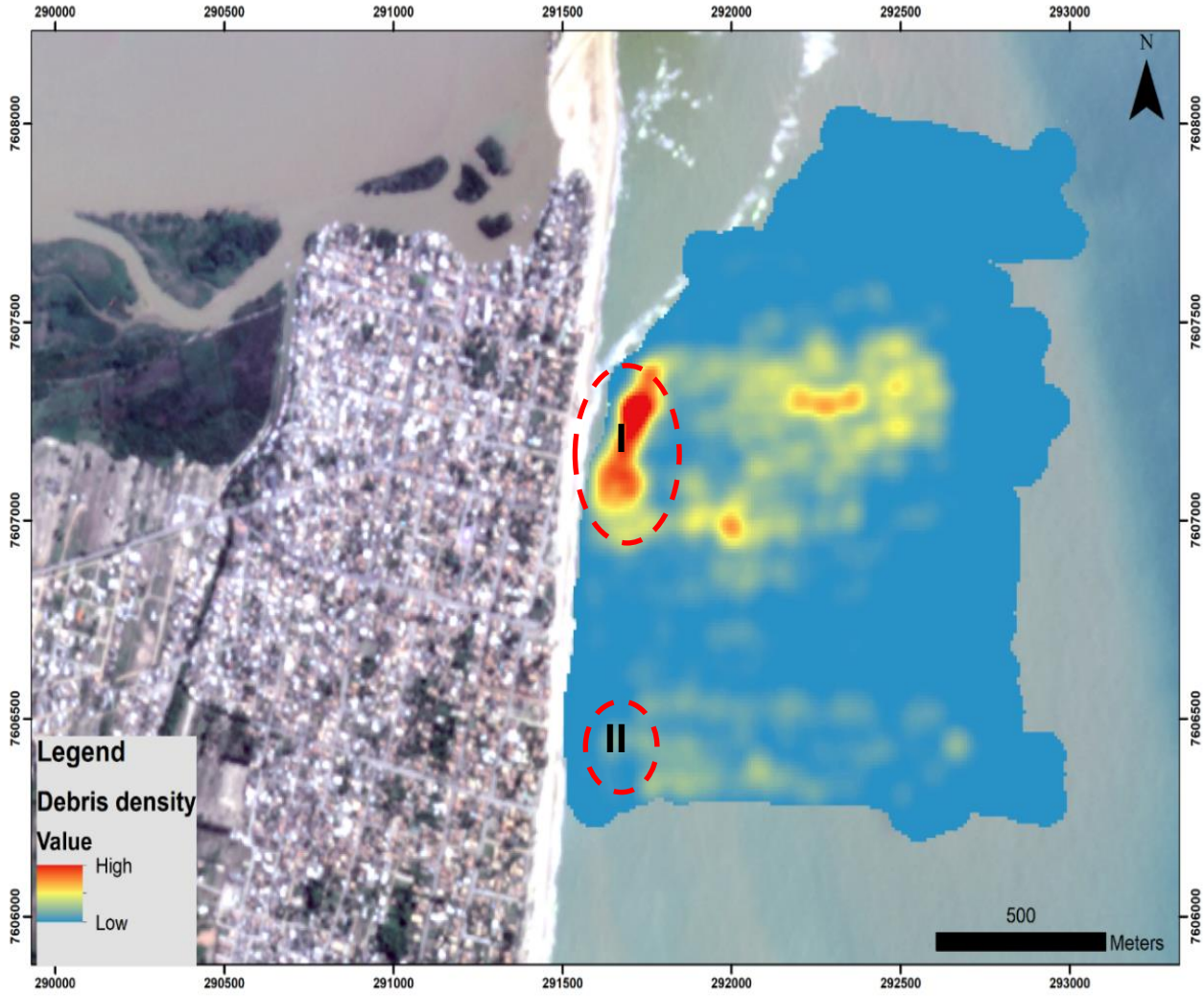
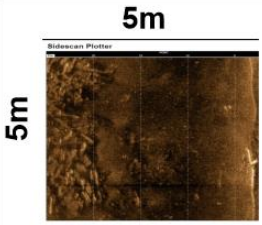
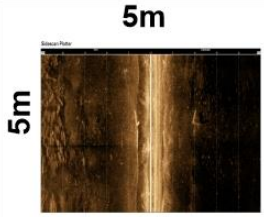
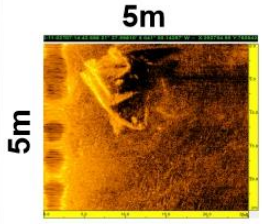
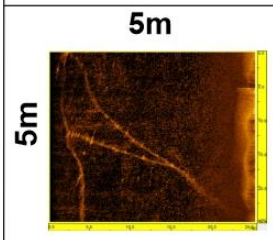



**Figura 8:** Mapa de densidade de Submarine Human Occupation Sites identificados no fundo marinho com base em dados de SVL, evidenciando áreas de maior concentração dessas estruturas submersas e sua distribuição espacial.

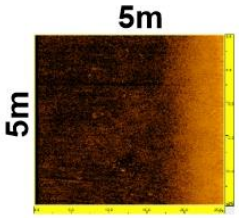
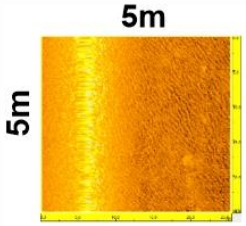
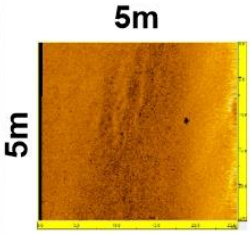
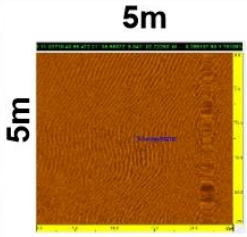
**Tabela 3:** Padrões e características acústicas que representam Sítios de Ocupação Humana Submarina (SHOS) e influência antrópica.

| Sítios de ocupação humana submarina | | |
|---|---|---|
| **Padrão acústico** | **Fotografias** | **Descrição** |
|   | | Alta retrodispersão em fundo relativamente plano, caracterizado por vestígios de ocupação humana. |
|   | | Alta retrodispersão, fundo caracterizado por traços de ocupação humana. |
| **Origem antropogênica** | | |
|   | | Dispersão e sombras formando um formato típico de barco. |
|   | | Padrão de alta retrodispersao, associadas a marcas de rede de pesca. |

Os resultados apresentados na Tabela 4 revelam a presença de padrões acústicos distintos daqueles determinados para ação antrópica, sendo associados a ambientes marinhos da região. Esses padrões são caracterizados por um elevado coeficiente de reflexão do sinal acústico, indicando uma forte resistência do substrato à penetração da onda sonora. Além disso, observa-se

um alto contraste de impedância acústica, o que sugere variações significativas na densidade e composição dos materiais sedimentares, possivelmente relacionados à influência de processos de deposição e erosão diferenciados em ambientes marinhos analisados.

**Tabela 4**: Padrões acústicos associados à influência marinha.

| Sedimentos Marinhos | | |
|---|---|---|
| **Padrão acústico** | **Descrição** | **Tipologia** |
|   | Baixa intensidade, textura homogênea | **Lama/areia fina** (Murillo et al. 2009, Vasconcelos, 2010) |
|   | Intensidade muito alta, textura homogênea | **Areia media/grossa** (Murillo et al. 2009, Vasconcellos, 2010) |
|   | Alta intensidade, textura heterogênea | **Areia media/grossa** (Murillo et al. 2009, Vasconcellos, 2010) |
|   | Fundo marinho de alta intensidade e textura composto por sandwaves | **Areia grossa** (Murillo et al. 2009, Savergnini,2013) |

Em ambiente sob influência marinha, observou-se um alto coeficiente de reflexão devido ao predominante depósito de sedimentos finos altamente coesos, isso ao largo de Atafona, os quais tendem a se compactar (ver Tabela 4). Além disso, foi registrado um padrão acústico caracterizado por um elevado coeficiente de reflexão do sinal, indicando a presença de materiais com alta resistência à propagação das ondas acústicas, possivelmente devido à compactação e coesão dos sedimentos.

Outra característica marcante da região é o fundo arenoso, similar ao encontrado em outros pontos da região, onde é dominado por *sandwaves* e *ripple marks* (marcas onduladas). Essas características são mais comuns em locais com maior hidrodinâmica, onde o transporte de sedimentos de maior granulometria ocorre por tracção (carga de fundo). As feições de pequenas escalas, como *sand ripples*, normalmente se formam em profundidades rasas.

A ocorrência esparsa de *sand ripples* em um fundo relativamente plano é resultado da variabilidade hidrodinâmica temporal e da disponibilidade de sedimentos de maior granulometria. Essas ocorrências dispersas de sedimentos grossos estão presentes em um fundo de sedimentos arenosos, com granulometria que varia de média a fina. A simetria das *sand ripples* é particularmente evidente nas áreas próximas à costa, indica que as ondas exercem um papel importante como mecanismo morfossedimentar. Esse papel ocorre tanto de forma direta, pela interação entre ondas e sedimentos, quanto de forma indireta, ao contribuir para a formação de correntes longitudinal.

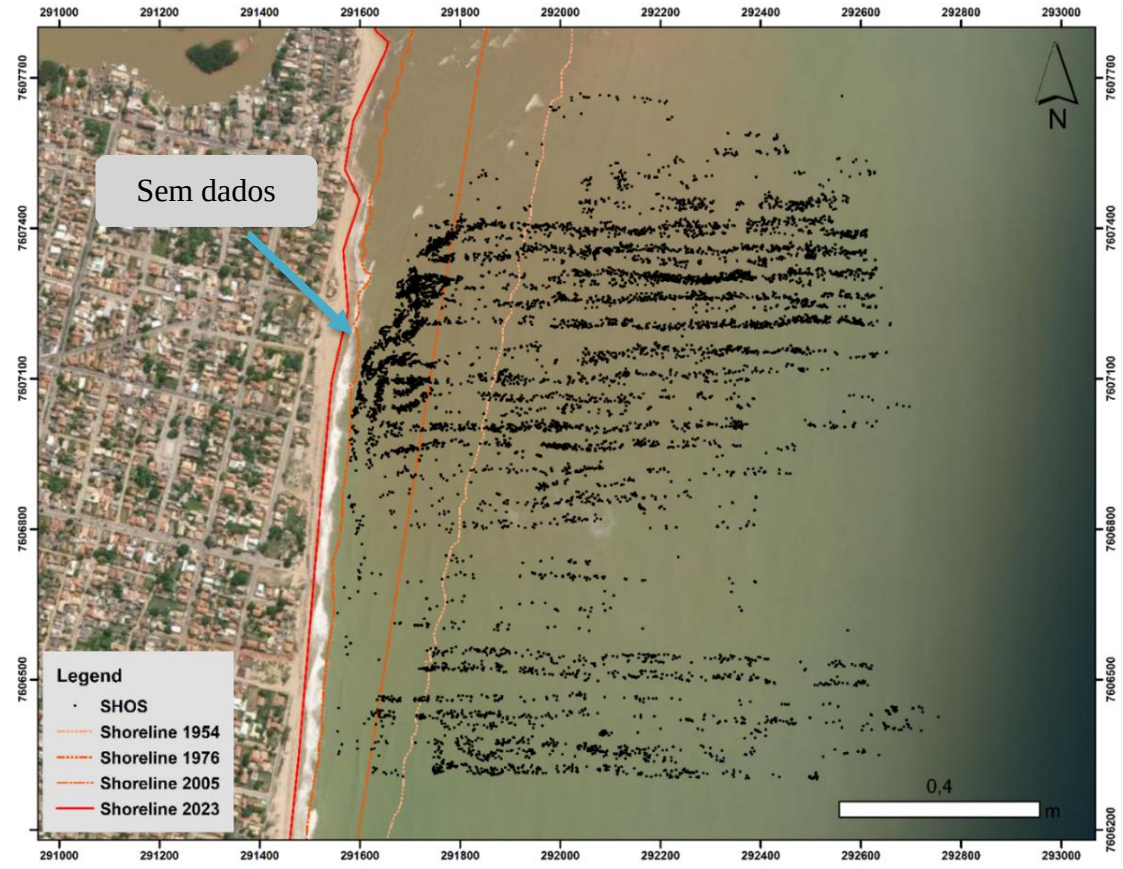



**Figura 9:** Mapa da distribuição dos Submarine Human Occupation Sites, em função de distribuição do comportamento erosivo da linha de costa. Notar que a concentração de ocorrências está estabelecida entre as linhas de 1976 e 2005, provavelmente a época de maior concentração de ocorrências está estabelecida entre as linhas de 1976 e 2005.

**Figura 10 e 11:** *(A) Porção de maior concentração dos vestígios, conforme indicado na Figura 6. (B) Porção sul da área, com concentração relativamente baixa de detritos.*

# 5. DISCUSSÃO

## 5.1. Padrões sonográficos associados às ondas e sedimentação deltaica

Os padrões deposicionais em deltas dominados por ondas indicam que sedimentos arenosos de origem fluvial tendem a ser depositados em trechos proximais à desembocadura, em função da ação contínua das ondas, formando barras arenosas na frente deltaica (e.g. Anthony, 2015). Esta sedimentação mais grossa se sobrepõe a sedimentos finos (lamas) depositados em trechos mais distais da frente deltaica, de forma que as areias se projetem sobre estas lamas, em fáceis sedimentares indicativas de deltas dominados por ondas (Bhattacharya & Giosan, 2003). Nestes casos, as ondas e correntes apresentam-se como fatores de controle sobre a granudecrescência observada em planta, ou mesmo na distribuição envolvendo critérios de transporte por arraste das areias, e posterior deposição distal das lamas (Kleinhans, 2005). Portanto o fundo arenoso e a morfologia deltaica é resultante da influência e da ação combinada de correntes e ondas, como discutido por Andreotti et al. (2012) e Dyer e Huntley (1999), além de serem afetados por correntes impulsionadas pelo vento, representadas pelo desenvolvimento de correntes de deriva, conforme evidenciado por Zhang et al. (2017). Nesse sentido, os fluxos induzidos por diferentes direções de vento também desempenham um papel significativo na morfodinâmica induzida pelas ondas, como ressalta Duran et al. (2019) e Dyer e Huntley (1999). Cristas de sedimentos, frequentemente observadas em ambientes relativamente rasos, com profundidades não superiores a 50m e correntes de maré que ultrapassam 0,5m/s, são documentadas por Calvete et al. (2001), Lacy et al. (2003), Yuan e Swart (2017), Ariathurai (2022) e Raudzens et al. (2022). No DRPS as correntes de deriva na região de Atafona apresentam velocidades compatíveis ao deslocamento de areias, alcançando até 0,8m/s, como demonstrado por Vasconcelos et al. (2016), o que favorece o desenvolvimento de bancos de areia na frente deltaica, e o deslocamento destes bancos em função da predominância de ondas para norte.

Nos estudos realizados por Murillo et al. (2009) e por Vasconcellos et al. (2016) na região da foz do Rio Paraíba do Sul, foram identificadas sequências deltaicas progradantes, ou seja, a partir de sedimentos fluviais arenosos dispersos na frente deltaica, estes seriam incorporados à parte emersa do delta, ao norte da desembocadura. Uma das evidências da influência fluvial na área é a presença de marcas de ondulações (*ripplemarks)* (Figura 5 ), que seriam caracterizados por padrões

compostos por areia grossa (Murillo et al., 2009). A presença de sedimentos grossos e o desenvolvimento de cristas predominantemente retas, com leve sinuosidade (Vasconcelos, 2010), foram identificados nos padrões de retroespelhamento junto à desembocadura. A partir dos registros sonográficos, os comprimentos de onda medidos variam entre 0,91 m e 2,73 m. O padrão de reflexão acústica revela um contraste entre duas assinaturas distintas: uma de intensidade baixa e homogênea (mais escura) e outra de intensidade moderada e heterogênea. Essa diferenciação provavelmente está associada à tipologia dos sedimentos presentes na região descritas na literatura (Murillo et al., 2009; Vasconcelos, 2010), (ver Tabela 4).

Outro fator observado no contraste entre essas reflexões indica uma mudança de declive, associada ao início da interação das ondas com o fundo, conhecido como nível de base das ondas. Esse processo resulta na formação de barras de areia de granulometria grossa (Murillo et al., 2009). A geração de feições em diferentes escalas, como *ripples* em pequena escala (Paolo & Mahiques, 2017), e megaripples ou dunas submersas em maior escala, está diretamente relacionada aos movimentos oscilatórios da água sobre a superfície do fundo, (Rosenberger et al. 2018). Na região de Atafona, essas feições foram identificadas e descritas por Murillo et al. (2009), enquanto mais próximas à desembocadura do Rio Paraíba do Sul, foram analisadas por Vasconcelos et al. (2016), ambas associadas à interação com o fluxo dominante.

Entretanto, as feições de fundo aqui apresentadas são formadas perpendicularmente à direção do fluxo principal, sendo o transporte sedimentar influenciado pelo tamanho dessas estruturas. Feições assimétricas indicam um transporte mais intenso, enquanto feições simétricas sugerem um transporte mínimo, (Ashley G et al., 1990), Paolo & Mahique, 2007).

De modo geral, as morfologias observadas foram desenvolvidas a partir do retrabalhamento e da redeposição de sedimentos, incluindo processos fluviais e depósitos da plataforma. A ocorrência de padrões de fundo sugere uma maior disponibilidade de sedimentos, provavelmente oriundos da deriva litorânea, (Duran et al., 2019). Diversos estudos realizados na região sugerem que esse padrão de sedimentação pode estar associado a uma fonte sedimentar derivada do aporte fluvial (Dominguez et al. 2022, Santos et al., 2022, (Loureiro dos Santos et al., 2022), plataforma continental (fundo do mar), (César & Ferreira, 2017), e erosão costeira ((Murillo et al., 2009), (da Rocha et al., 2019b), (Machado et al., 2024).

## 5.2. Evolução e Distribuição de Sítios de Ocupação Humana Submarina no Contexto das Dinâmicas Costeiras.

Em relação ao sonogramas observados na parte natural, os resultados nas áreas foram sensivelmente distintos em termos de retroespalhamento do sinal do SVL. Os resultados sonográficos mostram evidências, e são indicativas de uma presença humana variada, com marcas de urbanização e atividades econômicas associadas ao ambiente marinho, derivadas principalmente da pesca, pela identificação de artefatos como redes distribuídas no leito marinho, assim como embarcações repousadas no leito oceânico. Os SHOS identificados oferecem um registro importante sobre as formas de ocupação humana na região, refletindo tanto os padrões de assentamento, quanto as práticas de subsistência das populações dadas como históricas que habitaram ou utilizaram essa área costeira. Além disso, a presença de naufrágios assim como as marcas de redes de arrasto, indicam também que os padrões sonográficos permitem a identificação da utilização dos recursos marinhos da região, que quando descartadas acabam por estarem ainda presentes no ambiente submarino.

De acordo com Small e Nicholls (2003), há uma tendência global de intensificação das influências antropogênicas em ambientes costeiros e marinhos rasos, impulsionada pelo crescimento populacional em regiões costeiras. Os padrões de retroespalhamento observados na área de estudo fornecem subsídios sobre a distribuição dos vestígios de ocupação humana submersa (SHOS) revelando padrões estruturais que sugerem processos de submersão associados tanto à dinâmica natural quanto às modificações antrópicas ao longo do tempo. A concentração dessas feições no setor sul do delta indica uma direta relação entre a erosão costeira acelerada e a migração do canal fluvial, fatores que contribuiriam para a ocorrência de depósitos antrópicos junto a linha de costa. para a exposição e o soterramento dessas estruturas.

A distribuição dos SHOS revela que a maior densidade de detritos está próxima à costa, composta por vestígios de ordem continua. Esses materiais encontram-se amplamente dispersos, indicando uma influência significativa de processos hidrodinâmicos e sedimentares na destruição parcial da área urbana da cidade e posterior redistribuição dos resíduos antropogênicos. Em contraste, na porção distal do delta, os detritos desconcentrados e dispersos ao longo da plataforma, provavelmente evidenciam retrabalhamento por ondas e correntes, ou mesmo pela ação hidráulica fluvial resultando na distribuição errática observada. Padrões dispersos de elementos antropogênicos também foram observados em Bracchi et al., (2016), Massarelli et al., (2024a), e

Massarelli et al., (2024b). Esses padrões refletem o impacto combinado das dinâmicas naturais e humanas na modelagem do ambiente submerso.,(OLIVEIRA et al., 2023). (Bracchi et al., 2016)(Massarelli et al., 2024a) (Massarelli et al., 2024b).

As atividades humanas que induzem mudanças em morfologias da plataforma continental próximo a ambiente deltaico, também foram mencionadas recentemente, por exemplo na Itália (Po, Volturno, e Ofanto River ), (Corbau et al., 2019), (Ruberti et al., 2022) (De Santis et al., 2018), na Turquia (Complexo deltaico de Çukurova), (İnanç GÜNEY, 2013), Delta do São Francisco (Leste do Brasil), (Dominguez & Guimarães, 2021); (Torres et al., 2023); (Maillard et al., 2022). Porém nenhum destes exemplos tinham como problema focal um processo erosivo tão intenso como o observado no DRPS, a ponto da identificação dos vestígios antropogênicos terem sido tão concentrados. Talvez, em termos de nomenclatura, ao invés da utilização de SHOS, se possa atribuir a identificação moderna de registros contínuos de tantos vestígios, e concentrados, derivados da ação tão vigorosa da erosão costeira, a substituição pela terminologia Paisagem Submarina do Antropoceno, ou em inglês Submarine Anthropocene Landscape (SLA), uma vez que se trataria de depósitos modernos em escala de alteração submarina, derivada da erosão de cisdades. Tal fato, pode ser futuramente identificada em outras escalas, caso oscilações positivas do nível do mar de fato se consolidem nos ambientes deltaicos. Estudos neste sentido já estão publicados (Brondizio et al., 2016; Giosan et al., 2013; Nicholls et al., 2020; *Protect the World's Deltas*, 2005; Renaud et al., 2013; Syvitski et al., 2009).

O levantamento sonográfico realizado foi eficaz para distinguir as propriedades sedimentares na área de estudo, evidenciando mudanças morfologias assim como em (Hewitt, 2011); (Herkül et al., 2017); (Montereale-Gavazzi et al., 2018); (Prampolini et al., 2018); (Czechowska et al., 2020); (Pillay et al., 2021). Nesse contexto, o papel do SVL em investigações arqueológicas, revelando sua importância na identificação de vestígios subaquáticos de atividades humanas passadas (Mattei et al., 2019), (P. Aucelli et al., 2019); (Caporizzo et al., 2021); (P. P. C. Aucelli et al., 2020), (MATTEI et al., 2018). No entanto, exemplos modernos de Submarine Human Occupation Sites na literatura são escassos. Além disso, a abordagem de avaliação dos impactos antropogênicos no fundo marinho permanece limitada, com poucos estudos disponíveis, (Malik & Mayer, 2007); (Manik et al., 2014); (Bracchi et al., 2016) ;(Gomes et al., 2024).

Os processos erosivos são fortemente influenciados pela geometria da costa e pela interação entre fatores naturais, como ondas e correntes, e ações antrópicas, (Dominguez, 1996);

(Dominguez et al., 1981); (Loureiro dos Santos et al., 2022); (da Rocha et al., 2019b). Esses processos, combinados, refletem tendências (Subsistência acelerada, redução sedimentar, aumento de erosão costeira, entre outros), observadas globalmente em ambientes deltaicos, como no Estreito de Cook, Nova Zelândia (Watson et al., 2020); (Longhitano, 2018), em Portland Bill, Reino Unido (Bastos et al., 2003), e no Minas Passage, Baía de Fundy, (Shaw et al., 2012). Padrões semelhantes que refletem impactos das atividades humanas também foram documentados no Canal San Juan, no Arquipélago de San Juan (Greene et al., 2017), e na Bacia de Georgia, na margem do Pacífico do Canadá, (Barrie et al., 2009).

No caso do DRPS avaliações simplistas têm relacionado a erosão costeira a processos relacionados às interferências antrópicas, principalmente em relação a construção de barragens (e.g. OLIVEIRA et al., 2023). Tais considerações devem ser lidas com criticidade, uma vez que a construção de barramentos é bastante recente, em relação a aspectos evolutivos quaternários. No caso específico do DRPS Besset et al. (2019) mostra que a área do DRPS aumentou em área nos últimos 40 anos. Fernandez et al. (2023) indicaram que de fato houve aumentos da área emersa, com processos erosivos apenas concentrados na área de Atafona. Rocha et al. (2018) mostra que de fato no trecho de Atafona apresenta erosão, porém a área de sedimentação ao sul compensaria a perda de sedimentos. Mais recentemente Machado et al. (2024) mostra que de fato houve uma tendencia de aumento do trecho da erosão severa se direcionar cada vez mais ao sul, porém a área de sedimentação também respondeu compensando as perdas sedimentares em Atafona. Durante a evolução Quaternária do DRPS, períodos de erosão e posterior progradação estão marcados por truncamentos erosivos, que registram o desenvolvimento de cristas de praia numa ordem de tempo de centenas de anos (Ainsworth et al., 2019; Rocha et al. 2019), portanto a avaliação sobre as causas deve ser atribuída provavelmente a flutuações entre a ação combinada de ondas e hidráulica fluvial, que pelo menos nos últimos 2.5 ka vem sistematicamente ocorrendo, gerando feixes de progradação e truncamentos. Portanto, o processo erosivo que ocorre em Atafona, deve estar em escala de centenas de anos, e a consolidação urbana ocorreu nos últimos 70 anos, gerando um descompasso entre a urbanização consolidada e o recuo da linha de costa. Assim, a destruição das benfeitorias, gerando os padrões sonográficos verificados na zona submarina, devem mesmo representar uma paisagem submarina antropocênica.

## 6. CONCLUSÃO

O litoral ao sul da foz do rio Paraíba do Sul é marcado pela forte atuação de processos associados a dinâmica costeira que conferiu a este trecho da costa fluminense elevada mobilidade ao longo dos últimos 70 anos. Tal mobilidade resultou em processos erosivos que afetaram diretamente a cidade de Atafona, desenvolvida junto à foz meridional do rio. Entre 1976 e 2005, observou-se o período de maior intensificação dos problemas erosivos, com uma significativa perda de áreas edificadas e construídas, em grande parte devido ao crescimento urbano.A análise da distribuição espacial dos Submarine Human Occupation Sites (SHOS) ou da Paisagem Submarina Antropocênica ou Submarine Anthropocene Landscape (SAL)só foi possível pela investigação geofísica utilizando o SVLno delta do Rio Paraíba do Sul. A identificação dos padrões de fundo nestas condições foi de crucial importância, considerando o histórico de intensa erosão costeira e a reconfiguração da linha de costa observados nos últimos 70 anos.

Os dados de sonografia indicaram que, nesse período, os *SHOS ou SAL* permaneceram, em sua maioria, no mesmo local, quando estando relacionados a infraestrutura urbana da cidade de Atafona, apresentando pouca mobilização.

Entretanto, foi identificada uma tendência clara de transporte de detritos para áreas mais profundas, ao largo da desembocadura do rio Paraíba do Sul. Esse movimento indica que sedimentos e materiais transportados pelo rio são direcionados para regiões mais distantes e profundas, possivelmente devido à dinâmica das correntes e aos processos naturais de sedimentação;

Os SHOS podem exercer uma influência que vai além de sua área de origem, fornecendo sedimentos "antropogênicos" que são transportados para águas mais profundas devido à dinâmica costeira.

Assim, a ocupação e a erosão da região costeira de Atafona e, consequentemente, seus impactos relativos à erosão representam um exemplo de como os efeitos do Antropoceno podem ultrapassar os limites continentais, se expandindo para a zona submarina adjacente. Os SHOS/SAL modernos, como no caso deste estudo, representam uma nova fronteira para o entendimento dos fenômenos meteoceanográficos e ecossistêmicos locais, funcionando como um novo input físico que pode alterar a forma e a dinâmica das interações do fundo marinho com os processos hidrodinâmicos e o ecossistema costeiro;

Para um reconhecimento mais aprofundado da influência dessas estruturas na paisagem submarina recomenda-se investigar a composição do sedimento marinho na área, além de utilizar métodos geofísicos para investigar possíveis estruturas soterradas.

## 7. Referências bibliográficas


Allen, Y. C., Wilson, C. A., Roberts, H. H., & Supan, J. (2005). High Resolution Mapping and Classification of Oyster Habitats in Nearshore Louisiana Using Sidescan Sonar. In *Estuarine Research Federation Estuaries* (Vol. 28, Issue 3).

Amiri-Simkooei, A., Snellen, M. , & Simons, D. G. (2009). Riverbed sediment classification using multi-beam echo-sounder backscatter data. *J. Acoust. Soc. Am.*, *126*, 1724–1738.

Angulo, R. J., Lessa, G. C., & Souza, M. C. De. (2006). A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*, *25*(5–6), 486–506. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.03.008

Artemieva, I. M., & Thybo, H. (2020). Continent size revisited: Geophysical evidence for West Antarctica as a back-arc system. *Earth-Science Reviews*, *202*, 103106. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103106

Ashley G, Boothroyd JC, Bridge JS, & Clifton HE. (1990). Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. *Journal of Sedimentary Research*, *60*(1), 160–172. https://doi.org/10.2110/jsr.60.160

Aucelli, P., Cinque, A., Mattei, G., Pappone, G., & Rizzo, A. (2019). Studying relative sea level change and correlative adaptation of coastal structures on submerged Roman time ruins nearby Naples (southern Italy). *Quaternary International*, *501*, 328–348. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.10.011

Aucelli, P. P. C., Mattei, G., Caporizzo, C., Cinque, A., Troisi, S., Peluso, F., Stefanile, M., & Pappone, G. (2020). Ancient Coastal Changes Due to Ground Movements and Human Interventions in the Roman Portus Julius (Pozzuoli Gulf, Italy): Results from Photogrammetric and Direct Surveys. *Water*, *12*(3), 658. https://doi.org/10.3390/w12030658

Bajjouk, T., Rochette, S., Laurans, M., Ehrhold, A., Hamdi, A., & Le Niliot, P. (2015). Multi-approach mapping to help spatial planning and management of the kelp species L. digitata and L. hyperborea: Case study of the Molène Archipelago, Brittany. *Journal of Sea Research*, *100*, 2–21. https://doi.org/10.1016/j.seares.2015.04.004

Barrie, J. V., Conway, K. W., Picard, K., & Greene, H. G. (2009). Large-scale sedimentary bedforms and sediment dynamics on a glaciated tectonic continental shelf: Examples from the Pacific margin of Canada. *Continental Shelf Research*, *29*(5–6), 796–806. https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.12.007

Bastos, A. C., Collins, M., & Kenyon, N. H. (2003). Morphology and internal structure of sand shoals and sandbanks off the Dorset coast, English Channel. *Sedimentology*, *50*(6), 1105–1122. https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.2003.00596.x

Blondel, P. (n.d.). *The Handbook of Sidescan Sonar (Springer Praxis Books / Geophysical Sciences)*.

Boström, C., Pittman, S., Simenstad, C., & Kneib, R. (2011). Seascape ecology of coastal biogenic habitats: advances, gaps, and challenges. *Marine Ecology Progress Series*, *427*, 191–217. https://doi.org/10.3354/meps09051

Bracchi, V. A., Marchese, F., Savini, A., Chimienti, G., Mastrototaro, F., Tessarolo, C., Cardone, F., Tursi, A., & Corselli, C. (2016). Seafloor integrity of the *Mar Piccolo* Basin (Southern Italy): quantifying anthropogenic impact. *Journal of Maps*, *12*(sup1), 1–11. https://doi.org/10.1080/17445647.2016.1152920

Buscombe, D. (2017). Shallow water benthic imaging and substrate characterization using recreational-grade sidescan-sonar. *Environmental Modelling & Software*, *89*, 1–18. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.12.003

Caporizzo, C., Gracia, F. J., Aucelli, P. P. C., Barbero, L., Martín-Puertas, C., Lagóstena, L., Ruiz, J. A., Alonso, C., Mattei, G., Galán-Ruffoni, I., López-Ramírez, J. A., & Higueras-Milena, A. (2021). Late-Holocene evolution of the Northern Bay of Cádiz from geomorphological, stratigraphic and archaeological data. *Quaternary International*, *602*, 92–109. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.03.028

Cassar, J. C. M. e C. F. NEVES. (1993). Aplicação das rosas de transporte litorâneo à costa norte fluminense. *Revista Brasileira de Engenharia (RBE), Caderno de Recursos Hídricos. Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, São Paulo, SP*, *11*, 81–106.

Chavez P S Jr., Isbrecht, J., Galanis, P., Gabel, S. C., Sides, D. L., Soltesz, S. L., & Ross, M. G. V. (2002). Processing,mosaicking and management of the Monterey Bay digital sidescan-sonar images. *Marine Geology*, *181*, 305–315.

Chesterman, W. D. , Clynick, P. R., & Stride, A. H. (1958). An Acoustic aid to sea bed survey. *Acustica*, *8*, 285–290.

Corbau, C., Zambello, E., Rodella, I., Utizi, K., Nardin, W., & Simeoni, U. (2019). Quantifying the impacts of the human activities on the evolution of Po delta territory during the last 120 years. *Journal of Environmental Management*, *232*, 702–712. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.096

Czechowska, K., Feldens, P., Tuya, F., Cosme de Esteban, M., Espino, F., Haroun, R., Schönke, M., & Otero-Ferrer, F. (2020). Testing Side-Scan Sonar and Multibeam Echosounder to Study Black Coral Gardens: A Case Study from Macaronesia. *Remote Sensing*, *12*(19), 3244. https://doi.org/10.3390/rs12193244

Da Costa, A. P. F., Da Rocha, T. B., & Fernandez, G. B. (2020). Dynamics of sandy spits in northern flank of the paraiba do sul river delta (rj) between 1984 e 2017. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, *21*(4), 893–909. https://doi.org/10.20502/RBG.V21I4.1643

da Rocha, T. B., de Vasconcelos, S. C., Pereira, T. G., & Fernandez, G. B. (2019a). Optically stimulated luminescence (OSL) dating of the beach ridges in the Paraíba do Sul River delta (RJ): Considerations about the geomorphological evolution between Upper Pleistocene and Holocene. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, *20*(3), 563–580. https://doi.org/10.20502/rbg.v20i3.1620

da Rocha, T. B., de Vasconcelos, S. C., Pereira, T. G., & Fernandez, G. B. (2019b). Optically stimulated luminescence (OSL) dating of the beach ridges in the Paraíba do Sul River delta (RJ): Considerations about the geomorphological evolution between Upper Pleistocene and Holocene. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, *20*(3), 563–580. https://doi.org/10.20502/rbg.v20i3.1620

Da Rocha, T. B., Machado, B. A., Da Silva, J. C., Da Silva Mello, G., Pereira, T. G., & Fernandez, G. B. (2018). Beach and foredunes morphodynamics interactions along paraiba do sul river delta, using a decadal approach. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, *19*(2). https://doi.org/10.20502/rbg.v19i2.1233

De Santis, V., Caldara, M., Marsico, A., Capolongo, D., & Pennetta, L. (2018). Evolution of the ofanto river delta from the ‘little ice age’ to modern times: Implications of large-scale synoptic patterns. *Holocene*, *28*(12), 1948–1967. https://doi.org/10.1177/0959683618798109

Desruelles, S., Chabrol, A., Hasenohr, C., Pavlopoulos, K., Apostolopoulos, G., Kapsimalis, V., Triantaphyllou, M., Koukousioura, O., Mathe, V., Chapoulie, R., & Fouache, E. (2023). Palaeogeographic reconstruction of the Main Harbour of the ancient city of Delos (Greece). *Journal of Archaeological Science*, *160*. https://doi.org/10.1016/j.jas.2023.105857

Dominguez, J. M. L. (1996). The São Francisco strandplain: a paradigm for wave-dominated deltas? *In: DE BAPTIST, M. e JACOBS, P. (Ed.). Geology of Siliciclastic Shelf Seas. Geological.Society of London, Special Publication*, *117*, 217–231.

Dominguez, J. M. L., Bittencourt, A. C. D. S. P., & Martin, L. (1981). Esquema Evolutivo Da Sedimentação Quaternária Nas Feições Deltaicas Dos Rios São Francisco (Se/Al), Jequitinhonha (Ba), Doce (Es) E Paraíba Do Sul (Rj). *Revista Brasileira de Geociências*, *11*(4), 227–237. https://doi.org/10.25249/0375-7536.1981227237

Dominguez, J. M. L., & Guimarães, J. K. (2021). Effects of Holocene climate changes and anthropogenic river regulation in the development of a wave-dominated delta: The São Francisco River (eastern Brazil). *Marine Geology*, *435*, 106456. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2021.106456

Duran, R., Guillen, J., Ribo, M., Puig, P., & Munoz, A. (2019). Duran_et_al_2019. *Marine and River Dune Dynamics*, *VI*.

Ericson, J. P., Vörösmarty, C. J., Dingman, S. L., Ward, L. G., & Meybeck, M. (2006). Effective sea-level rise and deltas: Causes of change and human dimension implications. *Global and Planetary Change*, *50*(1–2), 63–82. https://doi.org/10.1016/J.GLOPLACHA.2005.07.004

Fernandez, et al. (2008). Modelo Morfológico da Origem e Evolução das Dunas na Foz do Rio Paraíba do Sul, RJ. *N: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, Belo Horizonte*.

Fernando Bava-De-Camargo, P. (n.d.). *The Use of Side Scan Sonar in Brazilian Underwater Archaeology INTRODUCTION AND AIMS*.

Flemming, N. (2004). *Submarine prehistoric archaeology of the Indian continental shelf: A potential resource*.

Gaur, A. s, Sundaresh, & Vora, K. (2005). *Archaeology of Bet Dwarka Island: An Excavation Report*.

Geersen, J., Bradtmöller, M., von Deimling, J. S., Feldens, P., Auer, J., Held, P., Lohrberg, A., Supka, R., Lutz Hoffmann, J. J., Eriksen, B. V., Rabbel, W., Karlsen, H. J., Krastel, S., Brandt,

D., Heuskin, D., & Lübke, H. (2024). A submerged Stone Age hunting architecture from the Western Baltic Sea. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *121*(8). https://doi.org/10.1073/pnas.2312008121

Gomes, P. V. O., Figueiredo, F. T., Fambrini, G. L., Pupim, F., Grohmann, C. H., Vedana, L. A., & Franco, L. S. (2024). Hydrological and morphological responses in the São Francisco River Basin (Northeast Brazil) resulting from river damming and climate changes in a tropical region. *Earth Surface Processes and Landforms*. https://doi.org/10.1002/esp.6003

Greene, H., Cacchione, D., & Hampton, M. (2017). Characteristics and Dynamics of a Large Sub-Tidal Sand Wave Field—Habitat for Pacific Sand Lance (Ammodytes personatus), Salish Sea, Washington, USA. *Geosciences*, *7*, 107. https://doi.org/10.3390/geosciences7040107

Hamilton, D. (2007). Preliminary report on the archaeological investigations of the submerged remains of Port Royal, Jamaica 1981–1982. *International Journal of Nautical Archaeology*, *13*, 11–25. https://doi.org/10.1111/j.1095-9270.1984.tb01173.x

Herkül, K., Peterson, A., & Paekivi, S. (2017). Applying multibeam sonar and mathematical modeling for mapping seabed substrate and biota of offshore shallows. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *192*, 57–71. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.04.026

Hesp, P. A., Dillenburg, S. R., Barboza, E. G., Tomazelli, L. J., Ayup-Zouain, R. N., Esteves, L. S., Gruber, N. L. S., Toldo, E. E., Tabajara, L. L. C. D. A., & Clerot, L. C. P. (2005). Beach ridges, foredunes or transgressive dunefields? Definitions and an examination of the Torres to Tramandaí barrier system, Southern Brazil. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, *77*(3), 493–508. https://doi.org/10.1590/S0001-37652005000300010

Hewitt, K. (2011). *Rock Avalanche Dams on the Trans Himalayan Upper Indus Streams: A Survey of Late Quaternary Events and Hazard-Related Characteristics* (pp. 177–204). https://doi.org/10.1007/978-3-642-04764-0_6

İnanç GÜNEY, O. (2013). *Assessment of sea level rise impact on population and land use in the Mediterranean coast of Turkey*. www.nobel.gen.tr

Jefferson, A. J., Wegmann, K. W., & Chin, A. (2013). Geomorphology of the anthropocene: Understanding the surficial legacy of past and present human activities. *Anthropocene*, *2*, 1–3. https://doi.org/10.1016/j.ancene.2013.10.005

Kenny, A. J., Cato, I., Desprez, M., Fader, G., Schüttenhelm, R. T. E., & Side, J. (2003). An overview of seabed-mapping technologies in the context of marine habitat classification. In

*ICES Journal of Marine Science* (Vol. 60, Issue 2, pp. 411–418). Academic Press. https://doi.org/10.1016/S1054-3139(03)00006-7

Klein, M. ;, & Edgerton, H. (1968). Sonar: a modern technique for ocean exploitation. *IEEE Spectr. 5, 40e46.*

Lambeck, K., Rouby, H., Purcell, A., Sun, Y., & Sambridge, M. (2014). Sea level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(43), 15296–15303. https://doi.org/10.1073/pnas.1411762111

Lauderdale, F., Taylor, M., & Stone, G. W. (1996). *Beach-Ridges: A Review*.

Levin, S. A. (1992). The Problem of Pattern and Scale in Ecology: The Robert H. MacArthur Award Lecture. *Ecology*, *73*(6), 1943–1967. https://doi.org/10.2307/1941447

Lewis, S. L., & Maslin, M. A. (2015). Defining the Anthropocene. *Nature*, *519*(7542), 171–180. https://doi.org/10.1038/nature14258

Longhitano, S. G. (2018). Between Scylla and Charybdis (part 1): the sedimentary dynamics of the modern Messina Strait (central Mediterranean) as analogue to interpret the past. *Earth-Science Reviews*, *185*, 259–287. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.06.008

Loureiro dos Santos, R., Bastos, A. C., & da Silva Quaresma, V. (2022). Sedimentological signatures of river-shelf processes in a wave-dominated delta front. *Journal of South American Earth Sciences*, *115*, 103761. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103761

Lubis, M. Z., & Manik, H. M. (n.d.). *Review : Acoustic systems (split beam echo sounder ) to determine abundance of fish in marine fisheries*.

Ludvigsen, M., Eustice, R., & Singh, H. (2006). Photogrammetric models for marine archaeology. *oceans 2006*, 1–6. https://doi.org/10.1109/OCEANS.2006.306915

Machado, B. A., da Rocha, T. B., Fernandez, G. B., & de Oliveira Filho, S. R. (2024). Shoreline dynamic on the southern zone in the Paraíba do Sul River delta between 1954-2018: considerations about coastal erosion in Atafona and different analysis methods. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, *25*(1). https://doi.org/10.20502/rbg.v25i1.2272

Maillard, P., Gomes, M. F., Pôssa, É. M., & Paula, R. S. de. (2022). Challenges of defining the floodplain through the “mean ordinary flood line” approach using remote sensing in Brazil: a case study of the São Francisco River. *RBRH*, *27*. https://doi.org/10.1590/2318-0331.272220210110

Malik, M. A., & Mayer, L. A. (2007). Investigation of seabed fishing impacts on benthic structure using multi-beam sonar, sidescan sonar, and video. *ICES Journal of Marine Science*, *64*(5), 1053–1065. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsm056

Manik, D., Witthaut, D., Schäfer, B., Matthiae, M., Sorge, A., Rohden, M., Katifori, E., & Timme, M. (2014). Supply networks: Instabilities without overload. *European Physical Journal: Special Topics*, *223*(12), 2527–2547. https://doi.org/10.1140/epjst/e2014-02274-y

Martín, J., Puig, P., Palanques, A., & Giamportone, A. (2014). Commercial bottom trawling as a driver of sediment dynamics and deep seascape evolution in the Anthropocene. *Anthropocene*, *7*, 1–15. https://doi.org/10.1016/J.ANCENE.2015.01.002

Massarelli, C., Campanale, C., & Uricchio, V. F. (2024a). Characterization of Synanthropic Habitats on Shallow Seabeds Using Map Clustering Techniques: A Case Study in Taranto, Apulia, Italy. *Ecologies*, *5*(4), 627–646. https://doi.org/10.3390/ecologies5040037

Massarelli, C., Campanale, C., & Uricchio, V. F. (2024b). Characterization of Synanthropic Habitats on Shallow Seabeds Using Map Clustering Techniques: A Case Study in Taranto, Apulia, Italy. *Ecologies*, *5*(4), 627–646. https://doi.org/10.3390/ecologies5040037

Mattei, G., Rizzo, A., Anfuso, G., Aucelli, P. P. C., & Gracia, F. J. (2019). A tool for evaluating the archaeological heritage vulnerability to coastal processes: The case study of Naples Gulf (southern Italy). *Ocean and Coastal Management*, *179*. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104876

Mattei, G., Troisi, S., Aucelli, P. P. C., Pappone, G., Peluso, F., & Stefanile, M. (2018). Sensing the submerged landscape of Nisida Roman harbour in the gulf of Naples from integrated measurements on a USV. *Water (Switzerland)*, *10*(11). https://doi.org/10.3390/w10111686

Milkert, D. , & Fiedler, H. M. (n.d.). *Processing and mosaicking digital side scan sonar images: two examples from the western Baltic Sea. Baltica,. 15*, 40–48.

Milkert, D., & Fiedler, H. M. (2002). Processing and mosaicking digital side scan sonar images: Two examples from the western Baltic Sea. *Baltica*, *15*, 40–48.

Montereale-Gavazzi, G., Roche, M., Lurton, X., Degrendele, K., Terseleer, N., & Van Lancker, V. (2018). Seafloor change detection using multibeam echosounder backscatter: case study on the Belgian part of the North Sea. *Marine Geophysical Research*, *39*(1–2), 229–247. https://doi.org/10.1007/s11001-017-9323-6

Moreira, M. A., Vital, H., & Lira, E. N. B. H. F. (2013). Using side scan sonar in the characterization of the continental shelf: Touros area. *2013 IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium*, 1–5. https://doi.org/10.1109/RIOAcoustics.2013.6684014

Murillo, V., Silva, C., & Fernandez, G. (2009). Nearshore sediments and coastal evolution of Paraíba do Sul River Delta. *Brazil. Journal of Coastal Research*, *56*, 650–654. http://earth.google.com,

Neto, A. R. X., De Morais, J. O., & De Souza Pinheiro, L. (2018). Bedform distribution and sedimentary patterns at the harbour mucuripe, fortaleza-ceará. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, *19*(2), 321–339. https://doi.org/10.20502/rbg.v19i2.1278

Nicholls, R. J., Adger, N., Hutton, C. W., & Hanson, S. E. (2020). Deltas in the Anthropocene. In *Deltas in the Anthropocene*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23517-8

Oliveira, E. C., Barboza, R. D., Silva, B. G. G., & Diaz Filho, M. C. (2023). Erosion of four Brazilian coastal deltas: how dam construction is changing the natural pattern of coastal sedimentary systems. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, *95*(suppl 1). https://doi.org/10.1590/0001-3765202320220576

Otvos, E. G. (2000). Beach ridges - definitions and significance. *Geomorphology*, *32*(1–2), 83–108. https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00075-6

Peterson, M. S. (2004). Estuarine Research, Monitoring, And Resource Protection. *Copeia*, *2004*(4), 957–958. https://doi.org/10.1643/OT-04-247

Pillay, T., Cawthra, H. C., & Lombard, A. T. (2021). Integration of machine learning using hydroacoustic techniques and sediment sampling to refine substrate description in the Western Cape, South Africa. *Marine Geology*, *440*. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2021.106599

Pinho, U. F. (2003). Caracterização dos Estados de Mar na Bacia de Campos. *Dissertação de Mestrado COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro*, 123p.

Pittman, S., Caldow, C., Hile, S., & Monaco, M. (2007). Using seascape types to explain the spatial patterns of fish in the mangroves of SW Puerto Rico. *Marine Ecology Progress Series*, *348*, 273–284. https://doi.org/10.3354/meps07052

Pittman, S., Yates, K., Bouchet, P., Alvarez-Berastegui, D., Andréfouët, S., Bell, S., Berkström, C., Boström, C., Brown, C., Connolly, R., Devillers, R., Eggleston, D., Gilby, B., Gullström,

M., Halpern, B., Hidalgo, M., Holstein, D., Hovel, K., Huettmann, F., … Young, M. (2021). Seascape ecology: identifying research priorities for an emerging ocean sustainability science. *Marine Ecology Progress Series*, *663*, 1–29. https://doi.org/10.3354/meps13661

Prampolini, M., Blondel, P., Foglini, F., & Madricardo, F. (2018). Habitat mapping of the Maltese continental shelf using acoustic textures and bathymetric analyses. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *207*, 483–498. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.06.002

Pungetti, G. (2012). Islands, culture, landscape and seascape. *Journal of Marine and Island Cultures*, *1*(2), 51–54. https://doi.org/10.1016/J.IMIC.2012.11.007

Quadros, M. A. R. (2025). *Comportamento da linha de costa em escala decadal: exemplo do litoral entre Macaé e Barra do Furado, litoral norte do estado do Rio de Janeiro.* UniversidadeFederalFluminense.

Ramesh, R., Chen, Z., Cummins, V., Day, J., D'Elia, C., Dennison, B., Forbes, D. L., Glaeser, B., Glaser, M., Glavovic, B., Kremer, H., Lange, M., Larsen, J. N., Le Tissier, M., Newton, A., Pelling, M., Purvaja, R., & Wolanski, E. (2015). Land–Ocean Interactions in the Coastal Zone: Past, present & future. *Anthropocene*, *12*, 85–98. https://doi.org/10.1016/J.ANCENE.2016.01.005

Reid, A. T., Bzdok, D., Genon, S., Langner, R., Müller, V. I., Eickhoff, C. R., Hoffstaedter, F., Cieslik, E.-C., Fox, P. T., Laird, A. R., Amunts, K., Caspers, S., & Eickhoff, S. B. (2016). ANIMA: A data-sharing initiative for neuroimaging meta-analyses. *NeuroImage*, *124*, 1245–1253. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.07.060

Renaud, F. G., Syvitski, J. P. M., Sebesvari, Z., Werners, S. E., Kremer, H., Kuenzer, C., Ramesh, R., Jeuken, A. D., & Friedrich, J. (2013). Tipping from the Holocene to the Anthropocene: How threatened are major world deltas? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *5*(6), 644–654. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.007

Roe, S., Streck, C., Beach, R., Busch, J., Chapman, M., Daioglou, V., Deppermann, A., Doelman, J., Emmet-Booth, J., Engelmann, J., Fricko, O., Frischmann, C., Funk, J., Grassi, G., Griscom, B., Havlik, P., Hanssen, S., Humpenöder, F., Landholm, D., … Lawrence, D. (2021). Land-based measures to mitigate climate change: Potential and feasibility by country. *Global Change Biology*, *27*(23), 6025–6058. https://doi.org/10.1111/gcb.15873

Ruberti, D., Buffardi, C., Sacchi, M., & Vigliotti, M. (2022). The late Pleistocene-Holocene changing morphology of the Volturno delta and coast (northern Campania, Italy): Geological

architecture and human influence. *Quaternary International*, *625*, 14–28. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2022.03.023

Shaw, J., Todd, B. J., Li, M. Z., & Wu, Y. (2012). Anatomy of the tidal scour system at Minas Passage, Bay of Fundy, Canada. *Marine Geology*, *323–325*, 123–134. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2012.07.007

Siqueira Neto, A. C. de, Porsani, J. L., Rangel, R. C., Souza, L. A. P. de, Navarro, A. G., Lima, L. G. de, & Stangari, M. C. (2024). Geophysical surveys at Formoso underwater archaeological stilt village in the eastern Amazon region, Brazil. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *60*, 104821. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2024.104821

Souza D. C., S. R. R. ,. (2021). Ocean-Land atmosphere Model(OLAM) performance for major extreme materological events near the coastal region of southern Brazil. *ClimateReserch*, *84*, 18–22.

Souza, T. A. B. E. ; A. I. B. S. (2015). Ondas de Tempestade na Costa Norte Fluminense. *Quaternary and Environmental Geosciences*, *6*, 10–17.

Steele, J. H. (1989). *The ocean "landscape."*

Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., & Ludwig, C. (2015). The trajectory of the anthropocene: The great acceleration. *Anthropocene Review*, *2*(1), 81–98. https://doi.org/10.1177/2053019614564785

Steffen, W., Crutzen, P. J., & McNeill, J. R. (2007). The anthropocene: Are humans now overwhelming the great forces of nature? *Ambio*, *36*(8), 614–621. https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[614:TAAHNO]2.0.CO;2

Steffen, W., Grinevald, J., Crutzen, P., & Mcneill, J. (2011). The anthropocene: Conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, *369*(1938), 842–867. https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0327

Suguio, K., Flexor, J. M., Nacional, O., & Dominguez, J. M. L. (1984). *Evoluçao da planicie costeira do rio Paraiba do Sul (RJ) durante o quaternario : influencia das flutuaçoes do nivel do mar*. https://www.researchgate.net/publication/32987914

Syvitski, J. P. M., & Saito, Y. (2007). Morphodynamics of deltas under the influence of humans. *Global and Planetary Change*, *57*(3–4), 261–282. https://doi.org/10.1016/J.GLOPLACHA.2006.12.001

Tamura, T. (2012). Beach ridges and prograded beach deposits as palaeoenvironment records. *Earth-Science Reviews*, *114*(3–4), 279–297. https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2012.06.004

Todd, B. J., & Kostylev, V. E. (2011). Surficial geology and benthic habitat of the German Bank seabed, Scotian Shelf, Canada. *Continental Shelf Research*, *31*(2 SUPPL.). https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.07.008

Torres, M. F. O., Ferreira, R. A., Vasco, A. N. do, & Silva-Mann, R. (2023). Temporal geomorphic modifications and climate change impacts on the lower course of the São Francisco River, Brazil. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *32*, 101063. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101063

Vasconcelos, S. C. de, Rocha, T. B., Pereira, T. G., Alves, A. R., & Fernandez, G. B. (2016). Gênese E Morfodinâmica Das Barreiras Arenosas No Flanco Norte Do Delta Do Rio Paraíba Do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, *17*(3). https://doi.org/10.20502/rbg.v17i3.845

Watson, S. J., Neil, H., Ribó, M., Lamarche, G., Strachan, L. J., MacKay, K., Wilcox, S., Kane, T., Orpin, A., Nodder, S., Pallentin, A., & Steinmetz, T. (2020). What We Do in the Shallows: Natural and Anthropogenic Seafloor Geomorphologies in a Drowned River Valley, New Zealand. *Frontiers in Marine Science*, *7*. https://doi.org/10.3389/fmars.2020.579626

Yeung, C., & McConnaughey, R. A. (2008). Using acoustic backscatter from a sidescan sonar to explain fish and invertebrate distributions: a case study in Bristol Bay, Alaska. *ICES Journal of Marine Science*, *65*(2), 242–254. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn011

Zalasiewicz, J. A. N., Williams, M., Steffen, W., & Crutzen, P. (2010). The new world of the anthropocene. *Environmental Science and Technology*, *44*(7), 2228–2231. https://doi.org/10.1021/es903118j

# ANEXOS

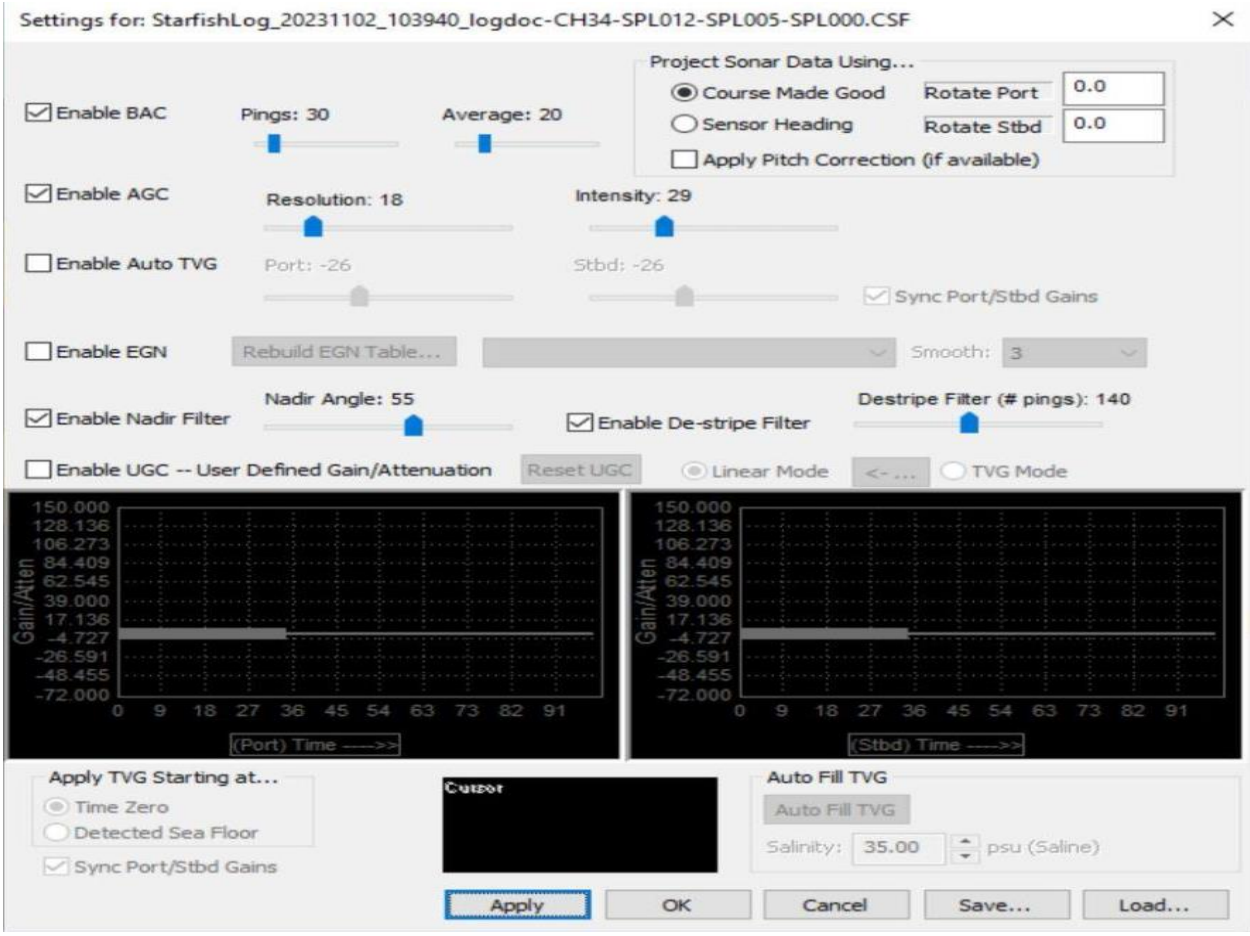



**Figura 11:** Janela de aplicação dos filtros BAC e AGC nos Sonogramas, com os respectivos valores empregados.