



Geomorfologia Costeira, Marinha e Eólica

Organização:

- Antônio Rodrigues Ximenes Neto





Geomorfologia Costeira, Marinha e Eólica

Organização:

- Antônio Rodrigues Ximenes Neto
-

MOSSORÓ- RN, 2026.

UERN

Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Reitora

Cicília Raquel Maia Leite

Vice-Reitor

Francisco Dantas de Medeiros Neto

Chefe da Editora Universitária – EDUERN

Francisco Fabiano de Freitas Mendes

**Chefe do Setor Executivo da Editora
Universitária da Uern - EDUERN**

Jacimária Fonseca de Medeiros

**Chefe do Setor de Editoração da Editora
Universitária da Uern (Eduern)**

Lindercy Francisco Tomé de Souza Lins

Conselho Editorial das Edições UERN

Andreza Tacyana Félix Carvalho

Francisco Fabiano de Freitas Mendes

Franklin Roberto da Costa

Fernanda Abreu de Oliveira

Gleisson do Carmo Oliveira

Ismênia Gurgel Martins

Jacimária Fonseca de Medeiros

Lindercy Francisco Tomé de Souza Lins

Maria Ione da Silva

Otoniel Fernandes da Silva Júnior

Patrícia Batista Barra

Kalidia Felipe de Lima

Saulo Gomes Batista

Sérgio Luiz Pedrosa Silva

Capa e Diagramação

André Duarte da Silva

Gabriela Mabel Alves Vieira



**Catálogo da Publicação na Fonte.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.**

Geomorfologia Costeira, Marinha e Eólica-Vol.IV [recurso eletrônico]. / Antônio Rodrigues Ximenes Neto (org.). – Mossoró, RN: Edições UERN, 2026.

186 p.

ISBN: 978-85-7621-584-4 (E-book).

Coleção: Geomorfologia do Brasil.

1. Geomorfologia Costeira. 2. Geomorfologia Marinha. 3. Geomorfologia Costeira Eólica. I. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. II. Título.

UERN/BC

CDD 551.4



Sumário:

APRESENTAÇÃO.....

1. DINÂMICA EVOLUTIVA DA BARREIRA COSTEIRA ARENOSA DE PONTA DOS MANGUES-PACATUBA/ SERGIPE: ENTRE 2015 E 2024

Neise Mare de Souza Alves
Lucas Silva Leite
Débora Barbosa da Silva
Izabella Santos Carvalho Shammer

2. GATILHOS GEOMORFOLÓGICOS DE CURTO PRAZO EM FALÉSIAS COSTEIRAS ATIVAS

Heleriany de Medeiros Madeiros
Rodrigo de Freitas Amorim
Sílvio Braz de Sousa
Daniel Carlos Alves Santos
Ana Paula Rodrigues Frazão

3. COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA ORLA MARÍTIMA TERRESTRE FRONTAL DO LITORAL ORIENTAL DO RIO GRANDE DO NORTE: DE NATAL/RN A BAÍA FORMOSA/RN

Arianna dos Santos Ferreira
Eduardo Queiroz de Lima
Neomyzia Lorena Bezerra Furtado
Rodrigo de Freitas Amorim
Zuleide Maria Carvalho Lima

4. AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA CASSIE PARA DETECÇÃO DA DINÂMICA DA LINHA DE COSTA EM PRAIA INTERMEDIÁRIA DE MICROMARÉ: EXEMPLO DO LITORAL LESTE DO RJ

Leonardo Quintanilha de Castro
Thaís Baptista da Rocha
Guilherme Borges Fernandez

5. MORFODINÂMICA DE PRAIAS OCEÂNICAS SETENTRIONAIS NA ILHA DE SANTA LUZIA - BARRA DOS COQUEIROS: UMA ESTRATÉGIA GEOMORFOLÓGICA PARA O GERENCIAMENTO COSTEIRO DO LITORAL

Hélio Mário de Araújo
Rafael da Cruz
Gabriel Davi Sousa Vieira
Gustavo de Oliveira Meneses Santos

06

08

29

48

65

80

6. USO DA TECNOLOGIA LIDAR PARA CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DE FALÉSIAS COSTEIRAS

Rodrigo de Freitas Amorim
Talita Santiago Ferreira Costa
Silvio Braz de Sousa
Heleriany de Medeiros Madeiros
Daniel Carlos Alves Santos

100

7. DA EROÇÃO À RECUPERAÇÃO COSTEIRA: A VALORAÇÃO CONTINGENTE COMO FERRAMENTA DE CONSERVAÇÃO DA PRAIA DO ICARAÍ, CE

José Lucas Marques Albuquerque
Vitoria Ferreira de Souza
Larissa Amorim de Oliveira
Henrique Ramos de Paiva
José Helio Alves Gondim
Antônio Gabriel dos Anjos de Vasconcelos
Otávio Augusto de Oliveira Lima Barra
Kamila Vieira de Mendonça
Fábio Perdigão Vasconcelos

117

8. MONITORAMENTO DA LINHA DE COSTA A PARTIR DE DADOS DO SATÉLITE SENTINEL-2 PARA TIBAU/RN, PERÍODO 2016-2024

Maykon Targino da Silva
Frankilys Ryan Medeiros da Silva
Sheila Karene Nolasco da Silva Fernandes
Antonio Inacio Neto
Alfredo Marcelo Grigio
Rodrigo Guimarães de Carvalho

133

9. PLANÍCIE COSTEIRA DE PACATUBA-SERGIPE: COMPARTIMENTAÇÃO GEOSISTÊMICA E AVALIAÇÃO MORFODINÂMICA

Rafael Cardoso da Silva Neto
Samara Hellen Divino dos Santos
Mona Santos Oliveira
Neise Mare De Souza Alves

149

10. IMPACTOS DOS EVENTOS DE MAIOR ENERGIA NAS PRAIAS DE SERGIPE: UMA ABORDAGEM COM SMC-BRASIL

Paloma Santos Amorim
Tais Kalil Rodrigues
Jessica Lane Lopes da Silva
Ádila Ferreira Sena
Ana Alici de Souza Marcelino

170



Geomorfologia do Brasil

Apresentação

A **Coleção Geomorfologia do Brasil**, editada pela Edições Uern - EDUERN, reúne contribuições de pesquisadores e pesquisadoras de diferentes regiões do país que apresentaram seus trabalhos no XV Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO), realizado em Natal (RN), entre os dias 4 e 8 de agosto de 2025.

Composta por 14 volumes temáticos, a coleção expressa a diversidade e a vitalidade da produção científica brasileira em Geomorfologia, contemplando desde abordagens clássicas até perspectivas inovadoras que integram novas tecnologias, análises ambientais e dimensões sociais da paisagem. Cada livro reflete o compromisso coletivo de fortalecer e divulgar o conhecimento geomorfológico produzido no Brasil, promovendo diálogo entre diferentes áreas e instituições.

... OS VOLUMES QUE COMPÕEM A COLEÇÃO SÃO:



1. Intemperismo, Solos e Paisagem

organizado por Davi do Vale Lopes (UFRN)



2. Processos e Formas de Vertentes

organizado por Grace Bungenstab Alves (UFBA)



3. Geomorfologia Fluvial e Lacustre

organizado por José Yure Gomes dos Santos (UFRN)
e Filipe da Silva Peixoto (UERN)



4. Geomorfologia Costeira, Marinha e Eólica

organizado por Antônio Rodrigues Ximenes Neto (UFRN)



5. Geomorfologia de Áreas Cársticas

organizado por Luiz Eduardo Panisset Travassos (PUC-MG)



6. Geomorfologia Estrutural

organizado por Abner Monteiro Nunes Cordeiro (UFRN)



7. Geomorfologia Ambiental

organizado por Glairton Cardoso Rocha (IFPI)



8. Quantificação de Processos, Modelagem e Geocronologia

organizado por Kleber Carvalho Lima (UPE)
e Everton Vinicius Valezio (UPE)



9. Mapeamento Geomorfológico: Básico e Aplicado

organizado por Rosangela Garrido Machado Botelho (IBGE)



10. Risco Geomorfológico: Diagnóstico, Prevenção e Previsão

organizado por Maria Carolina Villaça Gomes (UERJ)



11. Antropoceno e Geomorfologia Urbana

organizado por Guilherme Borges Fernandez (UFF)
Miguel Felipe (UFJF)
e Maria Luíza de Oliveira Terto



12. Geodiversidade e Patrimônio Geomorfológico

organizado por Thiara Oliveira Rabelo (UFRN)
e Luciana Martins Freire (UFPA)



13. Geotecnologias e Inteligência Artificial Aplicadas à Geomorfologia

organizado por Paulo Victor do Nascimento Araújo (IFRN)
e Sílvio Braz de Sousa (UFRN)



14. Ensino de Geomorfologia na Educação Formal e Não Formal

organizado por Emanuel Lindemberg Silva Albuquerque (UFDF)
e José Falcão Sobrinho (UVA)

Mais do que uma coletânea de textos, esta coleção constitui um registro histórico da consolidação da geomorfologia brasileira em múltiplas frentes — teórica, metodológica e aplicada. Esperamos que cada volume inspire novas leituras do relevo, novas formas de pensar a paisagem e novos caminhos de pesquisa comprometidos com a compreensão das dinâmicas da superfície terrestre.

Desejamos a todos uma excelente leitura!

*Jacimária Fonseca de Medeiros, Thaís Guimarães,
e Marco Túlio Mendonça Diniz*

Organizadores da Coleção Geomorfologia do Brasil



DINÂMICA EVOLUTIVA DA BARREIRA COSTEIRA ARENOSA DE PONTA DOS MANGUES-PACATUBA/SERGIPE: ENTRE 2015 E 2024

Neise Mare de Souza Alves¹

Lucas Silva Leite²

Débora Barbosa da Silva³

Izabella Santos Carvalho Shammer⁴

Palavras-chave: Ilha-barreira, Pontal arenoso, Laguna Canal do Poço, Processos costeiros, Ponta dos Mangues.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo analisar a evolução da ilha barreira que se desenvolveu em Ponta dos Mangues, Pacatuba/Sergipe, com base nos aspectos morfométricos e dados aeroespaciais. A planície costeira do município insere-se no delta do São Francisco e apresenta uma diversidade de modelados resultantes das interações dos agentes atmosféricos, marinhos e fluviais, cujos processos propiciaram a formação de uma barreira costeira arenosa em constante evolução. Como procedimentos, foram realizados: pesquisa bibliográfica, interpretação de imagens de satélite para caracterizar as dimensões da barreira arenosa no período compreendido entre 2015 e 2024 com o auxílio do *Google Earth Pro*® e do *software* QGIS, e trabalhos de campo. Na atualidade, a feição arenosa, localiza-se entre a Prainha de Ponta dos Mangues e a Praia da Boca da Barra. Ela configura uma ilha-barreira com cerca de 14 km de extensão linear e largura que varia entre 160 m e 650 m, a sua evolução favoreceu a formação de uma laguna denominada de Canal do Poço. Essa variabilidade na largura deve-se à justaposição de setores dominados pela erosão ou deposição. Os processos erosivos atuam principalmente na retaguarda da ilha-barreira, ou seja, no setor interno voltado para a laguna. Eles são influenciados pelo tipo de uso e ocupação – instalação de viveiros de carcinicultura, que interferem na sedimentação, e pela hidrodinâmica dos canais de maré. O processo de sedimentação se relaciona com o crescimento da ilha-barreira para sudoeste, seguindo a direção preferencial da deriva litorânea. Essa corrente transporta os sedimentos da foz do rio São Francisco, que submetidos ao processo de refração das ondas e às entradas das correntes de maré, são direcionados no sentido do continente, favorecendo a sedimentação com a formação de cordões arenosos semicir-

¹ Doutora pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Sergipe - UFS, neisemare@gmail.com;

² Mestre pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Sergipe - UFS, silwa_lukas@hotmail.com;

³ Doutora pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Sergipe - UFS, deborabarbs@gmail.com;

⁴ Graduada pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Sergipe - UFS, izamace@gmail.com;



culares, encurvados para o canal da laguna onde ocorre a troca de água entre os corpos hídricos. A ilha-barreira segue se deslocando para sudoeste, se verificando o mesmo com o canal. Desse modo, a área a nordeste do campo de dunas da Reserva Biológica de Santa Isabel está sofrendo erosão. A análise comparativa das imagens de satélite revela que os setores da barreira situados a nordeste são mais estreitos e estão sujeitos a rupturas com a abertura de canais de entrada de maré. O setor sudoeste, embora se apresente progradante, corresponde ao setor migrante. Por sua vez, a porção central evidencia características de maior estabilidade, apresentando campo de deflação eólica e dunas. Em síntese, entende-se que as morfologias e a dinâmica da ilha-barreira são decorrentes da interação da atuação de fatores climáticos, fluviais, marinhos e do aporte sedimentar do rio São Francisco, influenciados pelo tipo de uso e ocupação. Assim, considerando que esta feição é de formação recente e de elevada instabilidade, necessita de monitoramento.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um país dotado de extenso litoral, onde se conjugam diferentes morfologias e ambientes nas unidades de paisagem da Zona Costeira. A planície costeira é uma dessas unidades, estando composta por feições de idade pleistocênica e holocênica, dentre as quais se encontram os terraços marinhos, dunas, deltas, planícies de maré, ilhas-barreira e pontais arenosos. A área deste estudo, no período de 2015 a 2024, passou por estágios evolutivos configurando inicialmente um pontal arenoso e na atualidade é uma ilha-barreira situada no delta do rio São Francisco, no povoado de Ponta dos Mangues, município de Pacatuba- Sergipe.

Os deltas têm sido objeto de investigação em vários países, por estar situado em uma área de interface continental e marinha. Devido a esta condição, eles consistem em feições complexas resultantes da interação da dinâmica de processos hidrosedimentares da bacia hidrográfica e do ambiente marinho. Os estudos sobre deltas são realizados desde o século XIX, mas foi no século XX que se ampliaram e passaram a ser difundidos, com propostas de classificação pautadas em aspectos morfológicos, sedimentares e/ou nos processos hidrodinâmicos atuantes na bacia receptora (Guimarães, 2010).

Galloway (1975) propôs uma classificação para os deltas, entendendo que a morfologia e estratigrafia dependem da quantidade de sedimentos depositados na bacia receptora e da energia das forçantes atuantes nela, principalmente, as ondas e marés, que irão redistribuir ou remover os sedimentos. O diagrama ternário apresentado pelo autor inclui três categorias: deltas dominados por processos fluviais, deltas dominados por ondas e deltas dominados por marés. Essa classificação é uma das mais difundidas e aplicadas, embora não proponha quantificação das taxas de entrada de sedimentos.



No decorrer do tempo, outros pesquisadores incluíram outros fatores que complementam a proposta do autor supracitado, a exemplo de – Orton & Reading (1993) que consideram a quantidade da carga de sedimentos, o tipo de transporte e o tamanho das partículas, como condicionantes importantes para a definição da morfologia do delta. Além desses autores, Jiménez *et al.* (1997) constataram que as alterações no delta do rio Elbro, evidenciadas na costa, devido a alternância de áreas com erosão e outras com acreção, estão relacionadas ao baixo aporte de sedimentos fluviais, submetidos às variações sazonais das ondas oceânicas e às oscilações do nível médio marinho decorrentes de marés meteorológicas e variações de longo prazo do nível médio relativo do mar. Esses autores aplicaram a classificação ternária de Galloway (1975) com adaptações, e apontam a dificuldade de incluir a variação do nível relativo do mar tendo em vista que é considerada um agente “passivo”, diante de outras forçantes que têm ação mais perceptível, como as ondas.

Os deltas dos principais rios brasileiros da costa leste – São Francisco, Jequitinhonha, Doce e Paraíba do Sul – estão enquadrados na categoria dos deltas dominados por ondas. Os estudos desenvolvidos por pesquisadores relacionam os efeitos das transgressões e regressões marinhas quaternárias com os processos de formação das planícies de cristas praias associadas às desembocaduras destes rios, mas destacam a influência do transporte de sedimentos arenosos pela deriva litorânea na construção desses deltas (Dominguez *et al.*, 1983, 1987; Dominguez, 1990, 1996; Suguio, 1985).

Nos rios referidos acima, o fluxo funciona como um molhe hidráulico na costa, que ao interagir com as ondas geram correntes que influenciam na deriva litorânea de sedimentos. Assim, a dinâmica do processo de sedimentação na planície deltaica se verifica de modo diferenciado. Os sedimentos marinhos são depositados à barlar da desembocadura do rio, propiciando maior progradação, e os sedimentos fluviais à sotamar, favorecendo a formação de esporões e pontais arenosos. Na área abrigada por essas feições se desenvolvem planícies de maré, que são colonizadas por mangues. Tais condições são constatadas nas planícies deltaicas dos rios São Francisco, Jequitinhonha e Paraíba do Sul. (Bittencourt *et al.*, 1982; Dominguez, 1990, 1996; Suguio *et al.*, 1985; Martin *et al.*, 1993). A deposição diferenciada de sedimentos explica a assimetria presente nos deltas dominados por ondas devido a atuação da deriva litorânea unidirecional (Bhattacharya; Giosan, 2003).

Dominguez *et al.* (1983) identificaram na planície deltaica do rio São Francisco, esporões e pontais arenosos, dentre outras feições geomórficas. Os primeiros podem ser encontrados em formação na costa atual ou nas flechas arenosas como testemunhos, no interior da planície. Geralmente, estas feições indicam o sentido preferencial



da deriva litorânea. Os pontais arenosos podem se desenvolver em uma ou em ambas as margens fluviais e, no setor interno do delta do rio São Francisco, ainda são encontrados testemunhos dessas feições.

Dillenburg & Hesp (2009) abordam sobre os fatores condicionantes – geológicos, oceanográficos e climáticos – que originam as barreiras costeiras arenosas. Os autores tratam das características das planícies costeiras, se referindo às áreas de ocorrência de barreiras costeiras holocênicas no litoral brasileiro, incluindo desde a costa dos estados da região Norte até a região Sul, com destaque para os sistemas de barreiras do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e pontais arenosos do Rio de Janeiro e Rio Grande do Norte.

Por sua vez, Vasconcelos (2010), analisou a evolução das barreiras arenosas no setor norte da desembocadura do rio Paraíba do Sul, enfatizando a inter-relação dos processos fluviais com as forçantes da hidrodinâmica costeira – ondas e marés. O autor correlaciona o aporte de sedimentos fluviais com as ondas geradoras da corrente de deriva litorânea. Este autor e colaboradores também investigaram a gênese e a morfodinâmica das barreiras arenosas que compõem o mesmo setor da foz deste rio, e constataram que estas feições são comuns nas planícies costeiras de rios cujas desembocaduras correspondem a deltas dominados por ondas, categoria onde se insere o rio São Francisco, entre outros rios brasileiros (Vasconcelos *et al.*, 2016).

Este estudo tem por objetivo analisar a evolução da barreira arenosa presente no povoado de Ponta dos Mangues, que compõe a frente litorânea do município de Pacatuba, no período de 2015 a 2024. No momento, essa feição se afigura como uma ilha-barreira. Ela se encontra no delta do rio São Francisco e apresenta mudanças na morfologia em curto espaço de tempo, em razão da interação entre a hidrodinâmica dos canais de maré e os agentes costeiros, principalmente, ondas, marés e deriva litorânea, sobretudo no período do inverno, com ocorrência de frentes frias.

Considerando a falta de monitoramento e a escassez de estudos sobre a dinâmica evolutiva recente dessa barreira arenosa, foi estabelecido como metodologia para a pesquisa – trabalhos de campo, análise de parâmetros morfométricos da praia, coleta de amostras, interpretação de imagens de satélite e o uso de geoprocessamento para a análise multitemporal. A produção acadêmica que abordou especificamente sobre a área deste estudo data de 2006, por Guimarães & Dominguez (2006), quando os autores constaram a existência de dois pontais arenosos – um ancorado no setor nordeste e outro a sudoeste.

A análise sugere que a evolução da barreira arenosa, agora ilha-barreira holocênica em Ponta dos Mangues, resulta da interação complexa de um conjunto de fatores,



que congrega os movimentos eustáticos transgressivos e regressivos do Quaternário, aliados às interações dos processos hidrodinâmicos do rio São Francisco e canais de maré, com os agentes costeiros – ondas, marés e corrente de deriva litorânea –, que condicionam a gênese e a evolução dessa feição, que na atualidade, é influenciada pelas intervenções antropogênicas com a instalação de viveiros para a criação de camarão – carcinicultura.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo segue os princípios sistêmicos, entendendo-se que a dinâmica da paisagem é resultado da interdependência entre os fatores naturais e antropogênicos, representado pelo uso e ocupação da terra.

Dentre os procedimentos metodológicos estão à realização de três trabalhos de campo – sendo duas campanhas executadas no inverno de 2024: a primeira em julho, para reconhecimento e observação das características da área, e a segunda em agosto, com caminhamento na praia oceânica da ilha-barreira para coleta de dados morfométricos e de sedimentos na face de praia, e descrição dos subambientes do pós-praia. A terceira campanha se deu em janeiro de 2025, para identificação das mudanças ocorridas nesta feição, em particular na praia e verificação da atuação dos processos costeiros.

Na sequência, foram adquiridas imagens de satélite do *Google Earth Pro*®, e *Sentinel-2* através do serviço de dados *Copernicus* da *European Space Agency* (ESA), estabelecendo-se o intervalo temporal de 10 anos – 2015 a 2024. Então, efetuou-se a interpretação e tratamento das imagens em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), para análise da dinâmica evolutiva da atual ilha-barreira, que em 2005 correspondia a dois pontais arenosos, um situado a nordeste e outro a sudoeste (Guimarães; Dominguez, 2006).

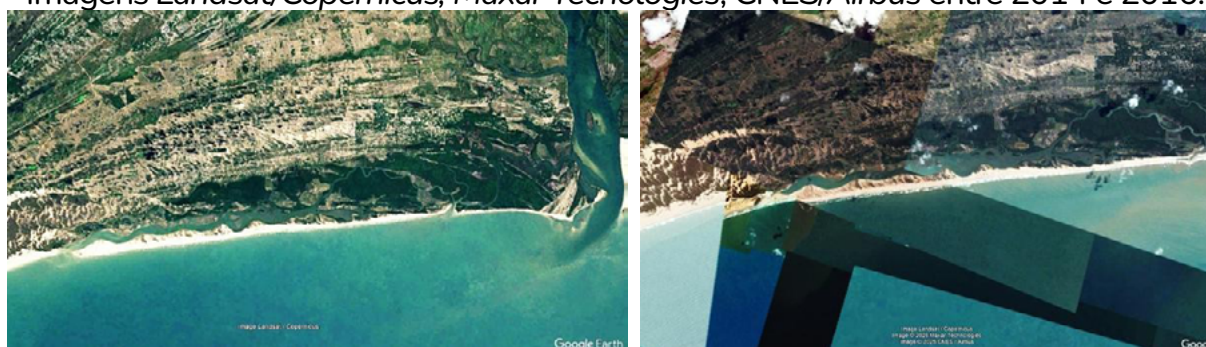
A opção pelo uso do software *Google Earth Pro*® deu-se em razão da acessibilidade, pois o programa incorpora imagens de satélite com diferentes resoluções e temporalidades. Para o presente trabalho, foram selecionadas e analisadas aquelas que contemplassem toda a área de estudo em uma mesma data (Figura 1A), evitando a produção de mosaicos com períodos diferentes (Figura 1B). Por sua vez, as imagens do *Sentinel-2* (L2A) foram escolhidas em virtude de terem sido processadas sem influência da atmosfera, tornando-as mais adequadas para as análises sobre a superfície terrestre. Além disso, elas supriram a lacuna dos períodos em que o *Google Earth Pro*® não apresentou imagens apropriadas.



Foram utilizadas imagens do Google Earth Pro[©] dos anos – 2015, 2017 e 2021 –, e do Sentinel no período de – 2016, 2018, 2019, 2020, 2023 e 2024 – com resolução espacial de 10m. Desse modo, foi possível a análise das feições da área de estudo e a comparação das mudanças ocorridas ao longo da década. As imagens, suas respectivas datas, sensores e morfologias da área de estudo constam no Quadro 1.

A partir da interpretação das imagens de satélite, foram produzidos mosaicos que mostram a evolução do pontal arenoso existente até julho de 2023, quando ocorre à abertura de um canal a nordeste do pontal e se forma a atual ilha-barreira.

Figura 1: A - Imagem Landsat/Copernicus de 30/12/2015; B - Mosaico de Imagens Landsat/Copernicus, Maxar Technologies, CNES/Airbus entre 2014 e 2016.



Quadro 1 - Dados históricos do período 2015-2024 para análise da evolução da atual ilha-barreira de Ponta dos Mangues – Pacatuba/SE.

Data	Satélite/Sensor	Características da feição /Processo
30/12/2015	Google Earth Pro (Landsat/Copernicus)	Pontal arenoso.
07/12/2016	Sentinel-2 (L2A)	Pontal arenoso se estende para sudoeste.
25/02/2017	Google Earth Pro	
10/10/2018	Sentinel-2 (L2A)	
10/10/2019	Sentinel-2 (L2A)	Pontal arenoso continua se estendendo para sudoeste.
24/10/2020	Sentinel-2 (L2A)	
11/03/2021	Google Earth Pro	
03/03/2023	Sentinel-2 (L2A)	Abertura de canal no setor nordeste do pontal arenoso – configuração de nova morfologia - ilha-barreira.
11/07/2023	Sentinel-2 (L2A)	
29/09/2023	Sentinel-2 (L2A)	Ilha-barreira se estende em direção sudoeste.
17/12/2024	Sentinel-2 (L2A)	Ilha-barreira continua estendendo sentido sudoeste.

Os trabalhos de campo realizados em agosto de 2024 ocorreram no período de maré de sizígia, com preamares variando entre 2,0 m e 2,2 m. Os perfis e pontos amostrais foram iniciados a partir de sudoeste para nordeste, e estabelecidos a cada 500 m



em virtude de a extensão da ilha-barreira corresponder a cerca de 14 km. Nesses pontos, registraram-se os parâmetros morfométricos da face de praia – largura e declividade, e coletaram-se as amostras de sedimentos. Para a medição da largura da face de praia utilizou-se uma trena de 50 m, e marcadores que foram fixados na areia a partir da “linha de deixa” até o limite da baixa-mar. Um clinômetro foi usado para mensurar o ângulo de inclinação da face de praia e com o GPS (*Global Position System*) identificaram-se as coordenadas.

Além disso, foram observadas as características do pós-praia e dos processos costeiros, identificada a presença de geoindicadores de erosão e realizadas fotografias. Em janeiro de 2025, realizou-se um novo trabalho de campo para registro das alterações na face praial e pós-praia.

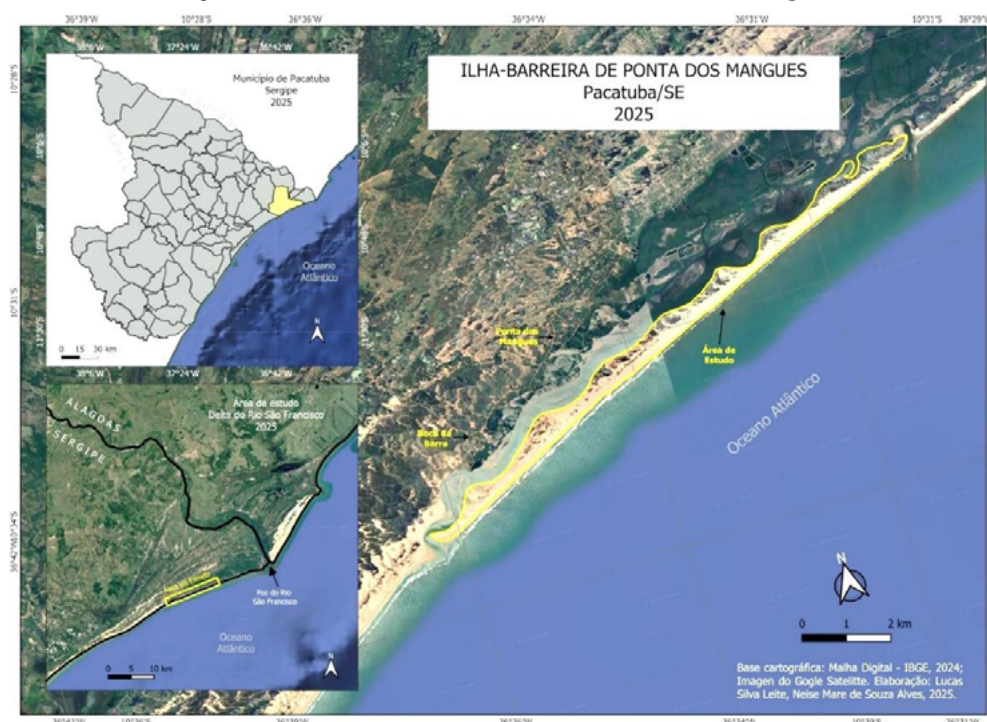
As 14 (catorze) amostras de sedimentos coletadas foram processadas no Laboratório de Estudos Costeiros – LABEC, do Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Sergipe. A análise granulométrica das amostras seguiu o procedimento padrão – dessalinização dos sedimentos, secagem em estufa com temperatura em torno de 100 °C, quarteamento manual, e pesagem de 100 g de sedimentos de cada amostra, que foram levados a um conjunto de peneiras com malhas fracionadas: 2 mm, 1,4 mm, 1 mm, 0,710 mm, 0,500 mm, 0,355 mm, 0,250 mm, 0,180 mm, 0,125 mm, 0,090 mm e 0,063 mm. Os sedimentos foram levados a um agitador eletromagnético por 10 minutos, e as frações granulométricas retidas em cada peneira foram pesadas e ensacadas. As informações sobre o diâmetro das partículas auxiliam na classificação do estágio morfodinâmico da praia oceânica da ilha-barreira.

CONTEXTO AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

A ilha-barreira de Ponta dos Mangues-Pacatuba é uma feição vinculada ao delta do rio São Francisco, está situado entre a foz desse rio e o campo de dunas da Reserva Biológica de Santa Isabel. Pacatuba é um município do litoral norte sergipano, que se limita a norte com Neópolis, Brejo Grande e Ilha das Flores, a oeste com Japoatã, ao sul com Pirambu, e a leste com o Oceano Atlântico (Figura 2).



Figura 2 – Localização da ilha-barreira de Ponta dos Mangues – Pacatuba/SE.



Geomorfologicamente a paisagem do município está composta por duas unidades – Tabuleiros Costeiros e Planície Costeira. Esta última se estende linearmente por cerca de 35 km, englobando depósitos sedimentares pleistocênicos e holocênicos distribuídos em um conjunto de morfologias, que inclui o delta do rio São Francisco, praias arenosas, dunas móveis e fixadas pela vegetação, lagoas interdunares, planícies fluviomarina e fluviolagunar.

A área está subordinada ao clima Megatérmico Subúmido, caracterizado por temperaturas médias anuais em torno de 25,7°C e precipitação pluviométrica média anual de 1.199,8 mm, com chuvas concentradas entre março e agosto. O déficit hídrico se inicia em novembro e se estende pelos meses do verão, período em que as temperaturas são mais elevadas (Alves, 2010). A sazonalidade climática ao longo do ano influencia na intensidade da atuação dos processos morfodinâmicos costeiros, principalmente sobre as ondas e ventos. Pacatuba é um dos municípios da bacia do rio São Francisco. Segundo Medeiros et al. (2007) o conjunto de barragens instaladas ao longo do curso alterou o volume das vazões e a dinâmica fluvial, em decorrência do represamento da água e retenção dos sedimentos. No estudo realizado entre 11/2000 e 03/2002, período pós-barragens, eles constataram uma redução de 44% na vazão média anual do rio quando comparada aos valores do período pré-barragens –1938 a 1973.

Além disso, os autores supracitados comprovaram que o volume dos sedimen-



tos em suspensão foi reduzido em 94% em relação a 1970, e que os picos de vazão registrados entre 8000 m³/s e 15000 m³/s, nos meses de janeiro a março na década de 1950, estão inferiores a 3000 m³/s. Essas condições atuais alteraram a dinâmica do sistema hidrográfico, gerando como consequências: pontos de erosão costeira severa – como a que destruiu o povoado Cabeço, em Brejo Grande –, redução na magnitude do fluxo do rio São Francisco, proporcionando a atuação das correntes de maré com maior intensidade no estuário, que alteram a salinidade da água, inclusive das lagoas da planície de inundação, entre outras.

A zona costeira está sujeita às interações que se verificam entre os processos hidrodinâmicos fluviais e oceanográficos. O litoral exposto é condicionado pelo regime de mesomarés semidiurnas – dois períodos de preamar e de baixamar. As marés oceânicas de sizígia costumam variar entre 2,0 m e 2,3 m. O clima de ondas predominante é dos quadrantes leste e leste-nordeste, em período de tempo bom, com ondas geralmente de até 1 m. No inverno, com a ocorrência de sistemas frontais no litoral, há alteração na direção das ondas para leste-sudeste, gerando ondas que costumam ser mais altas, acima de 1,2 m ou mais, nos eventos meteorológicos intensos. A deriva litorânea tem sentido preferencial de nordeste para sudoeste.

A ilha-barreira de Ponta dos Mangues se desenvolveu paralelamente à costa. Essa feição é característica dos deltas dominados por ondas, tendo em vista que o fluxo do rio funciona como um molhe hidráulico e na interação com as ondas que se propagam obliquamente, a deriva litorânea gerada transporta os sedimentos em direção ao continente (Vasconcelos et al., 2016; Guimarães; Dominguez, 2006).

A ilha-barreira em análise possui extensão linear em torno de 14 km e largura variando entre 160 m e 700 m, aproximadamente. Na sua retaguarda há uma laguna, identificada localmente como Canal do Poço, que é vinculada ao rio Parapuça, além de uma planície de maré coberta por vegetação de mangue, entrecortada por canais que a compartimentam em inúmeras ilhas que compõem o sistema estuarino-lagunar do rio São Francisco. Verifica-se, um processo de sedimentação no interior da laguna pelo crescimento de esporões e formação de bancos arenosos, que têm sido usados para a instalação de viveiros de carcinicultura.

Por outro lado, na praia oceânica da ilha-barreira são observados processos morfodinâmicos intensos por ação das ondas e feições erosivas – cúspides, correntes de retorno, erosão e sobrelavagem de terraços marinhos.

A área onde se encontra a ilha-barreira atual possuía, em 2005, um pontal arenoso com dois segmentos – um a nordeste e outro a sudoeste (Guimarães; Dominguez, 2006). Estes autores relacionaram sua evolução com a interação entre a refração de



ondas e a deriva litorânea da região do delta do rio São Francisco. A porção a nordeste do pontal, influenciada pelo sentido preferencial da deriva litorânea, crescia sentido nordeste-sudoeste, enquanto a erosão atuava na porção sudoeste devido a inversão da deriva litorânea neste local.

Os autores supracitados, baseados em Kidson (1963), concluíram que a evolução do pontal arenoso de Ponta dos Mangues com crescimento em sentidos opostos e em direção à uma única desembocadura, deve-se “a extensão unidirecional seguida de rompimento”, tendo em vista que na área a deriva litorânea é unidirecional durante o ano todo. O rompimento é cíclico e seria causado pela dinâmica mais eficiente dos canais de maré (Guimarães; Dominguez, 2006, p. 182).

O pontal arenoso se manteve até julho de 2023, dezoito anos após o estudo realizado pelos autores referidos acima. Uma nova abertura no setor nordeste, originou a atual ilha- barreira. Para o período analisado – 2015-2024, a Figura 3 mostra o pontal em 2016, com extensão para sudoeste de 13,6 km, provocando erosão no campo de dunas da Reserva Biológica de Santa Isabel (Rebio de Santa Isabel). A Figura 4 apresenta a configuração da atual morfologia registrada na imagem de satélite de 07/2023, que se mantém até o momento.

Figura 3 – Aspecto do pontal arenoso de Ponta dos Mangues em 07/12/2016 – Pacatuba/SE.



Fonte: Sentinel -2 (L2A), composição true color RGB (4, 3, 2).



Figura 4 – Aspecto do pontal arenoso de Ponta dos Mangues em 11/07/2023 – Pacatuba/SE.



Fonte: Sentinel -2 (L2A), composição true color RGB (4, 3, 2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise realizada com base na interpretação das imagens de satélite, publicações científicas e trabalhos de campo permitiram compreender a complexa dinâmica atuante na região do delta do rio São Francisco onde se encontra a ilha-barreira de Ponta dos Mangues.

A ilha-barreira referida é uma feição que reflete a dinâmica de um sistema de barreiras arenosas comum aos deltas dominados por ondas, sendo resultante de processos de erosão e acreção condicionados por fatores naturais – refração de ondas, deriva litorânea e transporte eólico de sedimentos, entre outros. Nos dias atuais, essa morfologia recém-formada e os processos são influenciados fortemente pelo uso, com a instalação de viveiros para a criação de camarão – carcinicultura. Essa atividade tem repercussão sobre os processos sedimentares na retaguarda da ilha-barreira, na laguna e nos canais de maré da planície fluviomarinha.

A ilha-barreira é formada por cordões litorâneos justapostos e alinhados, constituídos por sedimentos arenosos transportados pela corrente de deriva litorânea preferencial de sentido nordeste-sudoeste. Estes cordões apresentam na superfície um lençol com pequenos montículos resultantes do retrabalhamento eólico dos sedimentos, com cobertura rarefeita de gramíneas. Na parte mais interna, no sentido da laguna, ocorrem em alguns trechos dunas ativas com cerca de 2,5 m de altura (Figuras 5 A e B).



Figura 5 – A: Montículos característicos da superfície do lençol de areia sobre a superfície da ilha- barreira; B: Dunas no setor mais interno da ilha- barreira, no sentido da praia oceânica para a laguna.



Fotógrafa: Neise Alves, 2024.

Na desembocadura da laguna, os cordões litorâneos apresentam a extremidade encurvada para o seu interior, exibindo forma arqueada semelhante a um “gancho”, conforme evidenciado na Figura 6, de 02/2017, quando ainda se desenvolvia o pontal arenoso. Nas depressões intercordões, a água retida em consequência do processo de sedimentação interno na laguna, conserva a água das precipitações do período chuvoso formando lagoas. No período seco, a água das lagoas temporárias se evapora, desenvolvendo-se no seu interior uma espécie de gramínea (Figura 7). Esses processos contribuem para reduzir a erosão, favorecendo a continuidade da extensão da ilha-barreira para sudoeste, por meio da semi-fixação dos sedimentos, contribuindo para o deslocamento da desembocadura do canal da laguna no mesmo sentido, e para a erosão das dunas da Rebio de Santa Isabel.



Figura 6 – Recorte de imagem representativa de evidentes os cordões litorâneos encurvados para o interior da laguna, com lagoas nas depressões intercordões da superfície do modelado.



Fonte: Adaptado do Google Earth Pro, 02/2017.

Figura 7 – Lagoa intermitente na depressão intercordões da superfície da ilha-barreira ocupada por gramínea.



Fotógrafa: Neise Alves, 2024.

Na margem externa da ilha-barreira, a praia oceânica é exposta a remoção de sedimentos por ação das ondas mergulhantes principalmente durante o inverno, que corresponde ao período chuvoso na região, sob o controle dos sistemas frontais atuantes no litoral do Nordeste. Nessa estação, observam-se a erosão e a sobrelavagem dos terraços marinhos consequentes da propagação de ondas com maior energia, oriundas do quadrante leste-sudeste. A instalação de viveiros para a carcinicultura tornam mais instável a ilha-barreira, e quando somada à hidrodinâmica mais intensa dos canais de maré, cria condições favoráveis para a abertura de novos canais (Figuras 8 A e B, 9).



Figura 8 – A: Feição de escarpa erosiva e sobrelavagem de terraços marinhos por ondas de tempestade; B: Viveiros de carcinicultura na retaguarda da ilha-barreira.



Fotógrafa: Neise Alves (2024).

Figura 9 – Local de abertura de canal no setor nordeste do pontal arenoso de Ponta dos Mangues, passando a configurar a nova morfologia – a ilha-barreira, em 07/2023.



Fotógrafa: Neise Alves, 2025.

Os parâmetros morfométricos e amostras de sedimentos foram coletados no inverno, em agosto de 2024. A aferição da declividade da face praial indicou a dominância de 4°, com apenas um registro no valor de 5° no ponto 9, situado a cerca de 5 km de distância da desembocadura da laguna, próximo ao setor onde ocorria a sobrelavagem e a erosão mais acentuada do terraço marinho. Contudo, no trabalho de campo realizado em janeiro de 2025 as características da praia da ilha-barreira não se alteraram significativamente, no que tange a declividade e largura do estirâncio.

A classificação do MMA (2007), utilizada, define as seguintes categorias para o grau de inclinação da praia: alta – valor maior que 30°, moderada – entre 30° e 5°, e pequena ou plana – inferior a 5°. A largura média da face de praia foi de 33 m, sendo



largura mínima – 21 m e a máxima – 47 m, com estreita área de espraiamento. Desse modo, a praia apresenta trechos nas classes – baixa e moderada declividade.

Sobre a análise granulométrica, das 14 (catorze) amostras coletadas em nenhuma delas foi encontrada areia muito grossa, em 4 (quatro) houve predominância da fração areia média sobre areia fina e muito fina – pontos 3 a 6. As amostras dos pontos 1 e 2, próximos a embocadura da laguna e de 7 (sete) a 14 (catorze), distribuídos do centro da barreira até a abertura do canal noroeste, apresentaram domínio da fração areia fina.

Certamente, a constatação da dominância de partículas finas se relaciona com as características dos sedimentos fluviais da foz do rio São Francisco em interação com a atuação das forçantes hidrodinâmicas do oceano. Dominguez (1996) destaca que nos deltas dominados por ondas há uma assimetria na distribuição de fácies sedimentares, em razão do molhe hidráulico criado pelo fluxo do rio. Assim, os sedimentos finos encontrados em nove pontos da margem oceânica da ilha-barreira podem ter sua fonte atrelada às barras arenosas que se formam em frente à foz do rio São Francisco.

Na avaliação do estado morfodinâmico da praia, adotou-se a classificação para praias arenosas apresentada por Muehe (1995, p. 294), que inclui seis estados – o dissipativo e o refletivo, e quatro estados intermediários. A praia dissipativa apresenta geralmente pequena declividade, areia fina e larga zona de espraiamento, enquanto a praia refletiva se caracteriza por elevado gradiente, areia grossa, pequena área de espraiamento. Os quatro estágios intermediários são identificados pela presença de: banco e calha longitudinal; banco e praia rítmicos ou de cúspide; bancos transversais e, terraços de baixa-mar, que refletem as “variações nas características hidrodinâmicas”.

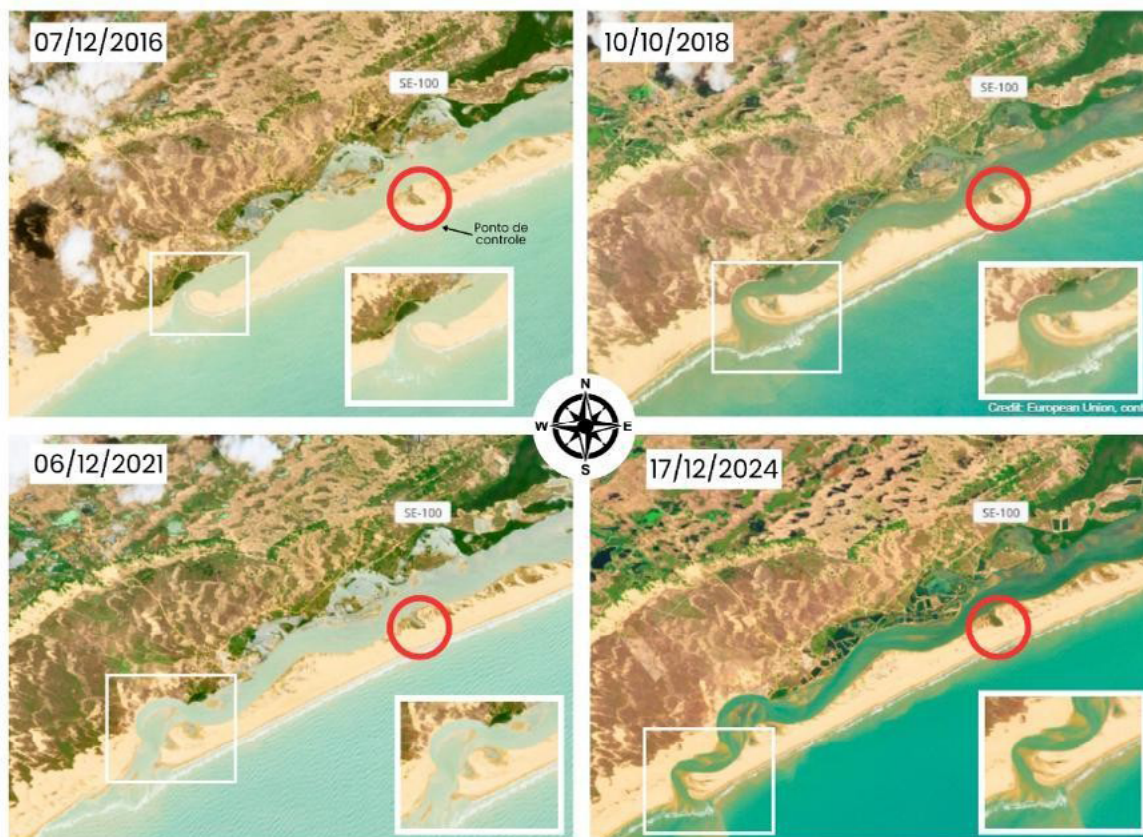
Com base nesses aspectos, o estado morfodinâmico da praia foi identificado como intermediário/dissipativa, pois no período das campanhas de campo, ela apresentava uma mescla das características de praias dissipativa e refletiva: zona de espraiamento estreita, cúspides, correntes de retorno e ondas do tipo mergulhantes que arrebatam, liberando energia rapidamente na face praial. Entretanto, a fração areia fina predominou nas amostras.

O processo de evolução do pontal arenoso para a ilha-barreira está representado no mosaico de imagens (Figura 10), e permite compreender como a interação da hidrodinâmica dos canais de maré aliada a ocupação dos esporões arenosos, dirigidos para o interior da laguna, por viveiros de camarão influenciam na ruptura do pontal e abertura do canal. Na Figura 10, as imagens 2016, 2018 e 2021 representam o crescimento do pontal arenoso para sudoeste. Em julho de 2023 ocorreu a abertura de



um canal a nordeste do pontal, formando a ilha-barreira. O Quadro 2 contém os parâmetros morfométricos dessa evolução, relacionando a feição do modelado com suas dimensões – largura e comprimento.

Figura 10: Evolução do pontal arenoso para ilha-barreira – com deslocamento da desembocadura do canal de maré da laguna para sudoeste e erosão das dunas da Rebio de Santa Isabel. Ponta dos Mangues, Pacatuba/SE, 2016 a 2024.



Fonte: Sentinel -2 (L2A), composição true color RGB (4, 3, 2).

Quadro 2 – Características morfométricas das feições associadas ao sistema de barreiras na região de Ponta dos Mangues – evolução do pontal arenoso para ilha-barreira. Ponta dos Mangues – Pacatuba/SE, entre 2015 e 2024.

Data	Feição	Comprimento	Área	Setor mais largo	Setor mais estreito
30/12/2015	Pontal arenoso	16,2 km	-	726 m	218 m
25/02/2017		16,4 km	-	665 m	153 m
10/10/2019		17,8 km	-	785 m	121 m
11/03/2021		19 km	-	682 m	100 m
11/07/2023	Ilha-barreira	13,6 km	5,73 km ²	642 m	160 m
17/12/2024		13,7 km	6,44 km ²	691 m	167 m

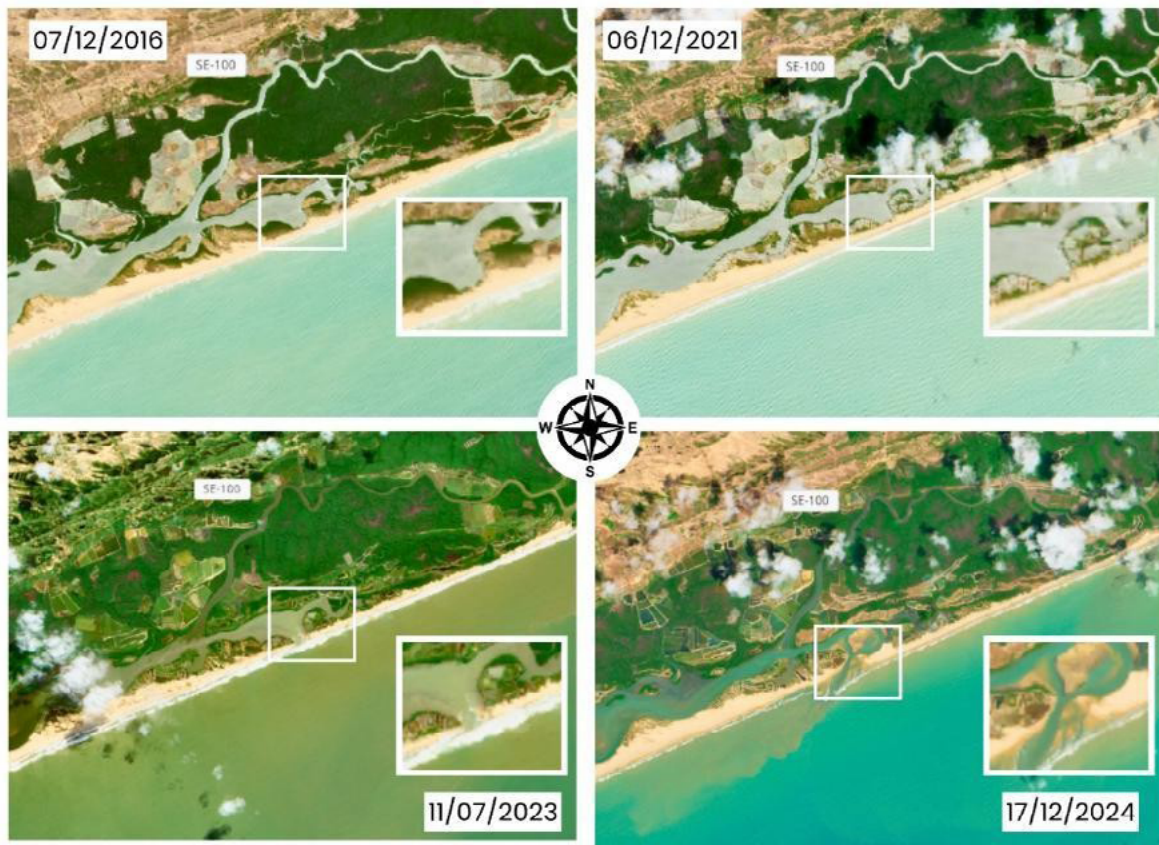
Organização: Lucas Leite, 2025.



A análise dos dados apresentados no Quadro 2 para o período, comprovam que as mudanças mais significativas são relativas à largura do setor mais estreito do pontal arenoso – que sofreu redução de 118 m, e ao comprimento, que em 6 anos cresceu 2,8 km. A ilha- barreira formada em 07/2023 mostra certa estabilidade no comprimento, mas parece estar progradando e/ou as atividades da carcinicultura estão contribuindo para a deposição de sedimentos arenosos, que são transportados no interior do canal da laguna.

A abertura de um canal no setor nordeste do antigo pontal arenoso existente na área de estudo até 07/2023, originou a ilha-barreira e está representado na Figura 11.

Figura 11 – Detalhe do ponto onde ocorreu a abertura do canal de maré no pontal arenoso, dando origem à ilha-barreira em Ponta dos Mangues, Pacatuba/SE.



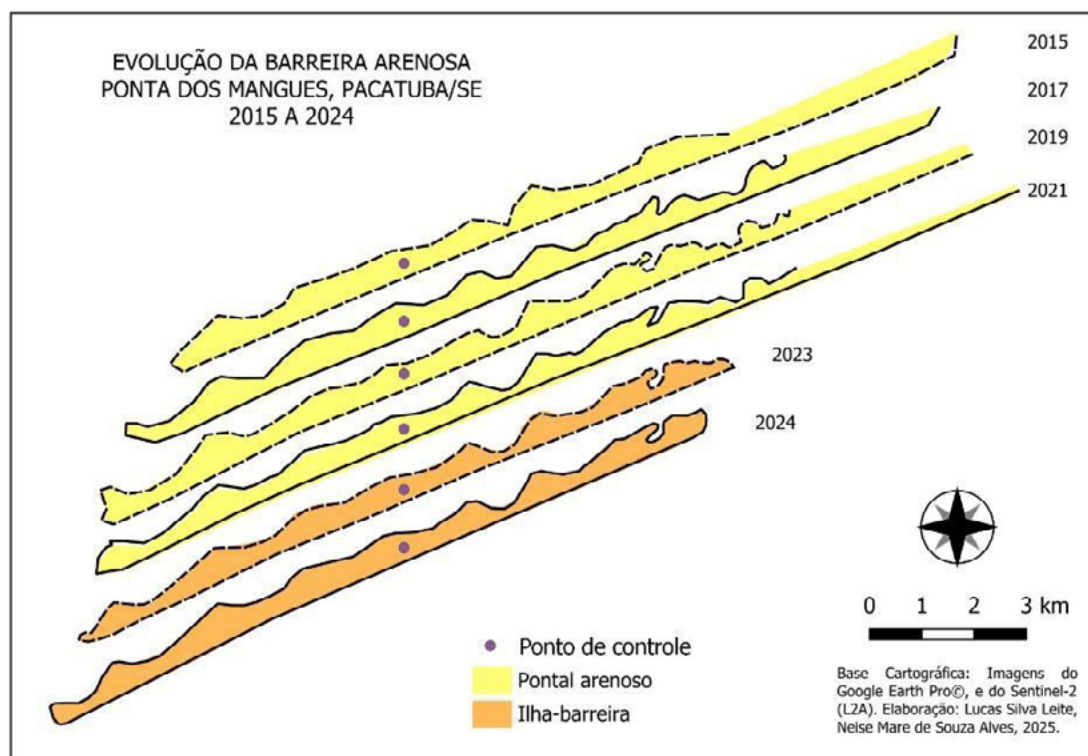
Fonte: Sentinel -2 (L2A), composição true color RGB (4, 3, 2).

Em 2015 o pontal arenoso estava ancorado na Ilha do Arambipe e ao longo do tempo foi se estendendo em direção sudoeste, por influência do molhe hidráulico em interação com as ondas, e da deriva litorânea oriunda de nordeste. De 2016 a 2019, se manteve a acreção do pontal arenoso em direção sudoeste, com esporões arqueados se estendendo para o interior da laguna, estreitando a abertura do canal na desembocadura e provocando erosão na área continental, próximo à localidade de Boca da Bar-



ra. Em 2020 e 2021, foram mantidas as características do processo evolutivo na área, observando-se a intensificação da erosão no campo de dunas da Rebio de Santa Isabel, próximo a Boca da Barra. Em 2023 ocorreu o rompimento do antigo pontal arenoso no setor a nordeste, com a abertura de um canal. A partir desse momento, configura-se uma ilha-barreira (Figura 12).

Figura 12 – Evolução da barreira arenosa de Ponta dos Mangues, Pacatuba/SE.



Na atualidade, a acreção da ilha-barreira segue lentamente em direção sudoeste, e os esporões permanecem crescendo para o interior da laguna, provocando a intensificação da erosão na área no campo de dunas da Reserva Biológica de Santa Isabel.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada permitiu reconhecer a área deste estudo como um sistema deposicional complexo, comum às planícies dos deltas dominados por ondas, onde são formadas feições morfológicas, que ciclicamente podem passar por diferentes estágios, configurando: pontais arenosos – quando unidos ao continente –, que podem evoluir para ilhas-barreiras – se sofrerem abertura por intensificação da hidrodinâmica dos canais de maré ou por influência das intervenções antropogênicas. Da mesma forma, uma ilha-barreira pode evoluir para uma barreira arenosa se estiver conectada em dois pontos do continente, isolando completamente parte da água do oceano formando uma lagoa.



O processo evolutivo da ilha-barreira de Ponta dos Mangues tem relação com a existência de um pontal arenoso na área até 07/2023. Portanto, ela está sujeita a apresentar alterações na sua morfologia, pois sofre influência: dos processos costeiros, do nível relativo do mar, da quantidade de sedimentos adicionados no oceano pelo rio São Francisco – que são distribuídos pelas correntes longitudinais –, da sazonalidade climática e condições meteorológicas, e das atividades antropogênicas. As atividades humanas provocam desequilíbrio no balanço sedimentar e favorece a erosão costeira.

O estudo realizado com base na interpretação multitemporal das imagens de satélite, trabalhos de campo e análise granulométrica de sedimentos permitiu compreender a dinâmica das interações entre os processos hidrodinâmicos fluviais e costeiros, e sobre o transporte de sedimentos na frente litorânea da planície deltaica do rio São Francisco, no território sergipano. Assim, fornece subsídios para o gerenciamento costeiro, planos de monitoramento da área, e controle do uso e ocupação desse ambiente sensível e que está sujeito a mudanças em curto espaço de tempo, considerando o dinamismo natural que envolve essa região. Desse modo, esse trabalho contribui para futuros estudos na área e/ou de ambientes costeiros similares, e para a tomada de decisão por gestores públicos.

Agradecimentos

Este estudo é resultado de projeto de pesquisa financiado pela Coordenação de Pesquisa da Universidade Federal de Sergipe – COPES/UFS.

REFERÊNCIAS

ALVES, N. M. S. **Análise geoambiental e socioeconômica dos municípios costeiros do litoral norte do estado de Sergipe** – diagnóstico como subsídio ao ordenamento e gestão do território. 2010. Tese de doutorado (Doutorado em Geografia) – NPGeo, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2010.

BHATTACHARYA, J. P.; GIOSAN, L. Wave-influenced deltas: geomorphological implications for facies reconstruction. **Sedimentology** 50: 187-210. 2003. Disponível em: http://www.qsc.uh.edu/publications/papers/Bhatt_Giosan_2003.pdf Acesso em: 30/03/2025.

BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; MARTIN, L.; FERREIRA, Y. A. **Dados preliminares sobre a evolução do delta do rio São Francisco (SE/AL) durante o quaternário: influência das variações do nível do mar -// 1982**. Dis-



ponível em: <https://www.researchgate.net/publication/32989675>. Acesso em: 30/03/2025.

COSTA, A. P. F. da; ROCHA, T. B. da; FERNANDEZ, G. B. Dinâmica dos pontais arenosos no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul (RJ) entre 1984 e 2017, **Revista Brasileira de Geomorfologia** (*online*) v. 21, n. 4, P. 893-909, 2020. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1643>. Acesso em: 02/04/2025.

COSTA, A. P. F. da; ROCHA, T. B. da; OLIVEIRA FILHO, S. R. Dinâmica da abertura de canais de maré no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul - RJ utilizando imagens orbitais PlanetScope. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24 n. 1, P. 1-19, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.20502/rbg.v24i1.218> Acesso em: 02/04/2025.

DILLENBURG, S.; HESP, P. **Geology and geomorphology of Holocene coastal barriers**. Heidelberg: Springer Verlag, v. 107, 2009, 380p.

DOMINGUEZ, J. M. L. The São Francisco strandplain: A paradigm for wave-dominated deltas? **Geological Society London Special Publications** 117(1):217-231, October 1996. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/249549917>. Acesso em: 31/03/2025.

DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L., O Papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas às desembocaduras dos rios São Francisco (SE-AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES), e Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Geociências** 13 (2): 98–105, 1983.

DOMINGUEZ, J. M. L.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P., 1987. Sea-level history and Quaternary evolution of river mouth-associated beach-ridge plains along the east- southeast Brazilian coast: a summary. In: Numedal, D.; Pilkey, O.H.; Howard, J.D. (eds.), **Sea-level fluctuation and coastal evolution**, *SEPM Special Publication* 41: 115–127. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/279341023> Acesso em: 30/04/2025.

FERNANDEZ G. B.; ROCHA T. B. Barreiras costeiras holocênicas: geomorfologia e arquitetura deposicional no litoral do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia** v. 16, n 2, p. 301-319. 2015. Disponível em: Acesso em: 25/04/2025.

GALLOWAY, W. E. Process framework for describing the morfológic and stratigraphic evolution of deltaic depositinal system. Ed. Deltas, **Hoston Geol. Society**, p. 87-98, 1975. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/287828682> Acesso em: 23/04/2025.

GUIMARÃES, J. K.; DOMINGUEZ, J. M. L. A influência da refração de ondas e da deriva litorânea na dinâmica do pontal arenoso de Ponto dos Mangues. In: SILVA, M. G.; FRAN-



CA-ROCHA, W. J. (Orgs.). **Coletânea de trabalhos completos**. Salvador: SBG, 2008. p. 178-182.

JIMÉNEZ, J. A. *et al.*, Processes reshaping the Ebro Delta. *Marine Geology* 144: 59–79. 1997Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/223254298> Acesso em: 25/04/2025.

MEDEIROS, P. R. P.; KNOPPERS, B. A.; dos SANTOS JUNIOR, R. C.; de SOUZA, W. F. L., 2007. Aporte fluvial e dispersão de matéria particulada em suspensão na zona costeira do rio São Francisco (SE/AL). *Geochimica Brasiliensis* 21 (2): 212-231.

ORTON, G. J.; READING, H. G., 1993. Variability of deltaic processes in terms of sediment supply, with particular emphasis on grain size. *Sedimentology* 40: 475–512. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-3091.1993.tb01347.x> Acesso em: 30/04/2025.

VASCONCELOS, S. C. **Evolução morfológica das barreiras arenosas ao norte da desembocadura do rio Paraíba do Sul, RJ**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha). Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói (RJ), 2010.

VASCONCELOS, S. C. de *et al.* Gênese e morfodinâmica das barreiras arenosas no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 17, n 3, p. 481-495, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.20502/rbg.v17i3.845> Acesso em: 26/04/2025.

VASCONCELOS, S. C.; ABUCHACRA, R. C.; ROCHA, T. B.; FERNANDEZ, G. B. Análise comparativa dos padrões morfoestratigráficos em deltas assimétricos, exemplo do delta do rio Paraíba do Sul (RJ). *Anais SINAGEO*, 2016. Disponível em: <https://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/7/7-606-1739.html>). Acesso em: 29/04/2025.



GATILHOS GEOMORFOLÓGICOS DE CURTO PRAZO EM FALÉSIAS COSTEIRAS ATIVAS

Heleriany de Medeiros Madeiros ⁵

Rodrigo de Freitas Amorim ⁶

Sílvio Braz de Sousa ⁷

Daniel Carlos Alves Santos ⁸

Ana Paula Rodrigues Frazão ⁹

Palavras-chave: Geomorfologia Costeira, Erosão, Gatilhos Geomorfológicos, Precipitação, Ondas.

RESUMO

As falésias ativas desenvolvidas na Formação Barreiras, predominantes ao longo do litoral do Nordeste brasileiro, constituem feições geomorfológicas de elevada relevância ambiental, paisagística e socioeconômica. Formadas por sedimentos siliciclásticos cenozoicos, pouco consolidados, com fácies areníticas, conglomeráticas, argilosas e silto-sas, constantemente retrabalhadas por processos erosivos associados à ação de ondas e eventos pluviométricos. Embora a dinâmica de recuo de escarpas costeiras já seja amplamente abordada na literatura (Hampton et al., 1963; Young et al., 2009; Rosser et al., 2013; Scudelari et al., 2021; Maia; Amorim, 2022), ainda persistem lacunas quanto à compreensão da relação entre os gatilhos geomorfológicos de curto prazo e os processos morfodinâmicos associados. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo identificar os principais gatilhos geomorfológicos de curto prazo que atuam sobre falésias ativas, analisando como esses eventos influenciam no recuo da escarpa em escalas maiores. A área de estudo abrange um trecho de 1,2 km de falésias ativas, sendo 700 metros com orientação E–W na Praia do Centro e 500 metros com orientação N–W na Baía dos Golfinhos, com alturas variando entre 11,55 metros a 24,3 metros, Distrito de Pipa, município de Tibau do Sul (RN). A metodologia empregou a coleta de dados em campo, com frequência mensal, realizadas entre abril de 2024 e março de 2025, usando um receptor *Global Navigation Satellite System* (GNSS) com correção *Real Time Kinematic* (RTK) para georreferenciamento preciso dos pontos de movimentação, uma Aeronave Remo-

⁵ Doutoranda em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, helerianymedeiros@gmail.com;

⁶ Prof. Dr. do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, rodrigo.freitas@ufrn.br;

⁷ Prof. Dr. do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, silvio.braz@ufrn.br;

⁸ Doutorando em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, danielcarlos472@gmail.com;

⁹ Doutoranda em Geografia pela Universidade Federal de Goiás – UFG, anapaulafrazao123@gmail.com.



tamento Pilotada (ARP) modelo *Matrice* 300 RTK, com câmera aerofotogramétrica, além da aplicação de fichas de caracterização e medições manuais de material acumulado na base das escarpas. Os dados pluviométricos foram acessados da base do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), a altura das marés foi acessada na Marinha do Brasil. Os dados foram tabulados em planilhas do Excel e os mosaicos aerofotogramétricos realizados utilizando o software DJI Terra, sendo o mapeamento executado no ArcGIS (versão 10.8.2, licença Programa de Pós-Graduação em Geografia PPGE/UFRN). Foram identificados três gatilhos geomorfológicos atuantes na área: pluvial, marinho e antrópico, sendo recorrente a atuação combinada entre dois ou mais. No período, foram registrados 33 movimentos de massa, dos quais 48,5% ocorreram entre os dias 18/05 e 05/06/2024, associado a um acumulado pluviométrico de 325,31 mm. O período mais chuvoso foi entre 06/06 e 05/08/2024, com total de 468,4 mm, contudo foram registrados apenas 03 movimentos de massa. A precipitação pluviométrica foi o gatilho mais frequente, responsável por 69,7% dos eventos registrados. As características estratigráficas em conjunto com a morfodinâmica produz movimentos de massa em diferentes segmentos verticais na escarpa, superior, média, inferior e toda a escarpa. Do total de registros apenas 02 abrangeram toda a escarpa, evidenciando uma dinâmica relacionada a pequenos eventos de curto prazo, que só evidenciará uma retração efetiva e visível em escalas superiores, de 10^1 , 10^2 e 10^3 anos. Os resultados jogam luz no entendimento dos processos geomorfológicos em áreas com usos turístico intenso e apresentam grande potencial para ordenamento territorial em área de falésias ativas.

INTRODUÇÃO

Os gatilhos geomorfológicos podem ser compreendidos como fatores responsáveis por dar início aos processos esculptadores do relevo. O que efetivamente produz a mobilização de material em um compartimento de relevo ou encosta. Em uma falésia costeira eles produzem pulsos energéticos, quando os limiares de adesão do material à escarpa são ultrapassados; gerado movimento massa ou erosão, até que seja estabelecido um limiar para um novo estado de equilíbrio. Os gatilhos possuem origens variadas, escalas espaço-temporais e são controlados por diferentes forçantes: geológicas, geomorfológicas, meteorológicas e antropogênica (Miccadei *et.al.*, 2012; Amorim, 2015).

As escarpas costeiras da Formação Barreiras representam um dos elementos mais expressivos da paisagem litorânea do Nordeste brasileiro, exercendo um papel fundamental na dinâmica ambiental, na biodiversidade e na identidade cultural das regiões onde ocorrem. Formadas por intercalações de sedimentos conglomeráticos, arenosos e argilosos, depositados Mioceno e Plio-Pleistoceno, elas são caracterizadas por sua elevada fragilidade geotécnica, tornando-se altamente suscetíveis a processos erosivos e deslizamentos (Lima e Dominguez, 2014; Morais *et.al*, 2018).

Esta última, desempenhando um papel crucial na definição da morfologia litorânea, atuando como barreiras naturais que protegem ecossistemas adjacentes, como



dunas, estuários e recifes de corais. Além disso, essas estruturas são importantes repositórios de registros paleoambientais, permitindo a reconstrução da evolução geológica e climática da região (Moura-Fé, 2014; Araújo *et.al*, 2006; Bezerra, Melo e Suguio, 2006).

A composição sedimentar friável da Formação Barreiras, aliada às intensas dinâmicas costeiras e climáticas, faz com que essas falésias sejam extremamente vulneráveis a processos erosivos. A ação das chuvas intensas, o impacto das marés, os ventos e a interferência antrópica aceleram a degradação dessas estruturas, promovendo o recuo das encostas e aumentando os riscos de deslizamentos. Eventos climáticos extremos, como tempestades e variações no nível do mar associadas às mudanças climáticas, agravam ainda mais esse quadro, tornando a gestão e o monitoramento dessas áreas essenciais para a mitigação de riscos (Maia e Amorim, 2022; Amorim e Madeiros, 2024).

Além dos aspectos naturais, a ocupação do tabuleiro costeiro em área de falésia sem considerar a dinâmica geomorfológica, aliado ao crescimento do uso turístico adicionam mais instabilidades à face da falésia, em decorrência do conjunto de modificação no solo e do escoamento pluvial, acelerando os processos erosivos e ampliando as ameaças tanto ao meio ambiente quanto à segurança das populações locais e visitantes (Oliveira, Vital e Moura, 2024).

Diante desse cenário, a conservação de falésias ativas da Formação Barreiras exige estratégias eficazes de monitoramento e gestão, incluindo o uso de geotecnologias avançadas, como imageamento aerofotogramétrico com drones e *Global Positioning System* (GPS) de alta precisão. Assim, este trabalho tem como objetivo compreender os principais gatilhos geomorfológicos que desencadeiam processos erosivos de curto prazo em falésias ativas da Formação Barreiras.

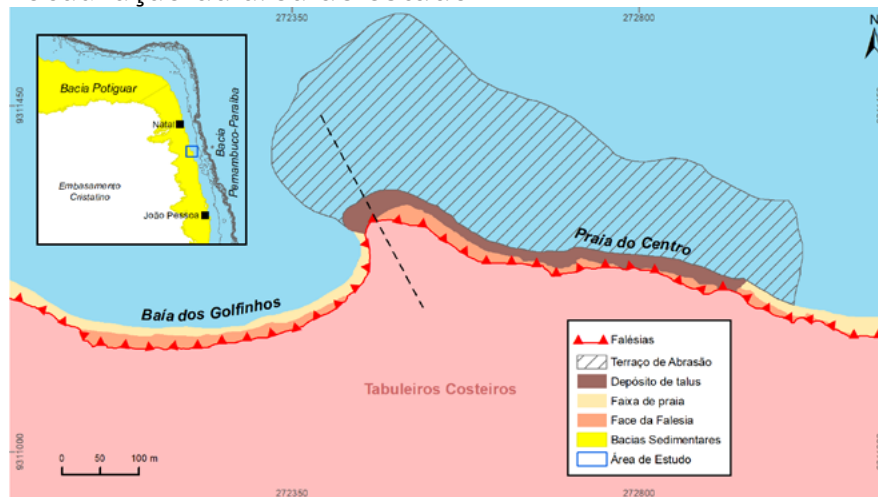
Para alcançar esse objetivo foi realizado a identificação, medição e descrição mensal em campo de pontos de movimentos de massa e em um trecho da praia do Distrito de Pipa, município de Tibau do Sul, no Rio Grande do Norte, utilizando de um *Global Navigation Satellite System* (GNSS) com *Real Time Kinematic* (RTK) e dados meteocenográficos.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange um trecho de 1,2 km de falésias ativas, sendo 700 metros com orientação E–W na Praia do Centro e 500 metros com orientação N–W na Baía dos Golfinhos, com alturas variando entre 11,55 metros a 24,3 metros, Distrito de Pipa, município de Tibau do Sul, litoral oriental do Rio Grande do Norte (Figura 1). Distante cerca de 82,5 km da capital, Natal.



Figura 1 - Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

O regime climático é do tipo As' , na classificação de Köppen-Geiger, 1936, megatérmico, com a precipitação anual superior à evapotranspiração potencial, se concentrando no outono-inverno, nos meses de março a julho, com estação seca de verão. No contexto regional, a estação chuvosa da porção oriental do Nordeste Brasileiro concentra-se entre os meses de abril e julho (Moura, et.al, 2009; Amorim, et.al, 2019; Oliveira e Lima, 2019; Silva et. al, 2023).

O principal sistema climático responsável pelas precipitações na região é o Anticiclone do Atlântico Sul (ASAS), que intensifica o fluxo de ar, no período do outono-inverno, em direção ao continente gerando os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), originados na costa da África, que ao atingirem a costa geram precipitações (Peterson e Stramma, 1991; Ribeiro et al., 1999). Os DOLs respondem por aproximadamente 70% do volume total de chuva na região (Torres e Ferreira, 2011; Silva et al., 2011).

Entre os meses de dezembro a fevereiro podem ocorrer precipitações decorrentes da atuação do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCANs), caracterizados por um núcleo frio e seco de ar descendente, enquanto o ar quente e úmido se eleva em sua periferia (Morais et.al., 2015; Reis, 2018). Apesar de ser pouco significativo para o total pluviométrico anual, esse sistema, a depender de sua localização pode gerar precipitações extremas na área de estudo em pleno o período seco. O VCAN, constitui um importante sistema atmosférico, responsável por episódios de chuvas intensas em curtos intervalos de tempo, desencadeando processos superficiais do tipo *flash-floods* (Amorim, 2015).

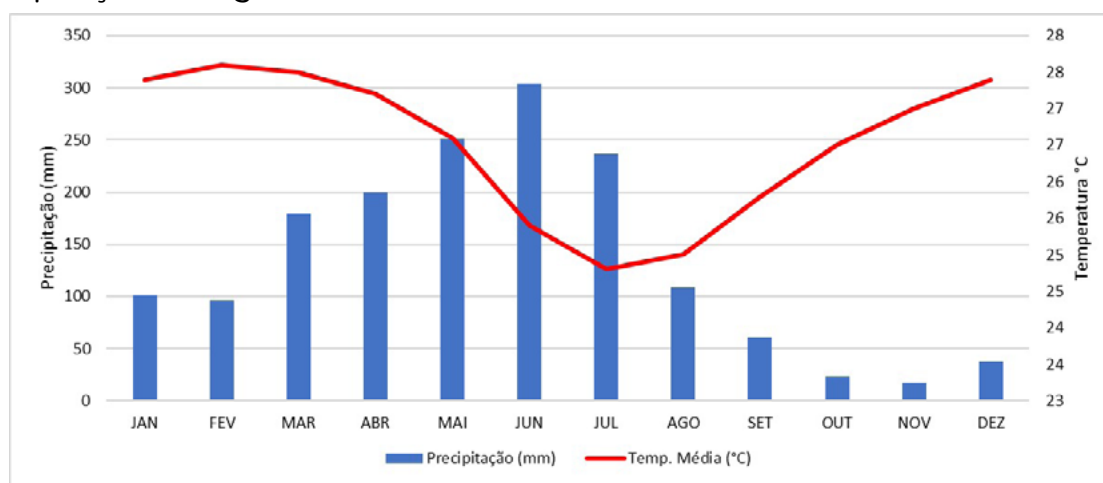
Para o período de fevereiro a maio, o posicionamento mais ao sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Fontaine, Janicot e Roucou, 1999; Gomes et.al., 2023), pode organizar precipitações intensas na área de estudo, especialmente quando ocorre



a interação entre a ZCIT e os DOLs. Todos esses sistemas além de produzirem precipitações, também acabam gerando maiores ondas, resultando em condições mais instáveis nas falésias (Alvares *et.al.*, 2013; Scudelari *et.al.*, 2021; Gomes *et.al.*, 2023).

Com base nos dados de precipitação e temperatura média compensada elaborou-se o climograma para área de estudo, onde é possível observar que entre os meses de março a julho a precipitação média é superior a 150 mm, caracterizando-se como o período chuvoso (Figura 2). Já as temperaturas médias apresentam baixa variação ao longo do ano

Figura 2 – Climograma apresentando as condições médias de temperatura e precipitação da região da área de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

As falésias, objeto de análise do presente estudo, correspondem às bordas dos tabuleiros litorâneos, formadas predominantemente pela ação erosiva do mar. São falésias ativas submetidas à ação direta das ondas e correntes em sua base; caso contrário, passa a ser falésia inativas (Emery, Kuhn, 1982; Silva *et.al.*, 2020). No litoral oriental do Rio Grande do Norte, os trechos de costas altas, com falésias, estão relacionados às movimentações tectônicas ocorridas entre as épocas do Mioceno-Plioceno, em estruturas do tipo *grabens* e *horsts* (Bezerra *et al.*, 2011; Bezerra, 2011). As falésias compreendem os *horsts* esculpidos pela ação marinha, enquanto as superfícies rebaixadas, os *grabens*, onde escoam a drenagem, formando estuários e planícies fluviomarinhas.

Os tabuleiros costeiros da área de estudo são constituídos de material sedimentar da Formação Barreiras, depositados a partir do Mioceno, Plioceno com capeamentos finais no Pleistoceno. Formados por arenitos finos a médios, ou conglomeráticos, avermelhados, com intercalação siltica, argilosa e caulínica depositados em ambiente aluvial.



Em alguns locais ocorre cimentação ferruginosa dos sedimentos, formando fácies com maior rigidez e resistência que as camadas adjacentes (Diniz, 2002; Piérri, 2008; Silva, *et.al*, 2020). As praias defrontantes às falésias apresentam faces planas, estreita e retilínea, caracterizadas pela presença de depósitos de talus, blocos de arenitos laterizados, com exposição do terraço de abrasão, por vezes formando baías parabólicas (Maia, Amorim e Meireles, 2022).

No contexto das marés, a porção do litoral do Rio Grande do Norte, apresenta altura significativa das ondas (H_s) varia entre 1,25 m e 2,25 m, enquanto o período de vaga (T_p) situa-se entre 6 e 9 segundos, com padrões direcionais variando entre 80° a 120° (E-SE). A região apresenta um regime de marés astronômicas do tipo mesomaré semidiurna, com amplitude de até 2,7 m, com uma variação de aproximadamente 0,09 m acima ou abaixo do nível médio do mar em marés meteorológicas (Santos Jr. *et.al.*, 2011; Amorim e Maia, 2021; Matos, *et.al*, 2022).

O período e a direção das ondas variam ao longo do ano, em função das mudanças no padrão de circulação dos ventos, que sopram predominantemente de sudeste, com variações entre sul e nordeste, caracterizando distintas orientações de linha de costa, com sucessivas difrações de ondas propagadas. Tanto na Praia do Centro, como na Baía dos Golfinhos, parte da energia das ondas é dissipada em blocos de laterita (arenito cimentado por óxidos de ferro), distribuídos ao longo da zona de arrebentação (Santos Jr, *et.al*, 2020; Amorim e Maia, 2021; Maia e Amorim, 2022).

METODOLOGIA

A metodologia empregou a coleta de dados em campo, com frequência mensal, realizadas entre abril de 2024 e março de 2025, usando um receptor *Global Navigation Satellite System* (GNSS) com correção *Real Time Kinematic* (RTK) para georreferenciamento preciso dos pontos de movimento de massa; uma Aeronave Remotamento Pilotada (ARP) modelo Matrice 300 RTK, com câmera aerofotogramétrica para mensurar os maiores volumes e medições manuais de material acumulado na base das escarpas, bem como aplicação de fichas de caracterização geomorfológica.

Identificação dos gatilhos geomorfológicos

A identificação de gatilhos geomorfológicos foi realizada por meio da integração de dados ambientais, observações diretas em campo e emprego de técnicas de geoprocessamento de alta precisão. Foram realizadas em 13 campanhas de campo na área de estudo, sempre nos períodos de marés baixas de sizígia (Lua Nova ou Lua Cheia) utilizando um GNSS RTK (*Real Time Kinematic*) para localização precisa dos pontos com desliza-

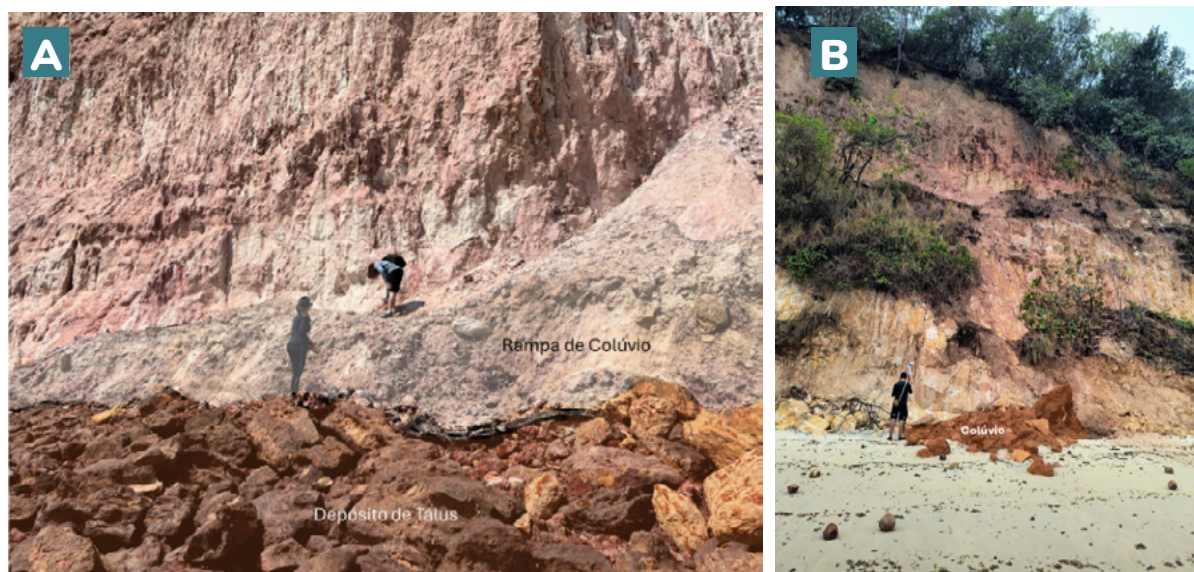


mentos na face da escarpa.

Para tanto, utilizou-se um par de receptores GNSS *Spectra SP060*, tecnologia RTK, coletando pontos para localização precisa dos deslizamentos. O Posicionamento ocorreu segundo as convenções de práticas geodésicas, com rastreamento da base por três horas, e coleta de pontos com sinal RTK fixo. Em laboratório foi realizado pós-processamento dos dados, no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a partir do serviço IBGE-PPP (Posicionamento por Ponto Preciso), disponível na aba de Geociências (<https://www.ibge.gov.br/>).

A medição dos volumes de material depositado na base da escarpa com até 3 m³, foi realizada com uso de fita métrica e preenchimento da ficha de campo para identificação/caracterização dos movimentos de massa, anotando as características dos tipos de processos, gatilhos geomorfológicos, dimensões e extensões dos movimentos e registros fotográficos da área (Figura 3).

Figura 3 - a) Medição de extensão de movimento de massa da falésia. b) Medição da localização dos pontos de movimento de massa da falésia



Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

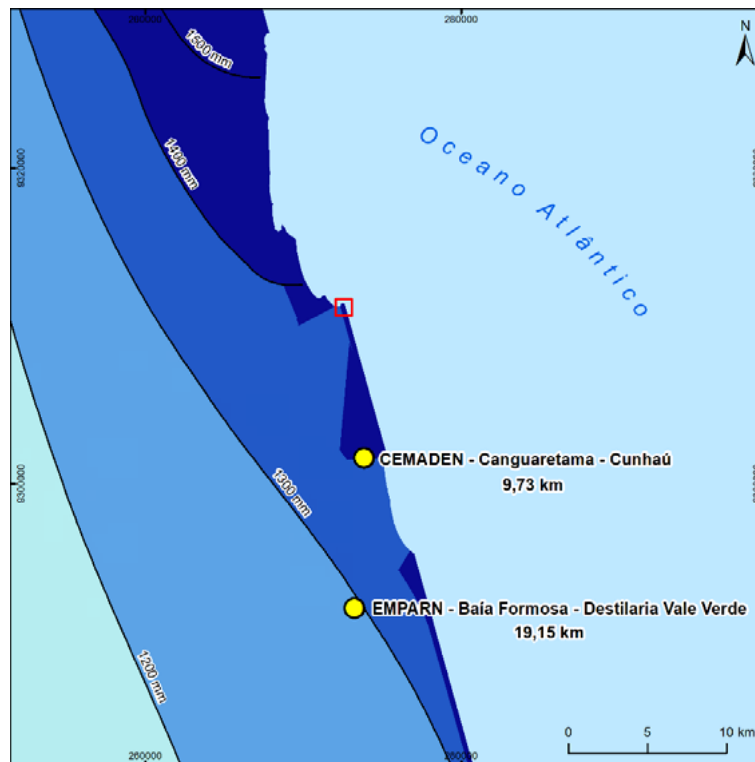
A mensuração dos volumes maiores que 3 m³ foi realizada por meio de aerofotogrametria utilizando uma Aeronave Remotamento Pilotada (ARP) modelo Matrice 300 RTK, com câmera aerofotogramétrica modelo *DJI Zenmuse P1*, com 45 MP de resolução, operando no visível. Para caracterização em detalhe de toda a face da escarpa foi realizado um voo no dia 03 de abril de 2025 e o mosaico aerofotogramétrico foi realizado utilizando o *software DJI Terra*.



Precipitação e altura de marés

Os dados de precipitação foram coletados na Rede Observacional para Monitoramento de Riscos e Desastres Naturais do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), estação pluviométrica do município de Canguaretama - Cunhaú (240220402A) e da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) da estação Baía Formosa (Destilaria Vale Verde) (Figura 4). Os dados foram organizados em planilhas do Excel com a geração de climograma, e gráficos dos volumes diários e mensais, permitindo a correlação entre os eventos de precipitação e os movimentos de massa nas falésias.

Figura 4 - Localização das Estações Pluviométricas utilizadas para coleta de dados



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Para a análise dos gatilhos geomorfológicos em falésias costeiras, adotou-se o valor de 50 mm de precipitação em 24 horas como critério para a caracterização de evento extremo (Leite, Adacheski e Virgens Filho, 2011; Su, Jiang e Jin, 2006; Chu *et al.*, 2009; Castellano e Nunes, 2010; Marofi *et al.*, 2011; Souza, 2014; Amorim, 2015). Ou seja, eventos com capacidade de mobilização de sedimentos nas encostas, quando a água entra no sistema com tanta energia sendo capaz de gerar instabilidade no relevo, contribuindo para a desestabilização das encostas (Kouah et al., 2024).



Para a altura das marés, foram utilizados modelos numéricos de previsão de ondas e dados disponibilizados pela Marinha do Brasil, tendo como referência o Porto de Natal - Capitania dos Portos do Rio Grande do Norte (CPRN) - Latitude 05° 46'.7 S, Longitude 35° 12'.4 W, Fuso UTC -03.0 horas.

Mapeamento

Os mapas de localização e movimentos de massa foram gerados com base no banco de dados, montado em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), utilizando o *software* ArcGIS (versão 10.8.2, licença Programa de Pós-Graduação em Geografia PPGE/UFRN).

Os dados coletados foram processados e analisados de forma integrada correlacionando os eventos climáticos e ocorrência de movimentos de massa – realizou-se a sobreposição de eventos de precipitação extrema e de alta energia de ondas com o registro de deslizamentos e colapsos.

A partir da metodologia adotada, foi possível determinar os principais gatilhos geomorfológicos atuantes na dinâmica das escarpas costeiras, contribuindo para uma melhor compreensão dos processos erosivos e para a formulação de estratégias de monitoramento e gestão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Movimentos de massa são processos superficiais que implicam em deslocamento de um volume de solo, rocha, podendo abranger a vegetação, de maneira simultânea e rápida, decorrente ação da gravidade e influenciado por vários fatores ambientais ou antropogênicos, sendo a ação da precipitação o principal gatilho (Cruden, 1991; Oliveira e Lima, 2019). Caracterizam-se como um dos principais processos de reafeiçoamento do modelado, acarretando o desenvolvimento de novas formas, tais como: rampas e leques coluviais, depósito de talus e outros, em regiões de encosta (Amaral e Gutjahr, 2015; Brasil, 2018; Listo *et.al*, 2021).

Na área de estudo ao longo de 13 meses foram contabilizados 33 movimentos de massa, associados à eventos de precipitação com alturas pluviométricas $\geq 50\text{mm}$ (em 24h) (Tabela 1), altura de marés $\geq 2\text{ m}$ com direção predominante de sudeste e intervenções antrópicas. Esses gatilhos, atuam de forma isolada e combinada e exercem influência sinérgica, intensificando os processos erosivos e os movimentos de massa ao longo das escarpas costeiras monitoradas.



Tabela 1 – Registro de precipitações e movimentos de massa no período de abril de 2024 e abril de 2025

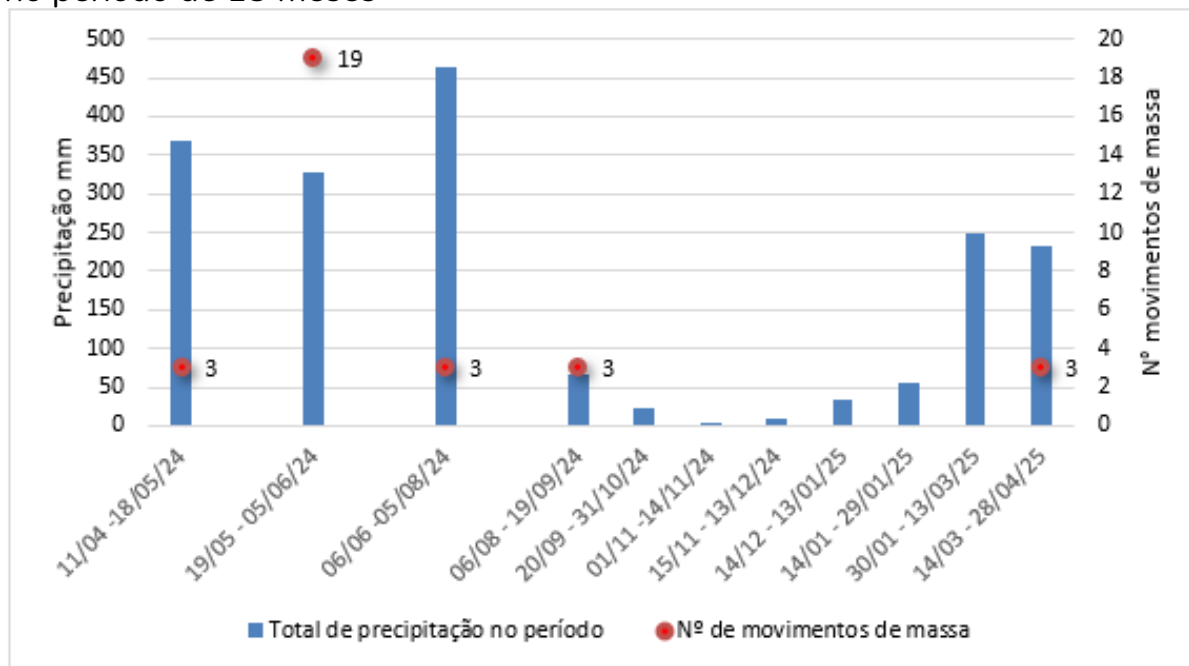
Período das coletas	Dias com precipitação $\geq 50\text{mm}/24\text{H}$	Precipitações $\geq 50\text{mm}/24\text{H}$	Total de precipitação no período (mm)	Nº de movimentos de massa
11/04 - 18/05/24	20/04/2024	98,5	369,42	3
	17/05/2024	111,18		
19/05 - 05/06/24	28/05/2024	72,44	327,34	19
	04/06/2024	93,52		
06/06 - 05/08/24	13/06/2024	57,87	462,49	3
	16/06/2024	70,23		
06/08 - 19/09/24		Sem registro	65,52	3
20/09 - 31/10/24		Sem registro	22,36	Sem registro
01/11 - 14/11/24		Sem registro	2,37	Sem registro
15/11 - 13/12/24		Sem registro	8,3	Sem registro
14/12 - 13/01/25		Sem registro	34,45	Sem registro
14/01 - 29/01/25		Sem registro	56,05	Sem registro
30/01 - 13/03/25	06/02/2025	71,31	247,85	Sem registro
14/03 - 28/04/25		Sem registro	232	3

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Os movimentos de massa se concentraram no período chuvoso que vai de março a julho, com 30 registros, representando 91% do total. O intervalo com maior número de registro foi de 19/05/2024 a 05/06/2024, com 19 movimentos de massa; tendo ocorrido dois eventos de precipitação ≥ 50 em 24h e um total acumulado de 327,4mm (Figura 5). Quando é considerado os eventos máximos de precipitação, tem-se 82% do total relacionados a eles, mostrando que esse foi o principal gatilho responsável pela mobilização de sedimentos na escarpa.



Figura 5 – Comportamento da precipitação e eventos de movimentos de massa no período de 13 meses



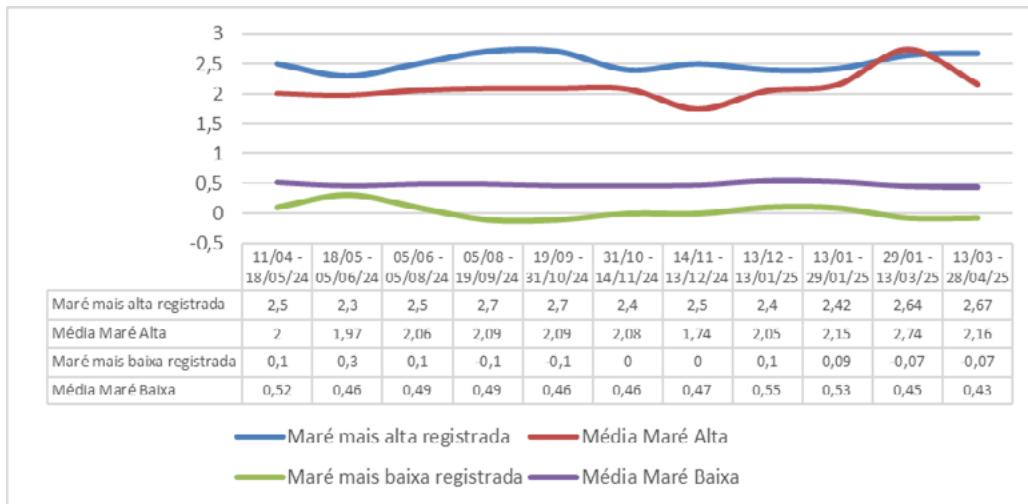
Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Os eventos máximos de precipitações já são bastante descritos como gatilhos que geram mobilização de sedimentos em encostas (Berezuk e Sant’Anna Neto, 2006; Soja e Starkel, 2007; Souza, 2014), contudo a influência deles em falésias costeiras ativas ainda é pouco mensurada. O entendimento da atuação integrada entre os diferentes gatilhos em falésias costeiras constitui um dos desafios para compreensão dos efeitos das mudanças climáticas no reafeiçoamento da zona costeira.

Os períodos entre os meses de junho e setembro de 2024 e entre janeiro a abril de 2025 registraram as marés mais altas dos períodos analisados. Esses mesmos intervalos de tempo apontam para momentos em que houve precipitação $\geq 50\text{mm}$, caracterizando a sinergia entre os fenômenos, resultando em movimentos de massa na região – 9 movimentos. Marés de amplitude mais elevadas são caracterizadas por ondas com maior energia, uma porção significativa dessa energia é utilizada no transporte de sedimentos e nas mudanças subsequentes das formas de relevo (Masselink, 2005) (Figura 6).



Figura 6 – (a) Altura das marés mais altas em cada período de coleta de dados. (b) Pluma de sedimentos retirados da falésia e transportados pela ação das ondas.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

A atuação das ondas durante o período de maré alta exerce um papel fundamental na dinâmica erosiva das falésias, funcionando como gatilho geomorfológico para o recuo da escarpa. Através da ação hidráulica, as ondas exploram discontinuidades estruturais na rocha, como fraturas verticais e subverticais, favorecendo a formação de feições erosivas menores, como cavernas, arcos, entalhes de solapamento e reentrâncias erosio-



nais (Bird, 2008, 2016; Davidson-Arnott, 2010). Na base das falésias da área de estudo, a ocorrência de fácies mais argilosas combinadas ao fraturamento estrutural cria zonas de fraqueza que são continuamente retrabalhadas pela abrasão das ondas, intensificando a escultura do relevo e contribuindo para a instabilização da escarpa por tombamentos e quedas de blocos (Figura 7). (Amorim e Maia, 2021; Maia e Amorim, 2022).

Figura 7 - Atuação das ondas na falésia da praia do Centro, distrito de Pipa – Tibau do Sul.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Os movimentos de massa distribuem-se em 20 pontos distintos do trecho de falésias, sendo 12 no segmento da falésia da Praia do Centro e 08 no segmento da falésia da Baía dos Golfinhos (Figura 8). Quando analisados os 33 movimentos, 60,6% movimentos têm menos de 3 metros de extensão e 39,4% abrangeram extensões maiores na escarpa. Percebe-se assim que, apesar de não abranger grandes volumes e sendo estes pouco significativos para o recuo da escarpa, eles são expressivos no contexto de riscos, especialmente nos períodos mais chuvosos e com maiores amplitudes de marés. Essa dinâmica geomorfológica costeira da área de estudo, além de contribuir para riscos que envolvem movimentos de massa, ainda resultam em desabamento de construções e danos a infraestrutura; erosão pluvial; perda do patrimônio natural (paisagem); redução ou inviabilização da atividade turística local e o aumento da erosão costeira (Nordhaus, 2007; Kousky, 2014; Maia, Amorim e Meireles, 2022; Maia e Amorim, 2022; Amorim e Madeiros, 2024).



Figura 8 - Espacialização dos movimentos de massa na área de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Assim, a dinâmica erosiva das falésias da Formação Barreiras localizadas na região de Pipa, no município de Tibau do Sul (RN), apresenta marcada sazonalidade. Durante o período chuvoso, de abril a julho, os processos subaéreos predominam, com a infiltração da água pluvial nas fraturas da escarpa, gerando faixas esbranquiçadas em virtude do lixiviamento e favorecendo a ocorrência de movimentos de massa e a formação de depósitos coluviais na base das escarpas. No período seco, que se estende aproximadamente de agosto a fevereiro, a atuação marinha torna-se mais significativa, especialmente durante as marés de sizígia, quando a energia da onda promove a remoção do material fino acumulado na base das falésias, contribuindo para a manutenção de ângulos de inclinação elevados, frequentemente próximos a 90° (Maia e Amorim, 2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados alcançados jogam luz no entendimento dos gatilhos geomorfológicos de curto prazo que atuam sobre as falésias ativas da Formação Barreiras. Para o período analisado, destacou-se a precipitação como o principal agente deflagrador dos movimentos de massa registrados, dos 33 eventos registrados ao longo de 13 meses, 82% estiveram diretamente associados a eventos de precipitação com 50 mm ou mais, em 24 horas.



A atuação sinérgica entre precipitações intensas, marés altas e pressões antrópicas se mostrou determinante para a instabilização das escarpas, evidenciando a complexidade dos processos morfodinâmicos que reafeiçoam as escarpas, atualmente. A interação entre forçantes naturais revelou uma dinâmica sazonal marcada por: processos subaéreos dominantes no período chuvoso, promovendo infiltração e lixiviação nos planos de fraqueza da escarpa e ação marinha mais expressiva no período seco, responsável pela remoção de material acumulado na base da falésia, mantendo o ângulo da escarpa a 90°, a retração lateral.

A metodologia empregada se mostrou adequada ao trabalho, apresentando potencial para aplicação em outras áreas. Ao mesmo tempo, **não** tem-se a pretensão de considerar que os resultados encontrados possam sanar todas as lacunas a respeito dos processos geomorfológicos em falésias ativas da Formação Barreiras. **É importante destacar que** a compreensão dos processos geomorfológicos em escarpas costeiras em escala decadal, demanda um período mais longo de medições, sendo capaz de gerar um entendimento mais robusto que consiga individualizar diferentes gatilhos.

A distribuição espacial dos movimentos também reforça a vulnerabilidade das costas altas, com falésias, onde há intensa atividade turística e de ocupação do solo, como observado na Praia do Centro e na Baía dos Golfinhos. Ao mesmo tempo, os resultados demonstram a importância da pesquisa geomorfológica, dentro de um programa de monitoramento costeiro, com emprego de geotecnologias de alta precisão para subsidiar tomadas de decisão e redução de riscos.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMARAL, R.; GUTJAHR, M.R. **Desastres naturais**. São Paulo: IG/SMA. 2015

AMORIM, R.F. **Integração entre dinâmicas geomorfológicas multitemporais no planalto da Borborema, semiárido do NE do Brasil**. 2015. 183f. Tese (Doutorado em Geografia). Centro de Filosofia e Ciências Humanas - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

AMORIM, A. C. B.; SCUDELARI, A. C.; AMARO, V. E.; MATOS, M. de F. A. de. 2019. Variabilidade dos Extremos de Precipitação Diária na Cidade de Natal, Estado do Rio Grande do Sul, Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, vol. 42, nº 4, 2019. p. 284 – 295.



AMORIM, R.F; MAIA, R.P. **Diagnóstico e apontamentos de medidas mitigadoras para o contexto de riscos nas falésias de Pipa e Barra de Tabatinga – RN/** Relatório técnico Projeto Falésias, UFRN-UFC-MDR, Natal, 2021.

AMORIM, R.F; MADEIROS, H.M. Erosão e riscos em falésias costeiras: assinatura geomorfológica do antropoceno. CORRÊA, A.C.B, LIRA, D.R; CAVALCANTI, L.C.S.; SILVA, O.G.; SANTOS, R.S. **Mudanças ambientais e as transformações da paisagem no nordeste brasileiro**. 1.ed. Ananindeua: Itacaúnas, 2024. p. 175-186.

ARAÚJO, V. D. DE, REYES-PERES, Y. A., LIMA, R. DE O., PELOSI, A. P. DE M. R., MENEZES, L., CÓRDOBA, V. C., & LIMA-FILHO, F. P. Fácies e sistema deposicional da formação barreiras na região da Barreira do Inferno, Litoral Oriental do Rio Grande do Norte. **Geologia USP. Série Científica**, 6(2), 2006. p. 43-49.

BEREZUK, A. G.; SANT'ANNA NETO, J. L. Eventos climáticos extremos no oeste paulista e norte do Paraná, nos anos de 1997, 1998 e 2001. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 2, p. 9-22, 2006.

BEZERRA, F.H.R.; AMARO, V.E.; VITA-FINZI, C.; SAADI, A. Pliocene-quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v.14, 2001. p. 61-75.

BEZERRA, F.H.R., MELLO, C.L. & SUGUIO, K. A Formação Barreiras: recentes avanços e antigas questões. **Geologia USP. Série Científica**, 6(2), III-VI, 2006.

BEZERRA, F.H.R. Deformação tectônica na Formação Barreiras: exemplos da Bacia Potiguar e Paraíba, Brasil. **Anais do XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA**, Rio de Janeiro, 2011.

BIRD, E.C.F. **Coastal Geomorphology: an introduction**. John Wiley & Sons, Ltd, 2008.

BIRD, E.C.F. **Coastal cliffs: morphology and management**. Springer, 2016.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Manual técnico para redução de riscos de desastres aplicado ao planejamento urbano – movimento de massa**. Secretaria Nacional de Desenvolvimento Urbano, 2018.

CASTELLANO, M. S.; NUNES, L. H. Avaliação espacio-temporal das precipitações extremas e seus impactos no meio ambiente urbano: um caso brasileiro. **Territorium**, v. 17, p. 35-44, 2010.

CHU, P. S; ZHAO, X.; RUAN, Y.; GRUBBS, M. Extreme rainfall events in the Hawaiian Islands. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 48, p. 502-516, 2009.

CRUDEN, D. A simple definition of a landslide. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**, 43, 1991. p. 27–29.



DAVIDSON- ARNOTT, R. **Introduction to coastal processes and geomorphology**. Cambridge University Press, 2010.

DINIZ, R.F. **A Erosão Costeira ao Longo do Litoral Oriental do Rio Grande do Norte: Causas, Consequências e Influências nos Processos de Uso e Ocupação da Região Costeira**. Salvador. 2002. Tese (Doutorado em Geociências) Instituto de Geociências.

EMERY, K.O; KUHN, G.G. Sea cliffs: their processes, profiles, and classification. **Geological Society of American Bulletin**, v.93, 1982. p. 644-654.

FONTAINE, B. JANICOT, S., ROUCOU, P. Coupled ocean-atmosphere surface variability and its climate in the tropical Atlantic region. **Climate Dynamics**, 15, 1999. p. 451-473

GOMES, L. R. S.; SOUZA, R. F.; AMARO, V. E.; SPRYDES, M. H. C. 40 years extreme offshore waves off the Eastern continental shelf of Rio Grande do Norte, Northeast Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**. V.16, n.02, 2023. p. 1040-1059.

HAMPTON, M.A.; GRIGGS, G.B.; EDIL, T.B.; GUY, D.E.; KELLEY, J.T.; KOMAR, P.D.; MICKELSON, D.M.; SHIPMAN, H.M. Processes that govern the formation and evolution of coastal cliffs. HAMPTON, M.A.; GRIGGS, G.B. **Formation, evolution, stability of coastal cliffs: status and trends**. United States Government Printing Office, 2004. p. 7-38.

KOUAH, M.; THIERY, Y.; MAQUAIRE, O.; NICOT, F.; WAUTIER, A.; ROULLAND, T.; THIRARD, G.; FRESSARD, M.; COSTA, S.; DAVIDSON, R. Reconstruction and verification of mechanism and triggering conditions of the Hermitage landslide at the Vaches Noires cliff (Normandy). **Geomorphology**, 465, 2024. p. 1-15.

KOUSKY, C. Informing climate adaptation: a review of the economic costs of natural disasters. **Energy Economics**, 46, 2014. p. 576–592.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.09.029>.

LEITE, M. L.; ADACHESKI, P. A.; VIRGENS FILHO, J. S. Análise da frequência e da intensidade das chuvas em Ponta Grossa, Estado do Paraná, no período entre 1954 e 2001. **Acta Scientiarum, Technology**, v. 33, n. 1, p. 57-64, 2011.

LIMA, C. C. U.; DOMINGUEZ, J. M. L. Discovery Coast: the brazilian landscape first sighted by europeans. VIEIRA, B. C.; SALGADO, A. A. R.; SANTOS, L. J. C. **Landscapes and landforms of Brazil**. Springer: New York, 2014. p. 45-54.

LISTO, F.L.R.; GOMES, M.C.V.; FERREIRA, F.S. Evaluation of shallow landslide susceptibility and fator of safety variation using the TRIGRS model, Serra do Mar Mountain Range, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v.107, 2021. p. 01-13.

MAIA, R.P.; AMORIM, R.F; MEIRELES, A.J. **Falésias: origem, evolução, risco**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2022.



MAIA, R.P; AMORIM, R.F. Aspectos morfoestruturais e fatores erosivos em falésias. O caso de Pipa – RN. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.23, n.4, 2022. p. 2000 -2009.

MAROFI, S; SOHRABI, M.M.; MOHAMMADI, K.; SABZIPARVAR, Ali-A.; ABYANEH, H.Z. Investigation of meteorological extreme events over coastal regions of Iran. **Theoretical Applied Climatology**, v. 103, p. 401-412, 2011.

MASSELINK, G. Waves. SCHWARTZ, M.L. **Encyclopedia of coastal science**. Springer, 2005. p. 1069-1073.

MATOS, M.F.A.; AMARO, V.E.; SCUDELARI, A.C.; ROSADO, S.B. Estimativas das alterações de longo prazo na linha de praia do Litoral Oriental do Rio Grande do Norte Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.23, n.1, 2022. p. 1027-1053

MICCADEI, E.; PIACENTINI, T.; DAVERIO, F.; DI MICHELE, R. Geomorphological instability triggered by heavy rainfall: examples in the Abruzzi Region (Central Italy). **Studies on Environmental and Applied Geomorphology**. 2012. p. 45-62. DOI: 10.5772/39121

MORAIS, J.O.; PINHEIRO, L.S.; PESSOA, P.R.S.; FREIRE, G.S.; CARVALHO, A.M.; GUERRA, R.G.P.; BARROS, E.L.; MOURA, F.J.M. Ceará. In: MUEHE, D. (Coord.), **Panorama da erosão costeira no Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2ed, 2018. p. 261-289.

MOURA, B. A. G.; ARAGÃO, J. O. R.; MELO, J. S. P.; SILVA, A. P. N.; GIONGO: R.; LACERDA, F. F. Z. O. Relação entre a precipitação do leste do Nordeste do Brasil e a temperatura dos oceanos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 13(4): 462 – 469, 2009.

MOURA-FÉ, M. M. Barreiras: serie, grupo ou formação? **Rev. Bras. de Geog. Fís.** 7, 2014. p.1055–1061.

NORDHAUS, W.D. A review of the stern review on the economics of climate change. **Journal of Economic Literature**, 45(3), 2007. p. 686–702.

OLIVEIRA, D. H. M. C; LIMA, K. C. What is the return period of intense rainfall events in the capital cities of the northeast region of Brazil? **Atmos Sci Lett**. 2019. p. 1-11.

OLIVEIRA, L.R.; VITAL, S.R.O.; MOURA, C.M.S. Erosão costeira: um estudo bibliométrico acerca do processo erosivo em falésias. **Rev.Entrelugar**, v.15, n.29, 2024. p.243-267

PIÉRRRI, G. C. S. **Análise de Risco à Erosão Costeira na Região de Tibau do Sul/RN Através de Mapeamento Geoambiental e Análise Morfodinâmica**. 140 f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Natal, 2008.

PETERSON, R. G., STRAMMA, L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, v.26, 1991. p. 1-73.



SANTOS JR. O.F.; SCUDELARI, A.C.; COSTA, Y.D.; COSTA.C.M. Sea cliff retreat mechanisms in northeastern Brazil. **Journal of Coastal Research**, Special Issue, v.64, 2011. p. 820-824.

SCUDELARI, A. C.; MATOS, M.F.A.; AMARO, V.E.; CAMARA, M.R.; CAVALCANTE, A.C.C. Short-term evaluation of the retreating cliffs of Tibau do Sul Brasil. **Rev. Geociênc. Nordeste**, Caicó, v.7, n.2, 2021. p.202-214.

SILVA, B. F. P.; FEDOROVA, N.; LEVIT, V.; PERESETSKY, A.; BRITO, B. M. de. Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 3, 313-339, 2011.

SILVA, B. M. F.; FREITAS NETO, O.; SANTOS JÚNIOR, O. F.; BARBOSA, N. M. ; FRANÇA, F.A N. ; Araujo, E. E. B. Stability Evolution with Basal Erosion Increase in Cliffs on the Coast of Rio Grande do Norte, Brazil. **Applied Mechanics and Materials**, v. 858, p. 342-347, 2016.

SILVA, B. M. F.; SANTOS JÚNIOR, O. F.; FREITAS NETO, O.; SCUDELARI, A. C. Erosão em Falésias Costeiras e Movimentos de Massa no Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Revista Geociências**, UNESP, v. 39, n. 2, p. 447-462, 2020.

SILVA, L. R. J.; AMARO, V. E.; SCUDELARI, A. C.; PINHEIRO, L. R. S. G. Mapa de risco à erosão costeira e movimentos gravitacionais de massa no litoral oriental do nordeste do Brasil: Estudo de caso na Praia de Pipa/RN. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.24, n. 1, 2023. p. 1-19.

SOJA, R.; STARKEL, L. Extreme rainfalls in Eastern Himalaya and souther slope of Meghalaya Plateau and their geomorphologic impacts. **Geomorphology**, n. 84, p. 170-180, 2007.

SOUZA, J. O. P. **Modelos de evolução da dinâmica fluvial em ambiente semiárido** – Bacia do Riacho do Saco, Serra Talhada, Pernambuco. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós - Graduação em Geografia, 2014. 191f.
SU, B. D.; JIANG, T.; JIN, W. B. Recent trends in in observed temperature and precipitation extremes in the Yangtze River basin, China. **Theoretical and Applied Climatology**, n. 83, p. 139-151, 2006.

TORRES, R. R.; FERREIRA, N. J. Case studies of easterly wave disturbances over Northeast Brazil using the Eta Model. **Weather Forecast**, n. 26, 225–235, 2011. DOI: 10.1175/2010WAF2222425.1

YOUNG, A.P.; GUZA, R.T.; FLICK, R.E.; O'REILLY, W.C.; GUTIERREZ, R. Rain, waves, and short-term evolution of composite seacliffs in Southern California. **Marine Geology**, v.267, 2009. p. 1-7.



COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA ORLA MARÍTIMA TERRESTRE FRONTAL DO LITORAL ORIENTAL DO RIO GRANDE DO NORTE: DE NATAL/RN A BAÍA FORMOSA/RN

Arianna dos Santos Ferreira¹⁰

Eduardo Queiroz de Lima¹¹

Neomyzia Lorena Bezerra Furtado¹²

Rodrigo de Freitas Amorim¹³

Zuleide Maria Carvalho Lima¹⁴

PALAVRAS-CHAVE: Compartimentação Geomorfológica; Orla Marítima Terrestre; Ordenamento Costeiro; Mapeamento do Relevo.

RESUMO

A orla marítima terrestre constitui um sistema geomorfológico complexo, resultante da atuação conjunta de forçantes marinhas e continentais, que remodelam continuamente o relevo, provocando alterações em diferentes escalas temporais. Essa faixa costeira é marcada por intensa ocupação, abrigando centros urbanos, infraestrutura turística e áreas de lazer, o que torna o planejamento territorial mais desafiador e exige um conhecimento aprofundado das unidades de relevo presentes. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar a compartimentação geomorfológica de um trecho da orla marítima terrestre frontal do Litoral Oriental do Rio Grande do Norte, compreendido entre os municípios de Natal e Baía Formosa. Adota-se a classificação do Manual Técnico de Geomorfologia do IBGE (2009), utilizando o terceiro e o quarto nível taxonômico. A faixa de orla considerada corresponde aos 200 metros medidos a partir da linha de preamar máxima em direção ao continente, conforme definido pelo Decreto Nº 5.300/2004. O mapeamento teve como base inicial a Carta de Geomorfologia na escala 1:250.000, disponibilizada pelo IBGE, sendo posteriormente refinado em ambiente de SIG (Sistema de

¹⁰ Doutor em Geografia, Universidade Federal do Amapá - UNIFAP, limaqedu@gmail.com;

¹¹ Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, ariannadossantosferreira@gmail.com;

¹² Graduanda do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, lorena.furtado.124@ufrn.edu.br;

¹³ Professor orientador: Doutor, Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, rodrigo.freitas@ufrn.br;

¹⁴ Doutora em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, zuleide.lima@ufrn.br.



Informações Geográficas), com o apoio de dados de campo. O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi gerado a partir dos dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com resolução espacial de 30 metros, cobrindo três compartimentos principais. Para o detalhamento de trechos com presença de falésias, foram realizadas aquisições aéreas com uso de uma ARP (Aeronave Remotamente Pilotada), modelo Matrice 300, equipada com sensor full-frame de 45 MP, lente intercambiável e gimbal estabilizado de 3 eixos. O controle de posicionamento foi feito via RTK, e os voos ocorreram a 110 metros de altura, com sobreposição de 85%. Os dados obtidos resultaram em ortomosaicos com Ground Sample Distance (GSD) de 2 cm e MDE, processados no software DJI Terra 4.2.5, no Datum SIRGAS 2000 (fuso 25S). A elaboração dos produtos cartográficos foi realizada no ArcGIS 10.8.2, com licença institucional do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRN (PPGE/UFRN). A área de estudo possui 96,7 km de extensão litorânea, sendo composta por 36% de costa alta (com falésias) e 64% de costa baixa. Foram identificadas cinco unidades geomorfológicas: dunas (32,74%), planícies marinhas (30,60%), tabuleiros costeiros (25,80%), planícies fluviomarinhas (incluindo leques aluviais) (9,39%) e estuários (1,47%). Também foram mapeadas oito baías em forma de zeta e três estuários principais: Potengi, Curimataú e Guaraíras. Os resultados obtidos fornecem subsídios relevantes para o planejamento e ordenamento da zona costeira, especialmente no âmbito do Projeto Orla, diante das vulnerabilidades associadas às mudanças climáticas e à elevação do nível do mar.

INTRODUÇÃO

A orla marítima se destaca entre os sistemas físicos pela intensa variabilidade temporal e espacial dos processos morfodinâmicos, responsáveis por modelar a diversidade de feições geomorfológicas. Esse dinamismo resulta da interação entre processos erosivos e deposicionais, influenciados por agentes naturais como ondas, marés e correntes litorâneas, além das interferências antropogênicas (Rossetti, 2008). Trata-se de um sistema geomorfológico complexo, composto por um conjunto de formas e processos inter-relacionados que se organizam espaço-temporalmente a partir dos *inputs* de matéria e energia.

A compreensão dos processos costeiros e das feições geomorfológicas do litoral exige uma leitura integrada de múltiplos agentes modeladores: ondas, marés, correntes marinhas, ventos, variações do nível relativo do mar, sedimentação, dinâmica tectônica e interferência antrópica (Davidson-Arnott, 2010). Tal perspectiva é fortalecida por Crossland *et al.* (2005), ao evidenciar que a configuração e a evolução das zonas costeiras atuais resultam da interação intrincada entre forças naturais e ações humanas.

Nesse contexto, a compartimentação geomorfológica configura-se como uma ferramenta de análise da paisagem costeira, ao possibilitar a identificação, descrição e delimitação de unidades com características morfodinâmicas homogêneas. Trata-se de um instrumento fundamental para subsidiar o ordenamento do território, oferecendo bases

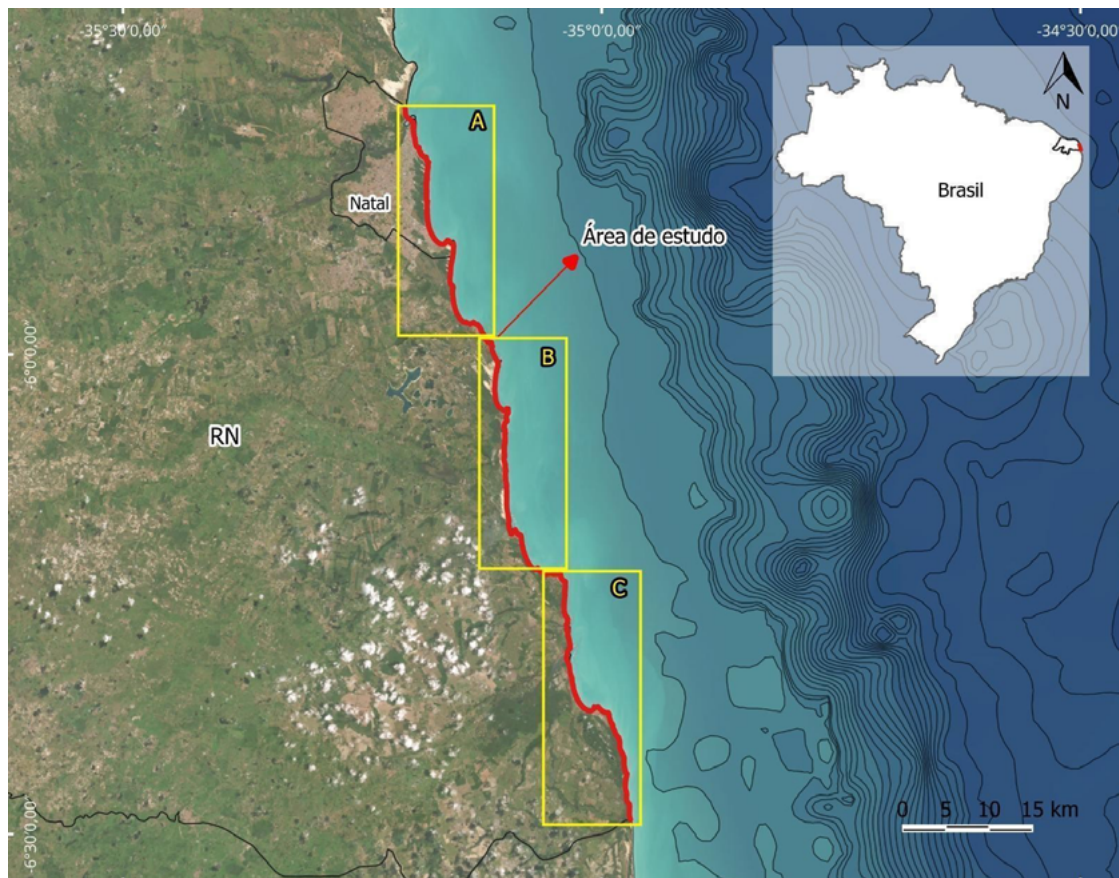


à gestão costeira e a mitigação de riscos.

No contexto das mudanças climáticas e elevação do nível do mar, o conhecimento dos compartimentos geomorfológicos da orla marítima terrestre pode contribuir com estratégias para compatibilização do uso e ocupação do solo com a morfodinâmica costeira, respeitando os limiares de reafeiçoamento. A compreensão do balanço de sedimentos em um determinado segmento de praia, uma interação praia-enseada, por exemplo, permite estabelecer o manejo eficaz e redução de riscos (Wang e Beck, 2022).

O presente trabalho tem como recorte espacial um trecho da orla marítima terrestre frontal oriental do estado do Rio Grande do Norte, entre a praia da Redinha (Natal) e a praia de Sagi (Baía Formosa), com 96,7 km de extensão e 200 metros de largura (Figura 01). Uma faixa dinâmica, onde processos de erosão e deposição geram diferentes condições de equilíbrio morfológico. Foram mapeados e descritos os compartimentos geomorfológicos existentes, analisando os processos responsáveis por sua gênese e evolução, com quantificação do número de baías.

Figura 1 - Localização da área de estudo mostrando as áreas



Fonte: Autores.



MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da pesquisa, realizou-se um levantamento bibliográfico, com base em estudos prévios sobre a região, visando compreender as formas e os processos morfodinâmicos atuantes. Foram analisadas imagens de satélite e de radar para a identificação e delimitação das feições geomorfológicas, possibilitando a caracterização dos compartimentos costeiros e a quantificação das baías. Todos os mapeamentos foram executados nos softwares QGIS (versão 3.28.2 – Firenze) e ArcGIS Desktop (versão 10.8.2).

Foram elaborados perfis transversais dos trechos mapeados da linha de costa, para identificar as formas superficiais, o que permitiu a visualização vertical das unidades costeiras e sua relação com fatores como a topografia, o tipo de cobertura superficial e a proximidade com áreas urbanizadas. Complementarmente, e visando um maior detalhamento do relevo, três modelos digitais de elevação (MDE) foram gerados para trechos-chave de falésias. A combinação desses cortes transversais e das MDEs contribuiu significativamente para a análise integrada da paisagem, reforçando a interpretação dos compartimentos e destacando as áreas com maior suscetibilidade a processos erosivos.

A elaboração do mapa de compartimentação do relevo, considerando uma faixa de 200 metros da linha de costa, teve por base dados vetoriais de geomorfologia provenientes do projeto “Mapeamento de Recursos Naturais (MRN) - Escala 1:250.000”, disponibilizados no portal BDiAWEB/IBGE e vetorização de unidades com base em imagens de satélite e dados de radar.

A visualização da área de estudo utilizou o *basemap* do ESRI Satellite, acessado por meio do *plugin* QuickMapServices no *software* QGIS versão 3.28.2 - Firenze. A tipologia dos compartimentos teve por base as classes de relevo do Manual Técnico de Geomorfologia, 2ª Edição, do IBGE. O processamento foi realizado nos softwares: QGIS versão 3.28.2 - Firenze e ArcGIS Desktop 10.8.2, com a criação dos *buffers* e a reclassificação das feições geomorfológicas. Em seguida o dado vetorial de geomorfologia foi recortado com base no *buffer* de 200 metros, delimitando a orla marítima terrestre frontal.

Após o recorte, a classificação das feições geomorfológicas foi realizada a partir da tabela de atributos do arquivo vetorial recortado. Para aprimorar a análise, foi criado um novo campo na tabela de atributos, com a finalidade de adicionar novas classes de relevo que não estavam presentes na camada original. A execução do mapeamento tomou como base, inicialmente, a Carta de Geomorfologia na escala 1:250.000, disponibilizada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), com refinamen-



tos executados em ambiente de SIG (Sistema de Informações Geográficas), utilizando dados coletados em campo. Para geração do MDE (Modelo Digital de Elevação) foram utilizados os dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com resolução espacial de 30 metros, em três compartimentos.

A quantificação de baías em forma de *zeta* foi realizada através da análise das formas das baías controladas por estruturas geológicas e/ou processos hidrodinâmicos. Este método envolve a identificação de pontos de inflexão na linha de costa e a posterior parametrização da curva de *zeta*, utilizando ferramentas de geoprocessamento no ArcGIS Desktop 10.8.2. Para as baías de grande porte, a identificação e análise foram efetuadas na escala de 1:6.000, permitindo um detalhamento adequado de suas feições. Para as baías de pequeno porte, como enseadas de menor dimensão, a identificação e quantificação foram realizadas em uma escala de 1:2.000.

Em três segmentos específicos de falésias foi realizado um levantamento de detalhe, utilizando um sensor *full-frame* de 45 MP e lentes intercambiáveis em um *gimbal* estabilizado de 3 eixos, embarcado em uma ARP (Aeronave Remotamente Pilotada), modelo Matrice 300, com controle de posicionamento efetuado por RTK. Os voos ocorreram a 110 metros de altura com sobreposição de 85%, gerando ortomosaicos com Ground Sample Distance (GSD) de 2 cm e Modelo Digital de Elevação (MDE), processado no software DJI Terra 4.2.5, no Datum SIRGAS 2000 (fuso 25S). A elaboração dos produtos cartográficos foi realizada no ArcGIS 10.8.2, licença do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRN (PPGE/UFRN).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Compartimentação Geomorfológica

Segundo a definição do IBGE (2009), unidades geomorfológicas são conjuntos de formas de relevo que compartilham características morfológicas e altimétricas semelhantes, embora apresentem distintos processos de reafeiçoamento. Foram identificadas e mapeadas cinco unidades: dunas, planícies marinhas, planícies fluviomarinhas, estuários e tabuleiros costeiros.

As dunas constituem feições formadas pela ação eólica sobre depósitos arenosos predominantemente quartzosos, cuja redistribuição depende diretamente do regime de ventos. Em áreas costeiras, tais sedimentos derivam tanto de fontes marinhas quanto continentais, sendo sua morfodinâmica determinada pela interação entre processos eólicos, marinhos, vegetacionais, antrópicos e fatores geomorfológicos locais (Pye & Tsoar, 1990). Sua ocorrência é favorecida em praias de padrão



dissipativo, com extensas zonas de arrebentação e maior deposição de sedimentos finos, como em Natal e em Georgino Avelino (Silva, 2002; Sousa Aguiar & Cestaro, 2012). A estabilidade dessas formações depende da continuidade do aporte sedimentar, da constância dos ventos e da presença de barreiras vegetacionais ou antrópicas (Hesp, 2000).

As planícies marinhas são superfícies planas de baixa declividade, resultantes da deposição de sedimentos finos em ambientes de baixa energia, influenciados pela oscilação das marés e pela dinâmica costeira (Suguio, 2010). Apresentam elementos como cordões arenosos, canais de maré, manguezais e áreas sujeitas a inundações periódicas (Barbosa, 2018). Já as planícies fluviomarinhas resultam da interação entre processos fluviais e marinhos, formando áreas de transição entre sistemas continentais e oceânicos. Tais superfícies se distinguem pela presença de drenagens perenes, heterogeneidade sedimentar e elevada sensibilidade ecológica (Bird, 2008; Guedes, 2016). Os estuários, por sua vez, são zonas de transição entre os ambientes fluvial e marinho, sujeitos a variações de salinidade e sedimentação mista, moldados por ação conjunta de marés e descargas fluviais (Dyer, 1997).

Os tabuleiros costeiros configuram superfícies planálticas suavemente onduladas, compostas por sedimentos terciários e quaternários, localizadas em cotas mais elevadas do relevo. Apresentam margens delimitadas por escarpas, cobertura de vegetação de porte médio e solos mais desenvolvidos, conforme descrito por Ross (1992). Feições associadas aos tabuleiros costeiros, como as falésias, emergem sobrepostas à Formação Barreiras, por aproximadamente 24 km ao longo da área de estudo. A maior porção desse trecho encontra-se na orla marítima de Tibau do Sul, com cerca de 12,3 km de extensão.

O litoral oriental do Rio Grande do Norte apresenta uma morfologia de baías em formato de *zeta*, resultado da interação entre processos erosivos e deposicionais ao longo do tempo geológico. Sua formação está relacionada à ação dos ventos alísios, correntes litorâneas e variações do nível do mar durante o Quaternário. Em fases regressivas, predominou a erosão costeira; em fases transgressivas, a deposição sedimentar moldou as feições. A estrutura geológica pré-existente, marcada por falhas e fraturas, também condiciona o recorte da linha de costa e o desenvolvimento das enseadas (Diniz, 1998).

Com base na análise percentual dos compartimentos geomorfológicos, observa-se o predomínio das dunas, que representam 32,74% da área total analisada, correspondendo a 662,24 ha. Em seguida, destacam-se as planícies marinhas, com 30,60%, o que equivale a 618,93 ha, distribuídas em faixas contínuas e descontí-



nuas ao longo do litoral. Os tabuleiros costeiros correspondem a 25,80% da área, totalizando 521,98 ha, e surgem em cotas mais elevadas. As planícies fluviomarinhas, incluindo os leques aluviais, ocupam 9,39% da área total (189,88 ha) e desempenham papel funcional relevante, especialmente por estarem associadas a estuários, como os dos rios Potengi, Pirangi, Catu e Curimataú. Já os estuários, individualmente, abrangem 1,47% da área total, o que corresponde a 29,86 ha.

Na Tabela 1, são apresentados os percentuais e as respectivas áreas em hectares de cada compartimento identificado.

Tabela 1 – Distribuição percentual e em (ha) dos compartimentos geomorfológicos.

Unidade Geomorfológica	% da Área Total	Área Total (ha)
Dunas	32,74%	662,24
Planícies Marinhas	30,60%	618,93
Tabuleiros Costeiros	25,80%	521,98
Planícies Fluviomarinhas	8,64%	174,79
Estuários	1,47%	29,86
Leque Aluvial	0,75%	15,09
Total	100%	2022,88

Fonte: Autores.

A área de estudo apresenta uma morfologia marcada por oito grandes baías com formato em *zeta*: a Baía de Ponta Negra, marcada por intensa urbanização e dinâmica erosiva acelerada; a Baía de Pirangi, com arrecifes costeiros que favorecem a retenção sedimentar; a Baía de Búzios, destacada por falésias ativas e sedimentação arenosa; a Baía de Tabatinga, com áreas de deposição de sedimentos finos e presença de manguezais; a Baía de Camurupim, que abriga um sistema lagunar associado a feições de retroalimentação sedimentar; a Baía de Pipa, caracterizada por praias encaixadas entre falésias e campos dunares; a Baía do Madeiro, onde se sobressaem tabuleiros costeiros elevados; e a Baía de Sagi, última grande baía antes da divisa com a Paraíba, fortemente influenciada pelas marés. Além dessas, há diversas baías menores inseridas nas unidades morfológicas principais, que mantêm o padrão em *zeta* e resultam de processos similares, como a erosão diferencial das rochas sedimentares e a ação das correntes costeiras, que favorecem a formação de pequenas enseadas protegidas por promontórios.



Para melhor descrição dos compartimentos, a área de estudo foi dividida em três setores no sentido norte-sul. No **Setor A** (Figura 2), que se estende da Praia da Redinha até o estuário do rio Pirangi, apresenta uma faixa contínua de planície marinha desde a Fortaleza dos Reis Magos até a Praia de Miami, passando pelas praias do Meio, dos Artistas e demais setores urbanos da zona leste de Natal. Paralelamente a todo o trecho da Avenida Senador Dinarte Medeiros Mariz (Via Costeira) emergem os tabuleiros costeiros, com a presença de dunas a oeste, na localidade do Parque das Dunas.

Na praia de Ponta Negra, ocorrem os tabuleiros costeiros que são seguidos por campos dunares contínuos que se prolongam até o distrito de Pium. Na Praia de Cotovelo, destaca-se a planície marinha, seguida por tabuleiros costeiros entre a Praia de Cotovelo e Pirangi do Norte. Neste trecho a planície marinha só é interrompida pelo estuário do rio Pirangi, cuja foz exhibe feições típicas de leques aluviais.

O **Setor B** estende-se da Praia de Pirangi do Sul até a Praia de Pipa. Esse trecho inicia-se com a planície marinha que se prolonga até a Praia de Tabatinga. Em seguida, intercalam-se os compartimentos dunas e tabuleiros costeiros. A planície marinha reaparece de forma contínua até a localidade de Cururu em Nísia Floresta, sendo novamente interrompida pelos campos dunares de Malembá. Na sequência, aparece a planície fluviomarinha associada à Lagoa de Guaraíras, seguida pelo estuário correspondente. No município de Tibau do Sul, desde a Praia do Giz até a Praia de Pipa, verifica-se uma alternância entre tabuleiros costeiros e dunas, com domínio progressivo das formas dunares em direção ao sul.

O **Setor C** compreende o trecho da Praia das Minas até a Praia de Sagi. A partir da Praia das Minas, passando pela Praia de Sibaúma e pelo estuário do rio Catu até Barra de Cunhaú, observa-se a planície fluviomarinha, interrompida pelos estuários dos rios Catu e Curimataú (este mais extenso). Na Praia da Cacimba, em Baía Formosa, predominam tabuleiros costeiros intercalados com campos dunares. Da Praia da Bacopari até Sagi, as unidades alternam entre dunas e planície marinha, com predomínio das dunas. Na localidade de Sagi, a planície fluviomarinha reaparece, marcando o limite sul da área estudada.



Figura 2 - Compartimentação Geomorfológica da Orla Marítima Terrestre Frontal do Litoral Oriental do Rio Grande do Norte (Natal a Baía Formosa).



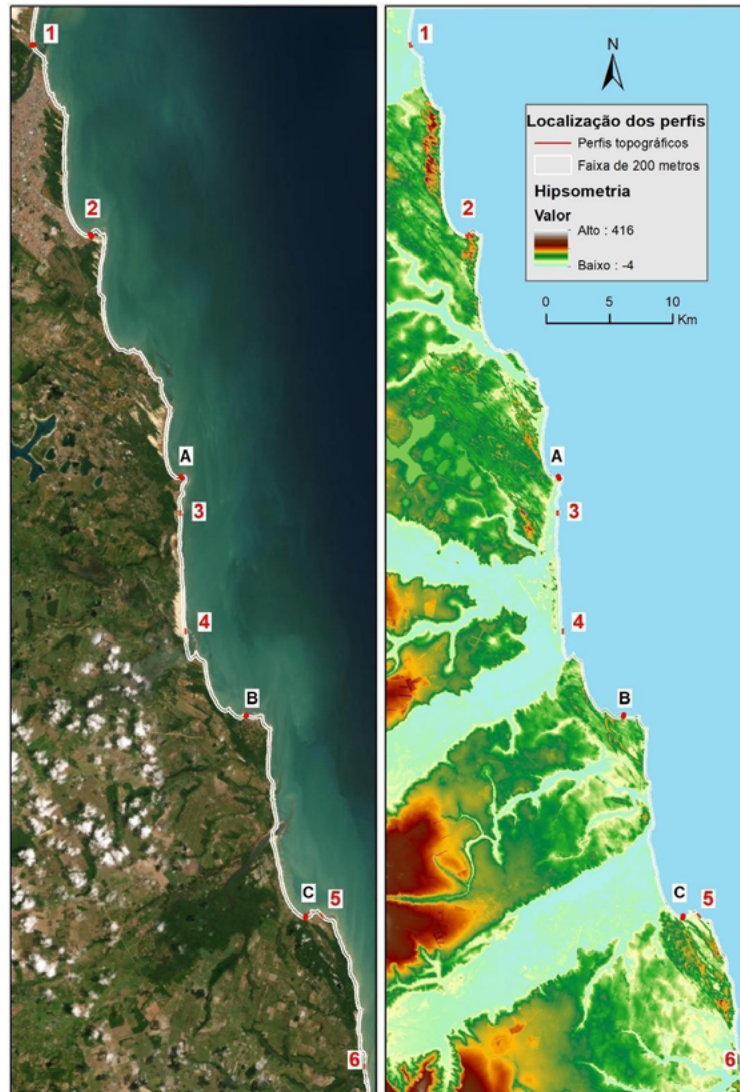
Fonte: Autores.

Perfis geomorfológicos

Foram produzidos seis perfis principais (1 a 6) para representar as variações morfológicas do terreno nas praias da Redinha, Ponta Negra, Camurupim, Malembá, Baía Formosa e Sagi. Além disso, três trechos específicos de falésias (A, B e C) foram analisados nas praias de Baía Formosa, Pipa e Tabatinga. A localização dos pontos amostrais estão presentes na Figura 3.



Figura 3 - Localização das amostragens para elaboração dos Perfis Topográficos e dos Modelos Digitais de Elevação.



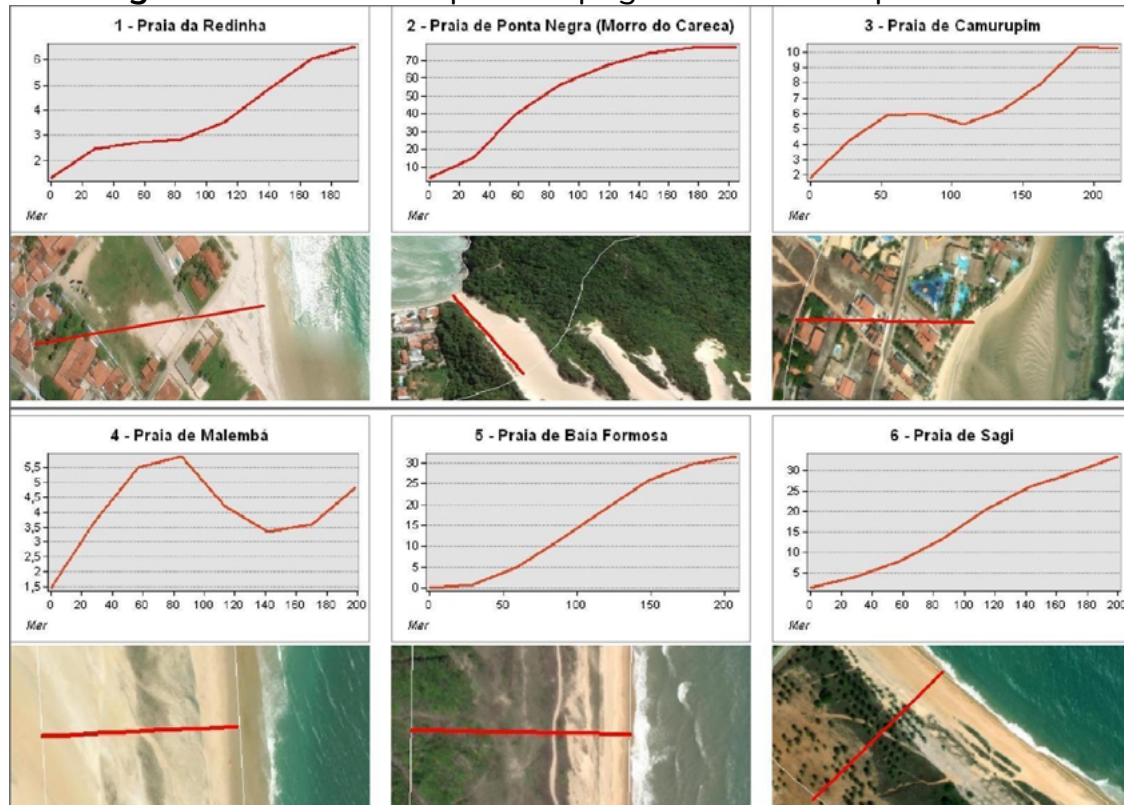
Fonte: Autores.

Na Praia da Redinha (Figura 4, Gráfico 1), o perfil apresenta rampa suave nos primeiros 20 metros, correspondente à zona de estirâncio com a presença de uma berma. Em seguida, observa-se uma elevação mais acentuada associada ao compartimento de dunas. A imagem de satélite mostra uma faixa arenosa plana próxima à linha d'água, seguida pela elevação do terreno com presença de vegetação sobre as dunas.

Na Praia de Ponta Negra, na área do Morro do Careca (Gráfico 2), o perfil mostra elevação baixa até cerca de 20–30 metros correspondente a zona de estirâncio, seguida por uma subida íngreme e constante que ultrapassa os 70 metros, alcançando a maior cota dentre os perfis analisados. A imagem de satélite evidencia o Morro do Careca como uma duna alta e proeminente, justificando a inclinação observada.



Figura 4 - Mosaico de perfis topográficos em seis praias distintas.



Fonte: Autores.

Na Praia de Camurupim (Gráfico 3), o perfil revela uma elevação inicial na zona de estirâncio, com destaque para uma berma, seguida por um trecho plano associado à planície marinha. A imagem de satélite (inferior direita) evidencia uma ampla faixa de areia adjacente à linha de costa e, mais ao interior, áreas antropizadas (construções) e vegetação, justificando as variações altimétricas registradas.

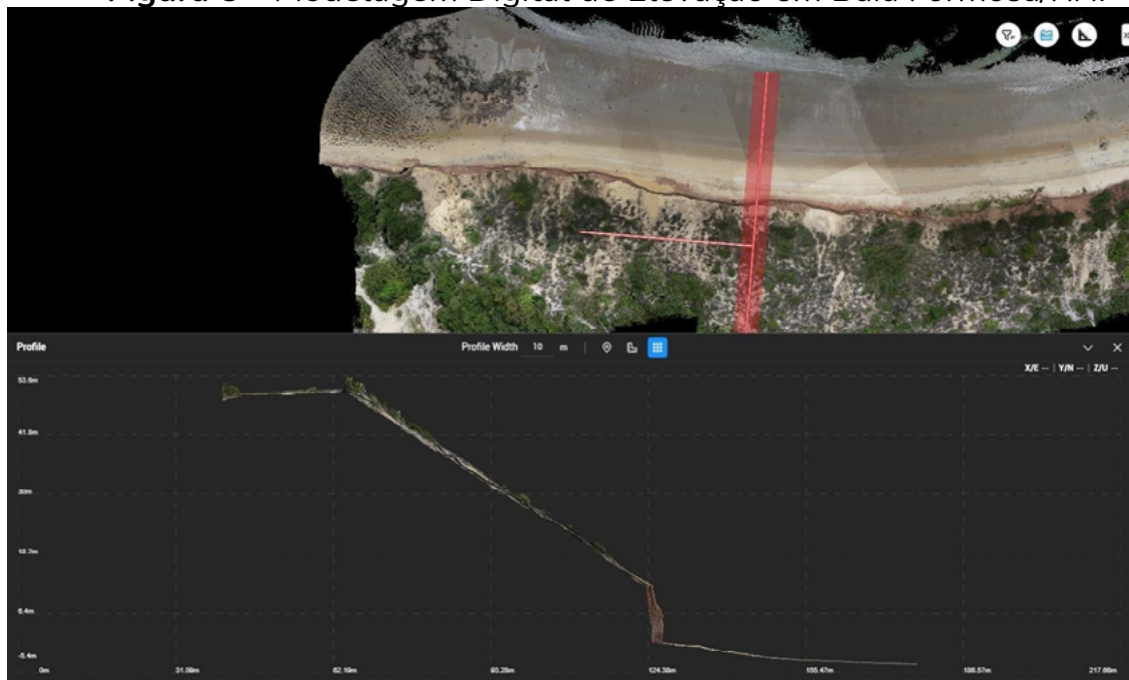
Na Praia de Malembá (Gráfico 4), o perfil inicia com elevação relativamente baixa, seguida por uma subida gradual até sete metros, associada à presença de dunas. Após uma queda acentuada, há nova elevação de mesmo padrão, refletindo a alternância entre planícies marinhas e conjuntos dunares. A imagem de satélite (inferior esquerda) confirma a presença de um campo de dunas ao longo do trecho analisado.

Na Praia de Baía Formosa (Gráfico 5), observa-se um trecho inicial relativamente plano, correspondente à zona de estirâncio, seguido por uma inclinação contínua e acentuada, indicando a transição para os tabuleiros costeiros. Na Praia de Sagi (Gráfico 6), o perfil apresenta uma elevação inicial suave, sucedida por uma inclinação contínua e acentuada ao longo de todo o trecho, refletindo a presença de um compartimento de dunas bem desenvolvido. A imagem de satélite mostra a transição da faixa de areia para áreas com vegetação e feições dunares.



O perfil apresentado na Figura 5 refere-se a uma falésia em Baía Formosa. A elevação inicia-se na faixa de areia e linha de costa (entre os 160–124 m), onde ocorre uma elevação abrupta marcando o início da escarpa. Entre os 124 e 64 metros do perfil, observa-se uma subida gradual e contínua, que culmina no platô superior, acima de 50 metros de altitude. Essa configuração evidencia uma falésia bem definida, com transição progressiva para uma feição elevada e vegetada. A seção final (60–30 m) estabiliza-se em um terreno plano e elevado.

Figura 5 - Modelagem Digital de Elevação em Baía Formosa/RN.



Fonte: Autores.

Na Praia de Pipa, o perfil da Figura 6 inicia-se em uma superfície de baixa elevação (entre 100 e 70 m da extensão do perfil), correspondente à base da falésia e à zona de praia. Entre 70 e 60 metros, ocorre uma transição abrupta com declive acentuado e quase vertical, caracterizando uma escarpa de falésia íngreme. A cota se eleva até um platô superior, situado acima de 20 metros. A seção final (60–0 m) apresenta um terreno relativamente plano, com variações altimétricas discretas atribuídas à vegetação rasteira ou irregularidades do relevo. Essa configuração define uma falésia ativa, com transição nítida entre base e topo. O platô indica estabilidade geomorfológica, embora as intervenções antrópicas (evidenciadas em imagens de satélite), a integridade estrutural da base e a susceptibilidade à deslizamentos demandem atenção.



Figura 6 - Modelagem Digital de Elevação na Praia de Pipa/RN.

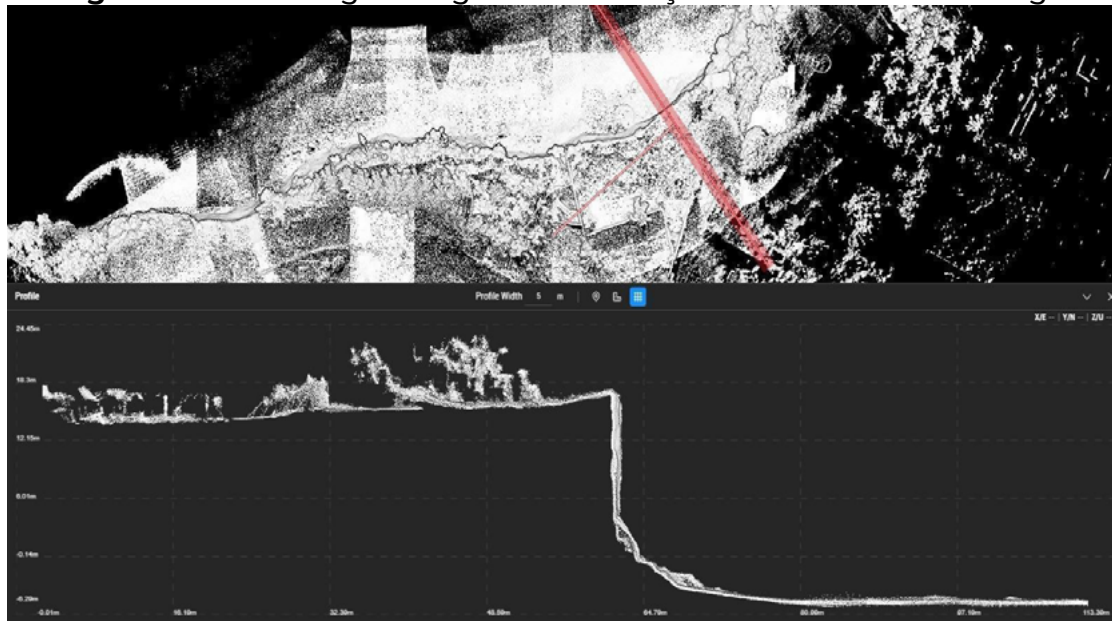


Fonte: Autores.

A Figura 7 apresenta o perfil da falésia da Praia de Tabatinga, o qual evidencia a transição abrupta entre a planície litorânea e uma escarpa pronunciada, sendo esta a mais íngreme entre as analisadas. O topo da escarpa abriga vegetação densa e diversas edificações, caracterizando um ambiente urbano ou semiurbano. O perfil altimétrico inicia-se em cotas reduzidas (100–60 m), com elevação inicial suave, na base da falésia. Seguida por incremento progressivamente mais acentuado. A principal subida (40–60 m) apresenta declive contínuo e forte, alcançando altitudes superiores a 20 metros, com vegetação robusta ao longo da encosta. A porção superior (0–40 m) é composta por um platô elevado com ondulações moderadas, atribuídas à presença de construções e cobertura vegetal. A interação entre morfologia costeira e ocupação antrópica é evidente, destacando a necessidade de avaliação da estabilidade da falésia e de estratégias adequadas de manejo.



Figura 7 - Modelagem Digital de Elevação na Praia de Tabatinga/RN.



Fonte: Autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compartimentação geomorfológica da orla leste potiguar, aqui realizada não se limita a um exercício cartográfico nem a um arranjo classificatório de formas. Trata-se de uma leitura integrada das interações morfodinâmicas e estruturais que operam no litoral oriental do Rio Grande do Norte, revelando simultaneamente a herança geológica e a atualidade dos processos costeiros.

O estudo permitiu a espacialização precisa desses compartimentos ao longo da costa, evidenciando a diversidade de formas e dinâmicas mesmo entre unidades tradicionalmente consideradas homogêneas. A análise em escala de detalhe revelou que feições inseridas em uma mesma categoria podem apresentar variações significativas em sua morfologia, refletindo níveis distintos de sensibilidade e de resposta aos *inputs*.

As unidades identificadas: dunas, tabuleiros costeiros, planícies marinhas e fluviomarinhas, estuários e falésias, compõem um mosaico funcional que, em cada segmento analisado, expressa uma síntese entre os legados quaternários, os fluxos sedimentares contemporâneos e as pressões humanas em intensificação. Feições como as baías em forma de *zeta*, com concavidades voltadas para o sul, constituem respostas morfológicas altamente sensíveis à ação combinada de ventos alísios, correntes litorâneas e estruturas geológicas.

Nesse contexto, a paisagem costeira assume os contornos de um palimpsesto morfogenético, no qual processos pretéritos e atuais se sobrepõem e dialogam. As falé-



sias expressam o confronto entre mar e continente; os tabuleiros sedimentares, suspensos sobre a linha de costa, sinalizam o recuo histórico e os riscos associados à instabilidade litorânea; já as dunas funcionam como membranas móveis, que acumulam ou redistribuem sedimentos conforme o balanço entre transporte e fixação.

Com o apoio de ferramentas como o sensoriamento remoto, a modelagem digital do terreno e a análise morfométrica em escala de detalhe, esta pesquisa ultrapassa a descrição morfológica e aponta zonas de tensão, onde o descompasso entre processos naturais e usos antrópicos se expressa por meio de erosões regressivas, instabilidade de escarpas e comprometimento da resiliência ambiental. Cada compartimento geomorfológico comporta um grau específico de sensibilidade, e é a partir dessa leitura qualificada que se torna possível definir os usos mais adequados e identificar áreas de risco.

Portanto, a gestão costeira, especialmente na área em estudo, não pode prescindir de um planejamento sensível às dinâmicas naturais. É essencial que os usos propostos para cada setor do litoral estejam em consonância com o comportamento morfodinâmico dos ambientes, respeitando suas características composicionais e seu grau de vulnerabilidade. O litoral oriental potiguar, longe de constituir uma margem estática, deve ser compreendido como uma fronteira viva, instável e complexa, cuja proteção dependerá da capacidade de articular ocupação humana, preservação ambiental e os ritmos naturais que conferem identidade e equilíbrio à paisagem litorânea.

REFERÊNCIAS

AULA; FONTES, A. Estuários e planícies de maré META. [S.l: s.n.]. Disponível em: https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/15492216022012Geomofologia_Costeira_6.pdf.

BIRD, E.C.F. (2008) Coastal Geomorphology: An Introduction. 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York.

BRASIL. Decreto nº 5.300, de 7 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 8 dez. 2004. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5300.htm. Acesso em: [data de acesso].

CPRM. Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Norte. Org.: Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff e Fernanda Soares de Miranda Torres. Rio de Janeiro: CPRM, 2010.

CROSSLAND, Christopher J. et al. (org.). *Coastal fluxes in the Anthropocene: the Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone Project of the International Geosphere-Biosphere Programme*. Ilustr. Heidelberg: Springer Science & Business Media, 2005. (Global Change – The IGBP Series). ISBN 9783540254508.



- DINIZ, R. F. Erosão costeira e o desenvolvimento de costa com baías em forma de zeta no litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 50., 1998, Natal-RN. Resumos. Natal-RN: [s.n.], 1998. p. 1041.
- FLORENZANO, T. G. Introdução à Geomorfologia. In: (Org.). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- FRENCH, JON. (2010). R. DAVIDSON-ARNOTT 2009. Introduction to Coastal Processes and Geomorphology. xiv + 442 pp. Geological Magazine - GEOL MAG. 147. 10.1017/S0016756810000658.
- GOMES, J. R. de C. et al. Geologia. In: Projeto RADAM-Brasil. IBGE, 1981.
- GUEDES, D. R. da C. Planície flúvio-marinha do Rio Grande do Norte: uma abordagem geossistêmica. Revista de Geociências do Nordeste, [S.l.], v. 2, p. 821-831, 2016. DOI: 10.21680/2447-3359.2016v2n0ID10530. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregnae/article/view/10530>. Acesso em: 3 abr. 2025.
- GUERRA, A. J. T. Dicionário Geológico-Geomorfológico. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE/CNG, 1966. p. 139.
- GUERRA, Antonio Teixeira; GUERRA, Antonio José Teixeira. Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. 648p.
- HALLIGAN, G. H. Sand movement on the New South Wales coast. In: Proceedings of the Linnean Society of New South Wales, p. 619-640, 1906.
- HESP, P. A. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. Geomorphology, v. 48, p. 245-268, 2002.
- IBGE (2009) Manual Técnico de Geomorfologia. Segunda edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182p. (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 5)
- JARDIM, J. P. M. Aplicação do checklist de vulnerabilidade para a classificação das dunas frontais do município de Capão da Canoa, Litoral Norte do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 2010. Trabalho de Graduação (Geografia) – Instituto de Geociências.
- MUEHE, D. Erosão e progradação do litoral brasileiro. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.
- MIRANDA, Luiz Bruner de; CASTRO FILHO, Belmiro Mendes de; KJERFVE, Bjorn. Princípios de oceanografia física de estuários. São Paulo: Edusp, 2002. Acesso em: 04 abr. 2025.
- PYE, K. AND TSOAR, H. (1990). Aeolian Sand and Sand Dunes. Unwin Hyman, London.
- PRATES, M.; GATTO, L. C. S.; COSTA, M. I. P. Geomorfologia. In: Projeto RADAM-Brasil. IBGE, 1981.
- ROSSETTI, Dilce de Fátima. Ambientes costeiros. In: FLORENZANO, T. G. (org.). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- SILVA, Elisângela Alves de Jesus. As dunas eólicas de Natal/RN: datação e evolução. 2002. 127 f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica; Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.



SOUSA AGUIAR, L. de, & Cestaro, L. A. (2012). CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE GEOAMBIENTAL LITORÂNEO-EÓLICA DE SENADOR GEORGINO AVELINO/RN. *REVISTA GEONORTE*, 3(6), 703–714. Recuperado de

[//periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1981](http://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1981)

SUGUIO, Kenitiro. Geologia sedimentar do Quaternário e mudanças ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

SUGUIO, Kenitiro. Rochas sedimentares: propriedades, gênese, importância econômica. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

WANG P, BECK TM. Beach–Inlet Interaction and Sediment Management. In: *Beach-Inlet Interaction and Sediment Management*. Cambridge University Press; 2022:i-ii.



AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA CASSIE PARA DETECÇÃO DA DINÂMICA DA LINHA DE COSTA EM PRAIA INTERMEDIÁRIA DE MICROMARÉ: EXEMPLO DO LITORAL LESTE DO RJ

Leonardo Quintanilha de Castro ¹⁵

Thaís Baptista da Rocha ¹⁶

Guilherme Borges Fernandez ¹⁷

PALAVRAS-CHAVE: Linha de costa; Landsat; Erosão Costeira, Praias Arenosas.

RESUMO

A partir da criação do Google Earth Engine houve uma grande evolução no conjunto de técnicas disponíveis para o mapeamento da dinâmica da linha de costa, propiciando o desenvolvimento de ferramentas que fazem uso de imagens públicas de satélites para a identificação da linha de costa de forma automatizada. Nesse sentido, o presente estudo busca uma avaliação da ferramenta CASSIE para a detecção da dinâmica da linha de costa na praia da Massambaba com imagens Landsat (1985-2023), levando em conta a morfodinâmica praias e a amplitude de maré. A praia da Massambaba conta com uma morfodinâmica intermediária, que a oeste se mostra mais voltada ao espectro refletivo e em direção a leste se torna mais dissipativo, com áreas que apresentam dinamismo em seu pós-praia devido à leques de transposição e dinâmica de dunas frontais. Ainda assim, os resultados indicaram um comportamento decadal da linha de costa com predomínio da classe de “estabilidade” com taxas variando entre -0,5 m/ano à + 0,5 m/ano, onde 62% dos transectos apresentaram valores de regressão linear negativos (média de -0,15 m/ano, chegando à -0,24 m/ano no setor leste). Especificamente o setor leste do arco apresentou taxas predominantemente negativas, indicando uma discreta tendência de redução da largura da praia entre os anos 2016-2023, provavelmente em função dos processos de transposição por ação de ondas de tempestade. Ainda que se trate de um litoral de micro-maré, o efeito da maré mostrou ser importante de se considerar no processo de detecção automática da linha de costa uma vez que, no cenário sem supervisão de maré, foi observado que as taxas negativas foram superestimadas, alterando a classe de estabilidade para erosão, como observado no setor leste da praia da Massambaba. Neste setor, as taxas negativas de regressão linear (LRR) ficaram superestimadas em até 52%; enquanto que na Massambaba Oeste, as taxas positivas de LRR foram subestimadas em até 22% quando comparado ao cenário com pré-seleção de maré.

¹⁵ Mestre pelo Curso de Geografia da Universidade Federal - UFF, leonardoquintanilha@id.uff.br;

¹⁶ Doutora do Curso de Geografia da Universidade Federal - UFF, thaisbaptista@id.uff.br;

¹⁷ Doutor do Curso de Geografia da Universidade Federal - UFF, guilhermefernandez@id.uff.br;



INTRODUÇÃO

O mapeamento da linha de costa depende de fatores como: materiais disponíveis; escala temporal de análise; métodos de extração da linha de costa; bem como a escolha do indicador de linha de costa (Boak and Turner, 2005). Com o avanço das técnicas de sensoriamento remoto, a análise multitemporal através de imagens de satélite e fotografias aéreas tem sido um dos principais métodos de detecção de linha de costa, havendo uma intensificação de trabalhos sobre a erosão costeira e gerando intensos debates e investigações no meio acadêmico sobre os parâmetros e mecanismos responsáveis pela erosão, assim como medidas para a prevenção e controle das áreas afetadas, as quais impactam diretamente na vida da população, já que seus efeitos se dão principalmente em residências costeiras, atividades ligadas ao turismo e lazer, e, atividades portuárias (Rocha e Fernandez, 2020).

O desenvolvimento do Google Earth Engine (GEE) passou a possibilitar novas formas de análises de detecção de mudanças geoespaciais da paisagem ao longo do tempo, a partir de um catálogo de séries temporais de imagens de satélite para análise em nuvem (Golerick et al., 2017). Especificamente para o caso da detecção das mudanças da linha de costa, destaca-se o trabalho pioneiro apresentado por Luijendijk et al. (2018), onde foi feito um esforço na compilação de imagens de satélites Landsat disponíveis no catálogo do GEE, para identificar as taxas de comportamento da linha de costa em escala global e projeções futuras frente aos cenários do aumento do nível do mar previstos para este século (Vousdoukas et al., 2020).

Desde a popularização do GEE, uma série de algoritmos consolidados em metodologias e plataformas para extração da linha de costa derivada por satélite (*Satellite Derived Shorelines* – SDS) foram desenvolvidos, como o Aquamonitor Shoreline, o CoastSat, o Shorex, o HighTide-SDS, e o CASSIE (Vos et al. 2023). Esses algoritmos podem diferir em termos de processamento de imagens, como a utilização de resolução em pixel ou subpixel; e com relação a utilização de imagens compostas ou de mapeamento instantâneo da linha de costa. No primeiro caso, o efeito da maré tende a ser minimizado ao excluir as maiores alterações no processo de composição de imagens anuais; enquanto no segundo caso, o efeito da maré pode ser minimizado no ato da escolha das imagens cujas datas possuem alturas de maré próximas (Vos et al. 2023). Especificamente no Coastal Analysis via Satellite Imagery Engine (CASSIE), o usuário pode definir a série temporal das imagens de satélite, sendo elas Landsat e Sentinel, assim como a região de interesse. O algoritmo utiliza o índice NDWI (*normalized difference water index*), com precisão de subpixel (Almeida et al. 2021).

No estado do Rio de Janeiro, trabalhos voltados para o mapeamento da dinâmica



da linha de costa concentram-se especificamente em pontos onde há processos de erosão costeira, sendo estes *hotspots* o delta do rio Paraíba do Sul, no distrito de Atafona; e na praia da Tartaruga, em Rio das Ostras, como mostram os trabalhos de Rocha et al. (2018), Muehe et al. (2011) e Machado et al. (2024). Em outras praias no estado do Rio de Janeiro, os estudos sobre linha de costa avaliam o impacto causado por ondas de alta energia decorrente de tempestades. Normalmente essas praias possuem alta exposição às ondas, como no caso do compartimento do litoral fluminense denominado Região dos Lagos (Muehe e Valentini, 1998), caracterizado pela orientação da linha de costa Oeste-Leste e pela ausência de promontórios e ilhas que gerem processos de difração.

Neste compartimento, destaca-se a praia da Massambaba, com cerca de 45km de extensão, abarcando também toponímias de praias como da Figueira, Seca e Monte Alto (ver localização na figura 3). Em função da alternância da energia de ondas (ondas de tempo bom x ondas de tempestade) e da distribuição granulométrica no sistema praia-antepraia (com tendência da diminuição do grão no sentido leste), a morfodinâmica é caracterizada como intermediária, variando entre Terraço de Baixa-Mar (à oeste) e Banco e Praia Rítmicos (mais à leste) (Fernandez et al., 2020). As maiores alturas de ondas (>1,5m) são provenientes dos quadrantes Sul-Sudeste e Sul-Sudoeste. O regime é caracterizado como de micromaré, com sizígias de até 1,5m e quadraturas de 0,7m (Klumb-Oliveira, 2015). Diante do mencionado, o presente estudo busca avaliar a ferramenta CASSIE para a detecção da dinâmica da linha de costa na praia da Massambaba com imagens Landsat (1985-2023), levando em conta a morfodinâmica praial e a amplitude de maré.

METODOLOGIA

a. Estimativa da influência da variação da maré no mapeamento da linha de costa

Para identificar o quanto a maré poderia influenciar no posicionamento horizontal da linha de costa na área de estudo, foi realizada uma coleta de dados em campo a partir de perfis bidimensionais transversais a linha de costa, com o intuito de avaliar como as variações verticais da maré, em sua amplitude máxima (sizígia), podem alterar o posicionamento horizontal do recuo máximo das ondas. Esses perfis topográficos bidimensionais foram realizados com Estação Total, e posteriormente foram corrigidos pela previsão horária da maré, conforme a metodologia de Muehe et al. (2003). Os dados foram coletados nos dias 01 e 02 de agosto de 2023 no setor central da área de estudo, no perfil Centro-Oeste da rede de monitoramento de perfis de praia do acervo do Laboratório de Geografia Física / LAGEF-UFF (ver localização na figura 3)



b. *Pré-seleção de imagens Landsat para minimização da influência da maré para extração da linha de costa*

Foi realizada a previsão da maré desde 1984 até 2023 fazendo uso do software Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental (SisBaHiA), no Módulo de Previsão de Marés (Rosman, 2000), para que assim fosse possível selecionar apenas as imagens em maré de quadratura, evitando a maximização da influência da variação na linha d'água em condições de maré de sizígia. Os dados foram gerados em intervalos de 12 em 12 horas para os 39 anos de análise, gerando aproximadamente 60 mil posições de maré ao longo do recorte temporal. Os resultados então foram filtrados para uma amplitude entre 0,48 m a 0,88 m, para que pudesse evitar os máximos e mínimos das marés de sizígia, sendo o Nível Médio do Mar para a localidade de Arraial do Cabo 0,67m.

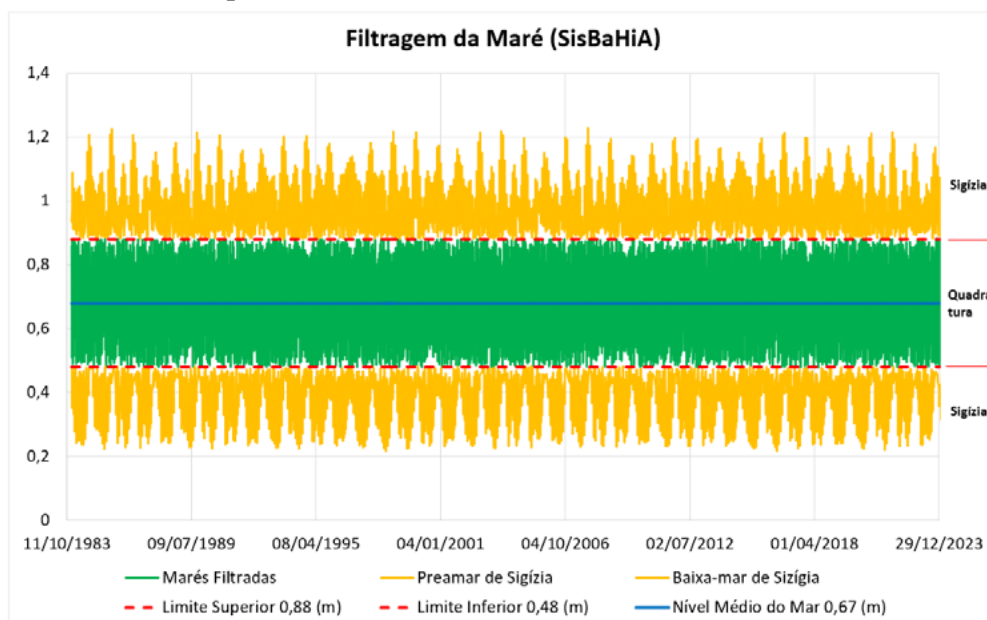


Figura 1 - Gráfico demonstrando a amplitude da maré filtrada dentre as geradas pelo Software SisBaHiA para as imagens disponíveis no período de análise.

c. *Deteção automática da linha de costa na Plataforma CASSIE para a praia da Massambaba*

Após a seleção da região de interesse, foram gerados dois cenários de detecção de linha de costa: (1) recorte temporal considerando a pré-seleção das marés de quadratura com auxílio do SisBahia e cobertura de nuvens, onde foram selecionadas um total de 136 imagens; (2) recorte temporal apenas considerando a cobertura de nuvens, onde foram selecionadas um total de 219 imagens.

Para ambos os cenários foi gerada a linha base, para na sequência serem configurados os parâmetros de análise, os quais são: os espaçamentos dos transectos perpendicu-



lares à linha base, a extensão dos transectos e o coeficiente de limiarização do algoritmo que considera o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI). Foram geradas as taxas de regressão linear, gerando o dado a variação em metros por ano, para todos os pontos da linha de costa em todos os transectos. Os resultados obtidos na ferramenta foram salvos e exportados em shapefile para um ambiente sistemas de informações geográficas (SIG), no caso o software ArcGis 10.4, onde o comportamento da linha de costa foi classificado em: acreção ($> 0,5$ m/ano); estabilidade ($0,5$ m/ano à $-0,5$ m/ano); e erosão ($< -0,5$ m/ano).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

a. Impacto da maré na estimativa da linha de costa in loco

Na figura 2A é ilustrada a influência em metros da maré de sizígia nos recuos máximos aferidos em campo para os perfis bidimensionais realizados nos dias 01 e 02 de agosto de 2023. A diferença entre a preamar e a baixa-mar foi de cerca de 52,5 metros no perfil centro oeste. Esse alcance da amplitude da linha d'água reflete também a declividade da face de praia, em torno de $5,1^\circ$.

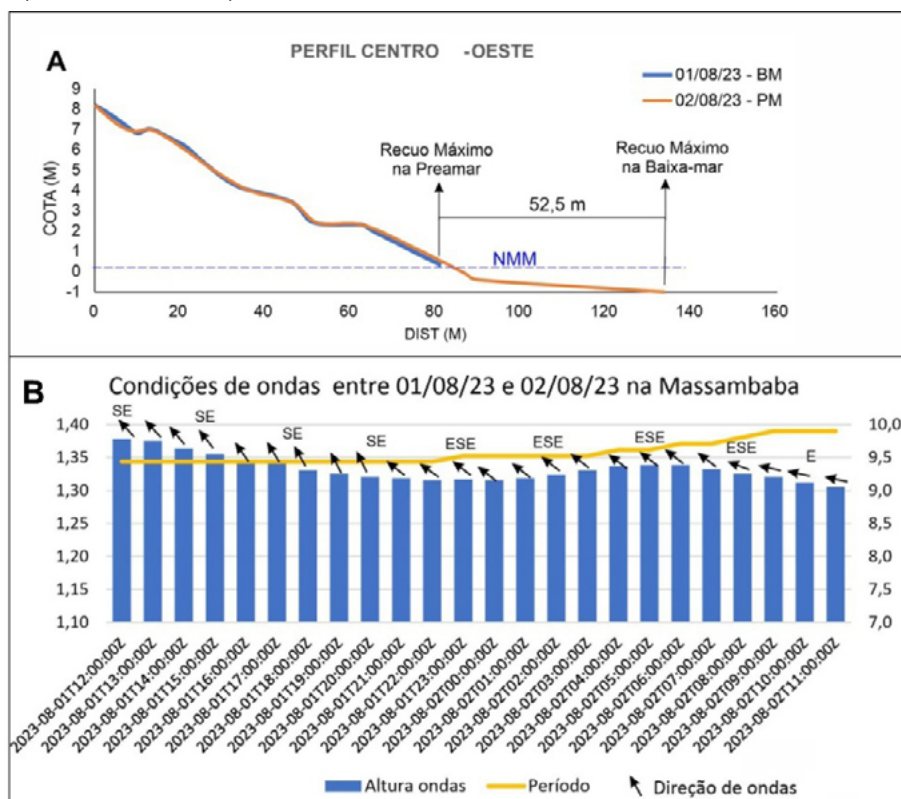


Figura 2: (A) Diferença no Alcance Máximo e Recuo Máximo para o perfil Centro-Oeste entre as Marés de Preamar e Baixa-Mar de Sizígia nos dias 01/08 e 02/08 de 2023. (B) Condições oceanográficas para a praia da Massambaba entre os dias 01/08 e 02/08 de 2023 (Fonte: WaveWatch3 – WW3)



Tais valores foram obtidos em condições oceanográficas com ondas de tempo bom, conforme demonstra a figura 2 B. De acordo com os dados de reanálise do modelo WW3, as ondas possuíam alturas médias de 1,3 metros e período de pico entre 9,5 à 10 segundos, com direções de SE e ESE no momento de coleta dos dados bidimensionais. Em condições de ondas de tempestade esta diferença do contato da linha d'água tenderia a ser maior, o que pode impactar o resultado de detecção de linha de costa em imagens sem supervisão prévia de maré e condições de ondas.

b. Comportamento decadal da linha de costa na praia da Massambaba

Os dados apresentados na figura 3 demonstram, em sua maioria, uma grande estabilidade para todo o arco praial, com um pequeno trecho de acreção no extremo oeste, provavelmente em função do efeito de difração das ondas devido à ocorrência de pequenos afloramentos rochosos, reduzindo a energia das ondas nesta área. Quando se observam os dados referentes aos valores de regressão linear para os transectos que compõem o arco praial, a classe de estabilidade é principalmente representada por valores negativos em cerca de 62% dos transectos, com valor médio de -0,15 m/ano. No setor leste a taxa de recuo de linha de costa é um pouco maior, em torno de -0,24 m/ano, podendo chegar à -0,5 m/ano (Figura 4).

Através da ferramenta CASSIE foram gerados gráficos de regressão linear para a localização dos perfis de monitoramento, os quais podem ser vistos na figura 5. O perfil oeste do arco praial apresenta uma regressão linear de 0,13m/ano, estando dentro da faixa de classificação estável. O perfil centro-oeste apresenta uma taxa de -0,18m/ano; o centro-leste de -0,13 m/ano; e o leste de -0,21 m/ano. Apesar da classe de estabilidade identificada, os gráficos demonstram expressiva variabilidade da linha de costa, em média podendo chegar à 80m, o que provavelmente expressa alterações nos perfis praias decorrentes de ondas de tempo bom e dos impactos de ondas de tempestade. Especificamente no perfil leste, o gráfico mostra um processo mais lento de recuperação das praias e maior recuo da linha de costa, entre 2016 e 2023.

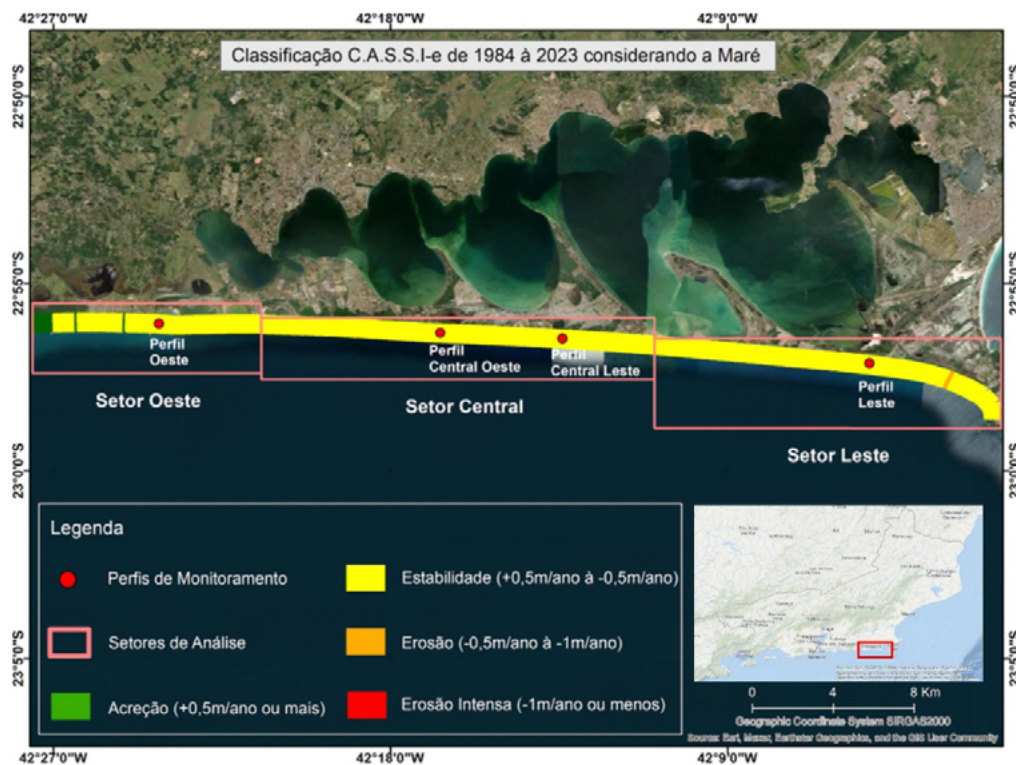


Figura 3 – Classificação da linha de costa gerada no CASSIE, entre 1985 e 2023, com filtragem de maré. Destaca-se também a localização dos pontos de monitoramento de perfis de praia do acervo do Laboratório de Geografia Física (LAGEF-UFF).

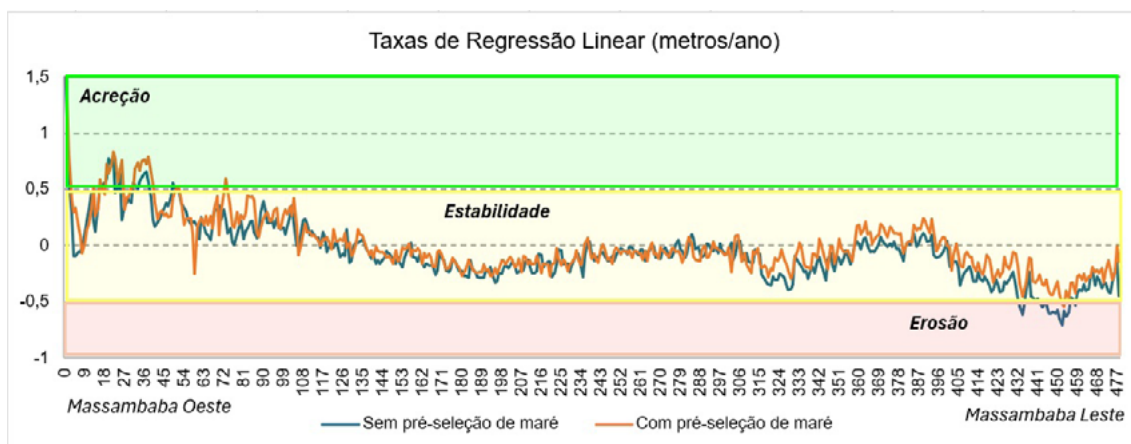


Figura 4 - Taxas de regressão linear (LRR) do comportamento da linha de costa com filtragem da maré para cada transecto.

Já considerando o cenário sem supervisão de maré, as taxas de LRR ficaram ligeiramente menores quando não se minimizou o efeito da variação maregráfica (Figura 4), o que levou a uma maior ocorrência de transectos na classe erosão costeira, sobretudo no setor leste da Massambaba, superestimando o processo de recuo da linha de costa. A figura 4 também demonstra que a diferença entre os cenários tende a ser maior à me-



dida que as taxas positivas são maiores e as negativas são menores. Isso sugere que a influência do efeito da maré tende a ser menor para as taxas mais próximas a zero (estabilidade) e maior para as taxas na direção das classes de acreção e erosão. Na Massambaba Leste, as taxas negativas de LRR ficaram superestimadas em até 52%; na Massambaba Oeste, as taxas positivas de LRR foram subestimadas em até 22%; enquanto que na Massambaba Central, as taxas de LRR apresentaram diferenças de 16% comparado ao cenário com pré-seleção de maré.

Especificamente no setor oeste, alguns transectos (entre o 54 e o 90) mostraram maior discrepância na comparação entre as taxas para os dois cenários, o que provavelmente pode estar relacionado à ocorrência de terraços de baixa-mar. Essa feição tende a ficar emersa na baixa-mar e submersa na preamar, e pode acabar sendo detectado como linha de costa durante o processamento automático na imagem de satélite.

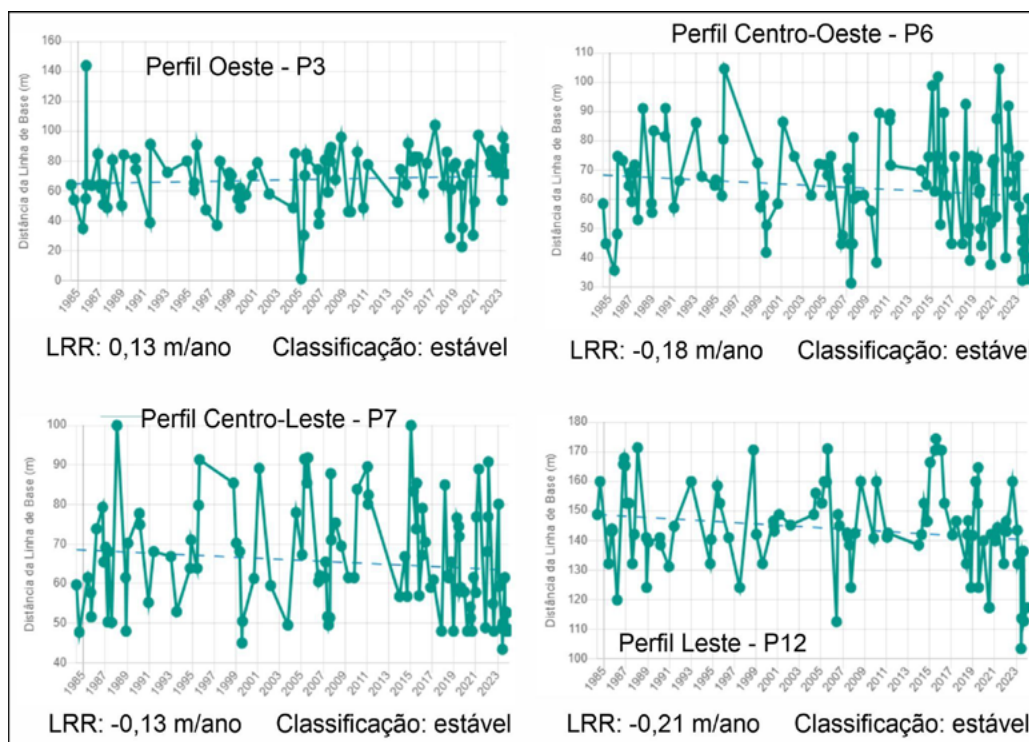


Figura 5 - Gráficos da Regressão Linear obtidos pela ferramenta C.A.S.S.I-e para os perfis de monitoramento Oeste, Centro-Oeste, Centro-Leste e Leste.

c. Discussões

Considerando que este litoral é francamente exposto às ondas do quadrante sul e, portanto, mais vulnerável aos impactos de ondas de tempestade, Muehe (2011) já havia



apontado divergências na interpretação do comportamento da linha de costa em trabalhos que avaliaram algumas praias do litoral leste do RJ, entre os municípios de Niterói e Arraial do Cabo.

Após o evento de tempestade de 2001, Lins-de-Barros (2005) e Silva et al. (2008) apontaram indícios de retrogradação em praias do compartimento Região do Lagos. Especificamente no setor leste da Praia da Massambaba, Muehe (2011), através de monitoramento de perfis no sistema praia-duna, também identificou um recuo expressivo da crista da duna frontal também após a passagem do evento de tempestade de 2001 e, pelo menos até o ano de 2010, ela ainda não havia recuperado o seu posicionamento pré-evento de tempestade. Contudo, ao considerar o volume e a largura da praia entre 1998 e 2010, o mesmo autor, observou que não havia um comportamento de recuo da linha de costa de forma contínua, mas sim estabilidade, pelo menos ao longo de uma década de monitoramento. O monitoramento mostrou variações alternando períodos de erosão e acreção, decorrentes da variabilidade de energia de ondas que costumam caracterizar estágios morfodinâmicos intermediários e, também, decorrente dos impactos de tempestade que atingem o litoral leste do RJ.

No monitoramento de perfis de praia na Praia da Massambaba realizados entre 2012 e 2020, Fernandez et al. (2020) também não identificaram comportamento de recuo ou acreção da linha de costa. Juntamente com imagens PlanetScope, foi observado que a variabilidade da praia era resultado da erosão e recuperação da berma associado às ondas de tempestade e à movimentação de bancos transversais, terraços de baixa-mar e cúspides (Maluf et al. 2016).

Ainda assim, as taxas de LRR observadas especificamente no setor leste se aproximaram do limite da classe de erosão (-0,5 m/ano), indicando sobretudo uma discreta redução da largura da praia, entre 2016-2023. Este comportamento pode estar associado à maior ocorrência do processo de transposição da ação das ondas nesta área (figura 6), que levam os sedimentos em direção à retrobarreira e, posteriormente, os ventos de NE transportam em direção às dunas frontais (Fernandez e Muehe, 2004; Moulton et al. 2013; Figueiredo et al. 2018). Esse processo pode gerar episódicos déficits de sedimentos para as praias, embora não haja indicativos de retrogradação da barreira costeira. Segundo Martins (2017), esse processo é facilitado pela menor altura (<3,0m) da barreira na Massambaba Leste em comparação com as outras áreas, onde ondas de tempestade superiores a 1,6 metros e períodos superiores a 10 segundos podem promover o processo de sobrelavagem na área.



Figura 6: Evento de tempestade na Massambaba Leste em 2016 (Acervo: LA-GEF). Notar o processo de sobrelavagem das ondas em direção ao reverso do cordão arenoso.

Especificamente com relação à avaliação da ferramenta CASSIE, a possibilidade de pré-selecionar imagens com marés próximas a fim de minimizar erro horizontal é vantajoso, visto que mesmo em condições de micromaré o processo de erosão costeira pode ser ligeiramente superestimado, como demonstrou o cenário em que as diferenças maregráficas não são consideradas. Vos et al. (2023), ao comparar os algoritmos para extração da linha de costa derivada por satélite, dentre eles o que compõe o CASSIE, verificaram que eles fornecem uma precisão horizontal de cerca de 10 m quando comparado a monitoramentos *in situ*. Já para áreas de meso e macromaré, essa precisão se deteriorou para cerca de 20 m.

Quando se compara os dados gerados pelo CASSIE e os dados visualmente disponíveis na plataforma Aquamonitor Shoreline (Luijendijk et al. 2018), também se nota algumas discrepâncias nos resultados. A avaliação decadal no AquaMonitor se dá através da composição de imagens anuais, o que minimiza o efeito da maré, embora não seja necessariamente uma correção dessa forçante. Conforme mostra a figura 7, próximo ao setor Oeste, a resultante do comportamento da linha de costa foi de acreção, com taxas superiores a +4,0m/ano, não correspondendo à realidade.

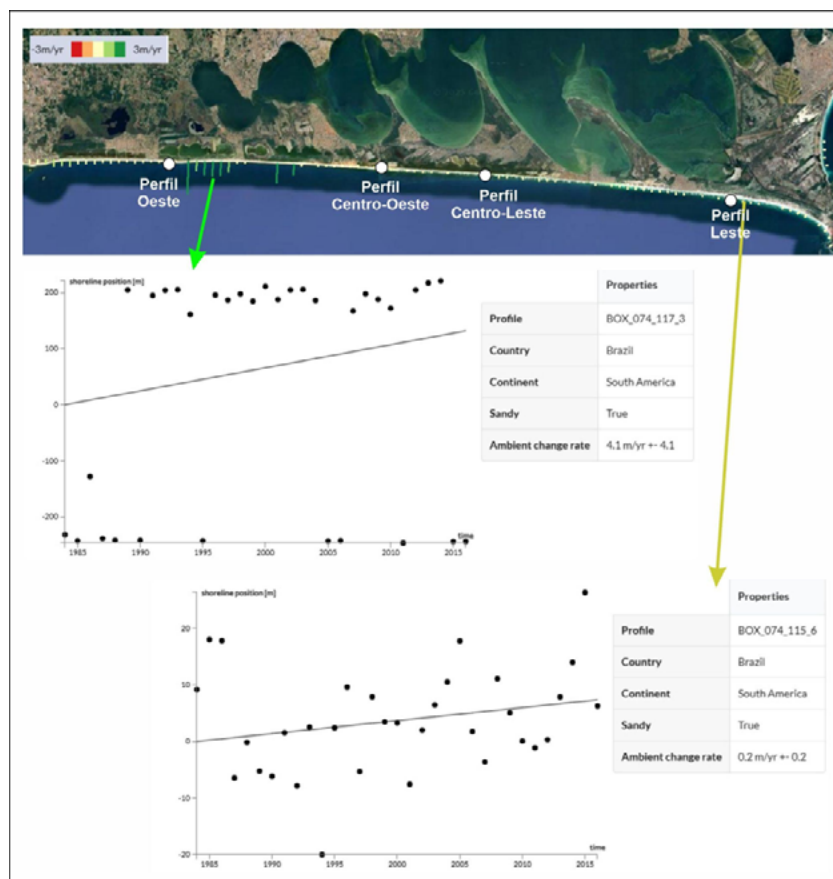


Figura 7: Dados do Aquamonitor de Luijendijk et al. (2018) para o mesmo segmento do litoral objeto de estudo do presente trabalho.

Esse erro pode estar associado à detecção de terraços de baixa-mar ou da margem das lagunas intra-cordões como linha de costa. Rocha e Fernandez (2020) haviam observado erros semelhantes no litoral de Rio das Ostras. No restante do arco, também predominou a classe de estabilidade, porém, no setor leste, esta plataforma parece subestimar os valores das taxas que aparecem como positivas, ao invés de negativas, conforme o resultado obtido no CASSIE.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado de comportamento decadal da linha de costa na praia da Massambaba gerada na plataforma CASSIE mostrou o predomínio da classe de “estabilidade” com taxas variando entre (-0,5 m/ano à + 0,5 m/ano), corroborando os dados de monitoramento de perfis de praia discutidos por Muehe, 2011 e Fernandez et al. 2020. O setor leste do arco, apresentou taxas predominantemente negativas, mais próximas à -0,5 m/ano, indicando uma discreta tendência de redução da largura da praia entre os anos 2016-2023, provavelmente em função dos processos de transposição por ação de ondas de tempestade (Fernandez e Muehe, 2004; Martins, 2017).



Ainda que se trate de um litoral de micro-maré, o efeito da maré mostrou ser importante de considerar, seja por meio da escolha manual das imagens ou outras formas de correção. A comparação entre os cenários no CASSIE mostrou que embora a classificação predominante de “estabilidade” tenha se mantido no cenário sem a supervisão da maré, as taxas negativas foram superestimadas no setor leste, onde a linha de costa foi classificada como em “erosão”. Neste setor, as taxas negativas de regressão linear (LRR) ficaram superestimadas em até 52%. Além disso, no caso das praias com estágio morfodinâmica intermediário, com predominância do estado de Terraço de Baixa-Mar, deve-se ficar atento uma vez que os classificadores automáticos podem mapear bancos arenosos como linha de costa.

O fato da maior parte do arco de praia da Massambaba ser considerada em estabilidade, não significa que esse litoral não apresente vulnerabilidade frente aos cenários das mudanças climáticas globais previstas para este século, visto que cerca de 62% dos transectos apresentaram valores de LRR negativos (média de -0,15 m/ano, chegando à -0,24 m/ano no setor leste). Neste caso, ressalta-se a importância da presença de Unidades de Conservação como o Parque Estadual da Costa do Sol, que restringe o avanço da ocupação sobre a orla marítima.

Agradecimentos:

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO-UFF) e aos integrantes do Laboratório de Geografia Física (UFF) que deram apoio de alguma forma a essa pesquisa. Esta pesquisa foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L.P., EFRAIM de OLIVEIRA, I., LYRA, R., SCARANTO DAZZI, R.L., MARTINS, V.G., KLEIN H. F., Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE): shoreline management module. Environmental Modelling and Software, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105033>.

BOAK E. H., TURNER I. L. (2005) Shoreline Definitions and Detection: A Review. Journal of Coastal Research. DOI: 12.2112/03-0071.1.



CASTRO, L. Q. (2025) Avaliação da ferramenta CASSIE para detecção da dinâmica da linha de costa na praia da Massambaba (RJ): Considerações sobre a morfodinâmica de praia e da vulnerabilidade física / Leonardo Quintanilha de Castro. 2025. 74 f.: il.

FERNANDEZ, G. B.; MUEHE, D. (2004) Sediment Budget Correlation with The Southern Oscillation Index of a Fore-dune Westward of Cabo Frio (Rio de Janeiro). *Journal of Coastal Research*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/295766078>.

FERNANDEZ G. B., OLIVEIRA-FILHO S. R., ROCHA T. B., PEREIRA T. G., VASCONCELOS S. C., MALUF V. B. V., QUADROS M. A. R., MOULTON M. A. B. (2020) Morfodinâmica Costeira do Litoral Fluminense: 15 anos de observação contínua. In: MUEHE D., LINS-DE-BARROS F. M., PINHEIRO L. S. (org) *Geografia Marinha: Oceanos e Costas na Perspectiva de Geógrafos*. -- 1. ed. -- Rio de Janeiro: Caroline Fontelles Ternes, 2020.

FIGUEIREIDO M. S., ROCHA T. B., FERNANDEZ G. B. (2018) Geomorfologia e Arquitetura Depositional Interna da Barreira Costeira Holocênica da Massambaba, Litoral do Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia* v.19, nº3 (2018). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i3.1374>.

GORELICK, N., HANCHER M., DIXON M, ILYUSHCHENKO S., THAU D., MOORE R. (2017). Google earth engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27.

LINS-DE-BARROS, F. M. Risco, Vulnerabilidade Física à Erosão Costeira e Impactos Sócio econômicos na Orla Urbanizada do Município de Maricá, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. Ano 6, no 2, pp. 83-90. 2005.

LUIJENDIJK A., HAGEN AARS G, RANASINGHE R., BAART F., DONCHYTS G. & AARNINKHOF S. (2018). The State of the World's Beaches. *Scientific Reports* | (2018) 8:6641 | DOI:10.1038/s41598-018-24630-6 1.

MACHADO, B. A.; ROCHA, THAIS BAPTISTA; FERNANDEZ, G.B; OLIVEIRA FILHO, S. R. Dinâmica da linha de costa no flanco meridional do delta do rio Paraíba do Sul entre 1954-2018: considerações sobre o fenômeno da erosão costeira em Atafona (RJ) e diferentes métodos de análise. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 25, p. 1-23, 2024.

MALUF, Victor. Morfodinâmica Tridimensional da praia da Massambaba, litoral do estado do Rio de Janeiro. Niterói – UFF, 2016. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.

MARTINS, C. A. (2017) Interação geomorfologia e processos de transposição de ondas: praia da Massambaba Leste, litoral do estado do Rio de Janeiro. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal Fluminense. 90p.

MUEHE, D. (2018) Panorama da erosão costeira no Brasil. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2018. v. 1. 759p.

MUEHE, D. (2011) Erosão Costeira – Tendência ou Eventos Extremos? O Litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 11(3):315-325 (2011).

MUEHE et al. 2003. Avaliação de Método Expedito de Determinação do Nível do Mar como



Datum Vertical para Amarração de Perfis de Praia. Revista Brasileira de Geomorfologia. v. 4 n. 1 (2003): JAN – JUN.

MUEHE et al. 2015. Pulsos erosivos e resposta morfodinâmica associada a eventos extremos na costa Leste do Estado do Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Geomorfologia v. 16, nº 3 (2015).

MUEHE, D.; VALENTINI, E. O Litoral do Rio de Janeiro: uma caracterização físico-ambiental – Rio de Janeiro: FEMAR, 1998.

MOULTON, M. A. B.; OLIVEIRA FILHO, S.R.; ROCHA, T.B.; FERNANDEZ, G.B. Foredunes of Rio de Janeiro coast: genesis, structure and morphology. Journal Of Coastal Research, [s.l.], v. 165, p.1319-1324, 3 jan. 2013. Coastal Education and Research Foundation

NOVAK, L. P.; ROCHA, T. B.; FERNANDEZ, G. B.; COSTA, A. P. F.; MACHADO, B. A. Barrier-lagoon system in the Paraíba do Sul River Deltaic complex (PARNA Jurubatiba, Brazil): Insights into mesoscale behavior and geological influence. Journal of South American Earth Sciences 145 (2024) 105047.

ROCHA T. B., FERNANDEZ G. B. (2020) Dinâmica da Linha de Costa: Potencialidades, Limitações e Reflexões na Geografia. In: LIMONAD E., BARBOSA J. L. Geografias, Reflexões Conceituais, Leituras da Ciência Geográfica, Estudos Geográficos. Editora Max Limonad, 2020. ISBN: 978-65-88297-06-3.

ROCHA, T.B.; MACHADO, B.A.; CONCEICAO, J.S.; MELLO, G.S.; PEREIRA, T.G.; FERNANDEZ, G.B. (2018) Interação morfodinâmica entre praia e duna frontal no delta do rio Paraíba do Sul (RJ) a partir de uma década de monitoramento. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 19, p. 283, 2018.

ROCHA T. B., MAGALHÃES B. L., FERNANDEZ G. B. (2021) Escalas Interdecadal e Interanual na Avaliação da Dinâmica da Linha de Costa: Um estudo de caso nas praias de Rio das Ostras (RJ). Revista da ANPEGE. v. 17. nº. 33, p. 146 - 161, ANO 2021. DOI 10.5418 / ra2021.v17i33.11879.

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

ROY, P.S; COWELL, P.J. FERLAND, M.A. & THOM, B.G. Wave dominated coasts. In CARTER, R.W.G. & WOODROFFE, C.D. Coastal Evolution: Late Quaternary shoreline morphodynamics. Cambridge University Press., 1994.

THIELER, E. R., HIMMELSTOSS E. A., ZICHICHI J. L., ERGUL A. (2008) The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change. U.S. Geological Survey. Disponível em <https://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr20081278> DOI: 10.3133/ofr20081278

VOS K., SPLINTER K. D., HARLEY M. D., SIMMONS J. A., TURNER I. L., (2019). CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. Environmental Modelling and Software 122 (2019) 104528. DOI: <https://>



doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104528.

VOS, K., SPLINTER, K., PALOMAR-V ´ AZQUEZ, J., PARDO-PASCUAL, J., CABEZAS-RABADAN, ´ C., ALMONACID-CABALLER, J., KRAS, E., LUIJENDIJK, A., CALKOEN, F., ALMEIDA, L., PAIS, D., KLEIN, A., MAO, Y., HARRIS, D., CASTELLE, B., BUSCOMBE, D., VITOUSEK, S., (2023). Benchmarking satellite-derived shoreline mapping algorithms. COMMUNICATIONS EARTH & ENVIRONMENT | (2023) 4:345 | <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01001-2> | www.nature.com/commsenv

VOUSDOUKAS M. I., RANASINGHE R., MENTASCHI L., PLOMARITIS T. A., ATHANASIOU P., LUIJENDIJK A. and FEYEN L. (2020). Sandy coastlines under threat of erosion. Nature Climate Change Letters. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0697-0>.



MORFODINÂMICA DE PRAIAS OCEÂNICAS SETENTRIONAIS NA ILHA DE SANTA LUZIA - BARRA DOS COQUEIROS: UMA ESTRATÉGIA GEOMORFOLÓGICA PARA O GERENCIAMENTO COSTEIRO DO LITORAL

Hélio Mário de Araújo ¹⁸

Rafael da Cruz ¹⁹

Gabriel Davi Sousa Vieira ²⁰

Gustavo de Oliveira Meneses Santos ²¹

PALAVRAS-CHAVE: Morfodinâmica praial, Erosão costeira, Linha de costa, Perfis de praia, Barra dos Coqueiros.

RESUMO

A dinâmica do ambiente costeiro é a principal responsável pelo desenvolvimento das praias e pelos processos erosivos e deposicionais que as mantêm em constante alteração. Neste contexto, como objetivo geral buscou-se analisar no litoral do município de Barra dos Coqueiros os processos erosivos e deposicionais para verificação de tendência da linha de costa a vulnerabilidade física (erosão, acumulação ou estabilidade) e de possíveis mudanças de comportamento espacial nos períodos de 1970/2016 (médio prazo) e 2022/2023 (curto prazo). A pesquisa seguiu os princípios da abordagem sistêmica para entender o fenômeno erosivo de forma integrada, a partir do comportamento dos agentes oceanográficos, atmosféricos e antrópicos, articulado com a análise qualiquantitativa. Os procedimentos investigatórios basearam-se no levantamento bibliográfico e de documentos cartográficos; trabalho de campo com aplicação do *método das balizas de Emery* (1961) para o levantamento topográfico, além da coleta de sedimentos e registro fotográfico e, trabalho de laboratório para análise granulométrica dos sedimentos arenosos (secagem, quarteamento, peneiramento e pesagem). A classificação textural baseou-se na escala proposta por Wentworth (1992). A dinâmica costeira no município de Barra dos Coqueiros tem se caracterizado por amplos processos de erosão e deposição, influen-

18 Professor do Programa de Pós-graduação em Geografia (PPGEO/UFS) e Coordenador do Grupo de Pesquisa Dinâmica Ambiental e Geomorfologia (DAGEO/UFS/CNPq), heliomarioaraujo@yahoo.com.br;

19 Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO/UFS) e Membro pesquisador do Grupo de Pesquisa Dinâmica Ambiental e Geomorfologia (DAGEO/UFS/CNPq), dacruz.rafael@yahoo.com.br;

20 Graduando em Geografia pela UFS e Membro pesquisador do Grupo de Pesquisa Dinâmica Ambiental e Geomorfologia (DAGEO/UFS/CNPq), gabriel_davi07@outlook.com;

21 Graduando em Geografia pela UFS e Membro pesquisador do Grupo de Pesquisa Dinâmica Ambiental e Geomorfologia (DAGEO/UFS/CNPq), gustavodeoliveira777@gmail.com.



ciados tanto pelos fatores naturais, quanto antrópicos. Na escala média, a análise multitemporal dos últimos 63 anos evidenciou que os efeitos desses fatores imprimiram na paisagem costeira duas ações no balanço sedimentar, sendo uma negativa com registro de maior erosão e outra positiva recuando o mar, sob o efeito da deposição. Na extensão da costa pela interferência direta dos agentes oceanográficos (ondas, marés e correntes litorâneas), a margem direita do rio Japarutuba próximo a desembocadura sofreu recuos de 50 m, enquanto na margem esquerda do rio Sergipe, no trecho final da desembocadura, a linha de costa recuou continente a dentro eliminando cerca de 350 m do povoado Atalaia Nova, caracterizando balanço sedimentar negativo pela retirada erosiva que impôs bruscas alterações na configuração e posicionamento geográfico da linha praial. No período de 1970/1984, o mar avançou na direção do continente 240 m, embora o recuo mais extensivo e expressivo tenha ocorrido no período 1970/2010 quando o mar avançou 357 m. O molhe construído no período 1990/2000, favoreceu o estabelecimento de uma ampla área de progradação artificial da linha de costa em 538,81 metros. Os perfis praias apresentaram aumento de largura da faixa de areia refletindo mudanças no comportamento de energia das ondas incidentes no litoral que por serem de baixa energia no período primavera/verão responderam pela ampliação da porção emersa com a reposição dos sedimentos retirados desse ambiente pelas ondas de altas energias (tempestades) atuantes no outono/inverno. O estágio morfodinâmico dissipativo, mostrou-se frequente nas praias quando as ondas de leste alcançaram o litoral diminuindo a energia das ondas apresentando tendência acumulativa no prisma praial. Assim, no sistema praia, encontrou-se na composição do ambiente, sedimentos de granulometria fina e muito fina, reservando-se os sedimentos de granulometria média para os segmentos que experimentaram erosão e os que se encontram com essa tendência.

INTRODUÇÃO

A zona costeira é um ambiente de fronteiras sujeitas a contínuas alterações morfodinâmicas modeladas por processos de origem continental e marinho. As praias neste contexto, são depósitos de materiais inconsolidados, retrabalhados por processos em que os agentes de deposição estão associados à atuação das ondas, marés, ventos e correntes litorâneas. A influência conjunta desses agentes oceanográficos, confere a paisagem costeira morfologias e ecossistemas específicos de praias, restingas, dunas, falésias, entre outras.

A praia funciona como zona de amortecimento ao absorver a energia das ondas e, em teoria, deveria ficar livre de ocupações em função de sua variação morfodinâmica. Devido a fatores históricos relacionados à ocupação do território brasileiro e seguindo a tendência mundial da população em ocupar as áreas próximas ao litoral, o Brasil em 2011 já apresentava 26,6% da população em municípios da zona costeira, o equivalente a 50,7 milhões de habitantes (IBGE, 2011). Uma questão preocupante é que a maior parte das grandes e médias cidades litorâneas se desenvolveu sem nenhum tipo de entendimento



da dinâmica litorânea sobre as quais evoluíam (Santos, 2019).

Em Sergipe, 53,2% de sua população ocupa a zona costeira, totalizando 25% de seu território (Fonseca *et al.*, 2010). Essa ocupação desordenada nas proximidades da linha de costa contribuiu, na escala do tempo, para a intensificação da erosão costeira em grau de vulnerabilidade física diferenciado, sobretudo nas desembocaduras fluviais.

Situações que tais, levam a necessidade do entendimento sobre os processos morfodinâmicos responsáveis pelo desenvolvimento e manutenção dos ambientes costeiros que podem contribuir para o planejamento e gerenciamento dos diferentes modos de ocupação e uso do solo, evitando ou minimizando os impactos que ocasionam a manifestação do processo erosivo na zona de interface fluviomarinha, e em qualquer outro segmento do litoral. Neste sentido, o município de Barra dos Coqueiros disfrutando de localização geográfica privilegiada no litoral centro estadual e entre duas desembocaduras fluviais, se constitui em área onde formas indesejáveis de ocupação e conflitos de usos múltiplos são identificadas.

A presente pesquisa, visa analisar a morfodinâmica costeira associada aos processos erosivos e deposicionais, e o seu controle na evolução espacial e temporal no litoral do município sergipano de Barra dos Coqueiros. Assim, como importante contribuição acadêmica aos estudos erosivos costeiros e morfodinâmicos de praias, fornece bases consistentes para a projeção das respostas do meio físico com a introdução de elementos antrópicos no sistema costeiro, possibilitando a gestão pública do município de Barra dos Coqueiros direcionar o gerenciamento da zona costeira, no que se refere ao uso e ocupação, na perspectiva de estabelecer uma relação equilibrada entre a sociedade e a natureza.

METODOLOGIA

A pesquisa seguiu os princípios da abordagem sistêmica. Na discussão teórico-metodológica fundamentou-se o método discutindo a paisagem como categoria de análise e a dinâmica costeira na perspectiva da integração dos fatos.

No percurso metodológico, três etapas distintas foram fundamentais no processo de avaliação da erosão costeira e do posicionamento espacial da linha de costa no intervalo entre 1970 e 2016 (médio prazo), com atualizações da dinâmica praial em 2022/2023 (curto prazo), como seguem:

ETAPA 1 - Levantamento bibliográfico e de documentos cartográficos e outros registros

Nesta etapa, priorizou-se o levantamento da bibliografia especializada para sub-



siñar a discussão teórico-metodológica e a temática proposta de investigação dos fatos. Buscou-se na literatura geográfica, geomorfológica e afinidades, autores clássicos e atuais com estudos voltados para a teoria sistêmica, categoria paisagem e dinâmica costeira na perspectiva de melhor delinear as bases empíricas sobre a zona litorânea do município de Barra dos Coqueiros. Além da consulta ao acervo analógico e digital disponível em livros, revistas, monografias e relatórios técnicos de pesquisas, fez-se a complementação através do acesso ao Repositório Institucional e Base de Dados da Universidade Federal de Sergipe, de modo específico a página da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações local – BDTD/UFS e nacional – BDTD/IBCT, bem como da consulta ao Sistema Integrado de Bibliotecas da UFS – SIBIUFS.

Os documentos cartográficos (mapas, cartas e imagens aéreas) e outros registros associados (manuais técnicos de geomorfologia, geologia e solos) foram disponibilizados por órgãos da administração pública governamental (federal, estadual e municipal), com destaque para a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM (atual SGB), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN da Marinha Brasileira, Capitania dos Portos de Sergipe – Marinha Brasileira, Secretaria de Estado Geral de Governo – SEEG, através da Superintendência Especial de Planejamento, Monitoramento e Captação de recursos – SUPEPLAN/Observatório de Sergipe, Superintendência Especial de Recursos Hídricos e Meio Ambiente - SERHMA/SE e Prefeitura municipal de Barra dos Coqueiros. As imagens de satélite utilizadas para avaliar o comportamento espacial em médio e curto prazo da linha de costa, refletindo diferentes épocas, foram capturadas do *Google Earth Pro*.

ETAPA 2 - Trabalho de campo, com registro fotográfico

No comportamento da morfodinâmica costeira, fez-se nas duas campanhas de campo, o monitoramento do sistema praias nas estações primavera/verão, nos meses respectivos de novembro de 2022 e março de 2023. Os dias selecionados basearam-se nas Tábuas de Marés disponíveis no site da Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN da Marinha Brasileira, com dados da estação maregráfica da Capitania dos Portos de Sergipe. Na execução dessa atividade, considerou-se os horários com os níveis mais baixos das marés de sizíguas para obtenção da exposição máxima da faixa de praia.

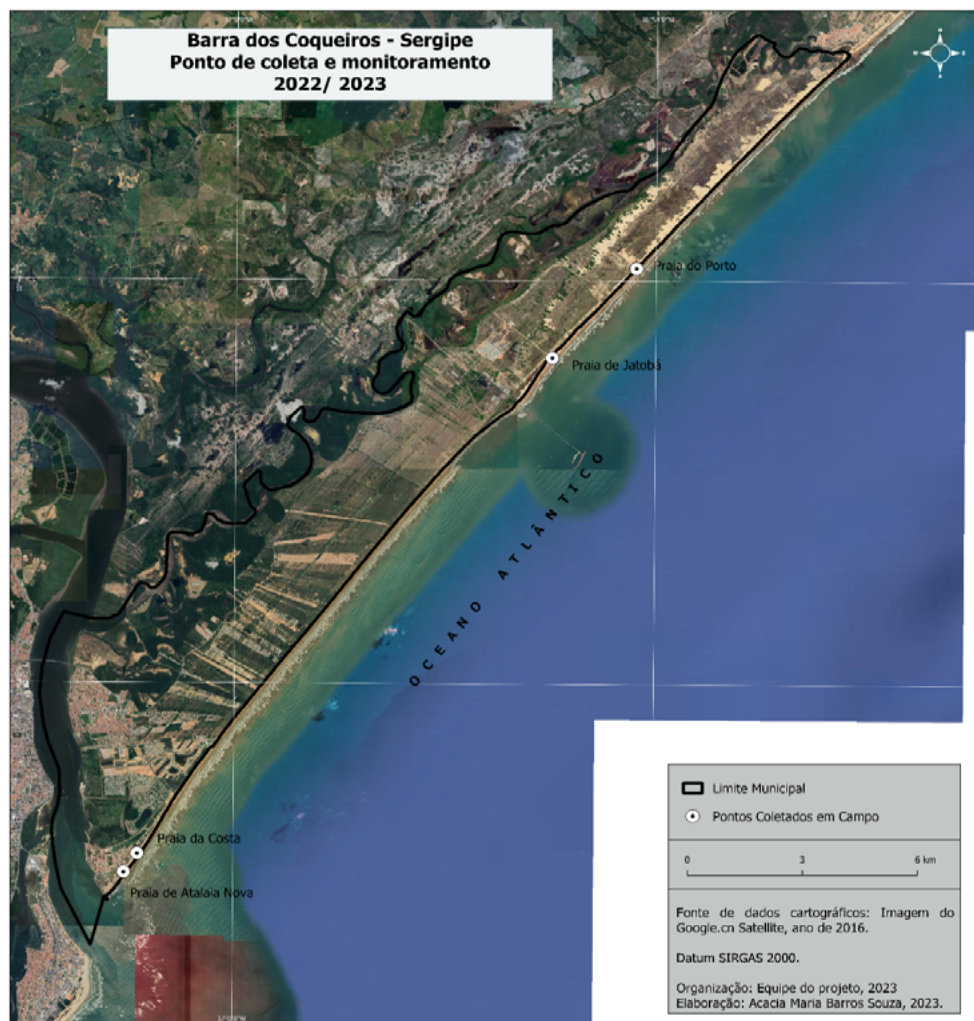
No levantamento topográfico para elaboração dos perfis de praia, considerou-se os horários de baixa-mar das marés de sizígia, através da aplicação do *método das balizas de Emery (1961)*, que consiste no uso de duas balizas de 1,5 m graduadas em centímetros do topo à base, alinhadas no sentido transversal à praia em direção ao mar. Com uma trena, fez-se a medição da distância entre as balizas a cada 20 metros. Os dados da de-



clividade topográfica da face praias aferidos com a bússola geológica e das distâncias em metros equivalentes a cada um deles, foram lançados em uma planilha de campo para facilitar a elaboração dos perfis.

Na aplicação desse método e do seu monitoramento, marcou-se 4 (quatro) pontos de coordenadas UTM com auxílio do GPS de navegação, na extensão da linha de costa abrangendo as praias do Porto (7.291.017mN – 880.569mE), do Jatobá (7.269.046mN – 880.324mE), da Costa (7.160.689mN – 878.967mE) e de Atalaia Nova (7.157.189mN – 878.916mE) (fig. 1). Após registro dos perfis topográficos, no último local de marcação da declividade, adentrando a plataforma continental interna, em profundidade mínima, coletou-se em saco plástico apropriado, 08 (oito) amostras de sedimentos arenosos com o mínimo de 100 g para cada uma. Essas amostras foram catalogadas por data e local e levadas ao laboratório para realização da análise granulométrica.

Fig. 1 – Litoral de Barra dos Coqueiros, pontos de coleta e monitoramento, 2022/2023.



Organização: os autores, 2023.



Em curto prazo, abrangendo horas, dias e meses, adotou-se a metodologia apresentada por Bush *et al.* (1999); Souza & Suguio (2003) e Bird (2008), baseada na identificação dos indícios de erosão, estabilidade e progradação da linha de costa e do nível de ocupação humana nas suas proximidades, conforme os seguintes geoindicadores:

- a) **EROSÃO** – ausência de vegetação; estruturas artificiais na linha de costa e na praia; ausência de dunas; frequência de sobrelavagem (*overwash*); dunas escarpadas; vegetação efêmera ou escassa ao longo da linha de escarpa;
- b) **ESTABILIDADE** – escarpas inativas, desenvolvimento recente de vegetação, início da formação de feições deposicionais;
- c) **PROGRADAÇÃO** – presença de feições deposicionais como bermas e terraços de praia, desenvolvimento de dunas frontais e pós-praia vegetada.

A partir desses geoindicadores físicos da praia/linha de costa, uma planilha foi elaborada e preenchida na atividade de campo nos quatro pontos estabelecidos para o levantamento dos perfis topográficos de praia.

ETAPA 3 - Trabalho de gabinete, com análise laboratorial

Nesta etapa, utilizou-se o geoprocessamento para tratamento e processamento das fotografias aéreas, imagens de satélite, elaboração dos mapas temáticos e outros documentos cartográficos que se mostraram importantes no processo de comunicação gráfica.

As técnicas e métodos computacionais levadas a efeito no geoprocessamento, com apoio da Cartografia Digital, subsidiaram no agrupamento de dados espaciais a partir de informações fornecidas por um Sistema de Informação Geográfica - SIG, que facilitou a sistematização de informações georreferenciadas e confecção dos mapas temáticos do meio físico (Geologia, Geomorfologia e Solos) elaborados numa mesma base cartográfica e escala, através do sistema de projeção UTM, *datum* SIRGAS 2000 Zona 24S – Malhas municipais do IBGE, 2022, com a base de dados disponibilizada no Sistema Geológico do Brasil – SGB, 2014, Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA, 2018 e Atlas de Recursos Hídricos de Sergipe (versão 2016), pela Superintendência Especial de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (SERHMA/SE). Utilizou-se o software ArcGis 3.10, versão A Coruña, como uma das geotecnologias apropriadas no tratamento computacional dos dados geográficos, disponibilizado no Laboratório de Cartografia e Geoprocessamento da Secretaria do Estado de Planejamento, Orçamento e Gestão de Sergipe (SEPLOG).

Através do SIG, fez-se as importações das fotografias aéreas correspondentes ao ano de 1970, na escala de 1:70.000, executadas pela TERRAFOTO; e das imagens de saté-



lite do *Google Earth Pro* relativas aos anos de 1984, 1990, 2000, 2010 e 2016, com posterior correção do *datum* horizontal de SAD 1969 para SIRGAS 2000. Posteriormente, retificou-se o georreferenciamento das imagens de satélite tomando como referência as fotografias aéreas do ano de 2004, na escala de 1:10.000, executadas pela Secretaria de Planejamento do Governo de Sergipe - SEPLAG/SE, as quais compõem a base cartográfica do litoral do estado de Sergipe.

No georreferenciamento, as imagens de satélite e as fotografias aéreas foram sobrepostas para facilitar a análise evolutiva da dinâmica costeira. A quantificação do balanço sedimentar se deu pela medição da distância da linha de costa dos anos de 1970, 1984, 1990, 2000, 2010 e 2016 através do SIG Qgis, versão Hannover 3.16, utilizando-se a ferramenta medição que possibilitou a aferição entre os pontos.

Para a representação temática das variações no posicionamento espacial da linha de costa, fez-se um mapeamento geral para todo litoral do município de Barra dos Coqueiros, com recortes espaciais específicos de trechos onde os eventos erosivos e deposicionais se mostraram mais significativos na linha do tempo, visando resguardar a riqueza de detalhamento na visualização dos fenômenos e, com isso, evitar recair no campo das generalizações devido a escala cartográfica de representação da informação.

As amostras dos sedimentos coletados em campo para análise granulométrica em laboratório, foram lavadas com água destilada para a retirada dos sais solúveis e, em seguida, utilizou-se o salinômetro para o teste de salinidade. Na sequência, as amostras foram preparadas em placas de petri (recipiente plástico) e levadas até a estufa para secagem a uma temperatura de 60 °C. Após secagem, os sedimentos foram pesados na balança de precisão e, posteriormente, submetidos a técnica do peneiramento com o agitador eletromagnético, onde utilizou-se peneiras com diferentes aberturas de suas malhas seguindo as normas da ABNT.

Nas aberturas mais grossas, objetivou-se a identificação de fragmentos de conchas e/ou pedaços de rochas, e nas aberturas menores, a identificação do maior peso predominante na fração areia (muito grossa, grossa, média, fina ou muito fina). Depois de colocados nas peneiras, os sedimentos foram agitados permitindo a passagem ou retenção nas aberturas das malhas. Os sedimentos de cada peneira foram retirados, separados de acordo com a fração granulométrica e pesados.

Após a anotação dos pesos retidos em cada peneira, analisou-se os resultados através do software *Gradistat* adequado para calcular estatísticas de tamanho de partículas para dados granulométricos de peneira ou laser.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em Sergipe, devem-se a Bittencourt *et al.* (1983), o estudo paleogeográfico de variação da linha de costa a longo prazo, abrangendo séculos a milênios, em que remonta, de modo específico, ao último episódio trans-regressivo do nível relativo do mar a cerca de 5.100 A. P. quando se estabeleceu uma nova configuração geomorfológica da costa sergipana. Em escalas menores a médio e curto prazo, diversificam as pesquisas (Oliveira, 2003; Rodrigues, 2008; Ribeiro, 2012; Santos, 2012, Silva, 2014; Oliveira, 2015; Santos, 2019; Araújo, 2020; Carvalho e Araújo, 2022; Cruz, 2023), que confirmam tendência de variação da linha de costa evidenciando situações de equilíbrio, erosão e progradação em segmentos setorizados do litoral.

Barra dos Coqueiros, nesse contexto, demonstra comportamento diferenciado de variação da linha de costa, com avanços e recuos gradativos que permitem a constatação de tendência à estabilidade, à progradação e à erosão diversificando a vulnerabilidade física, sobretudo, nas proximidades das desembocaduras fluviais dos rios Sergipe e Japaratuba, cuja situação de risco se confirma a partir da análise multitemporal dos últimos 63 anos, baseada em períodos mais curtos e em médio prazo.

Na linha do tempo, a dinâmica costeira no município de Barra dos Coqueiros tem se caracterizado por amplos processos de erosão e deposição, influenciados tanto pelos fatores naturais, quanto antrópicos. Na escala média, relativa ao período de 1970 a 2016, nota-se que os efeitos desses fatores imprimiram na paisagem costeira duas ações no balanço sedimentar, sendo uma negativa com registro de maior erosão e outra positiva recuando o mar, sob o efeito da deposição.

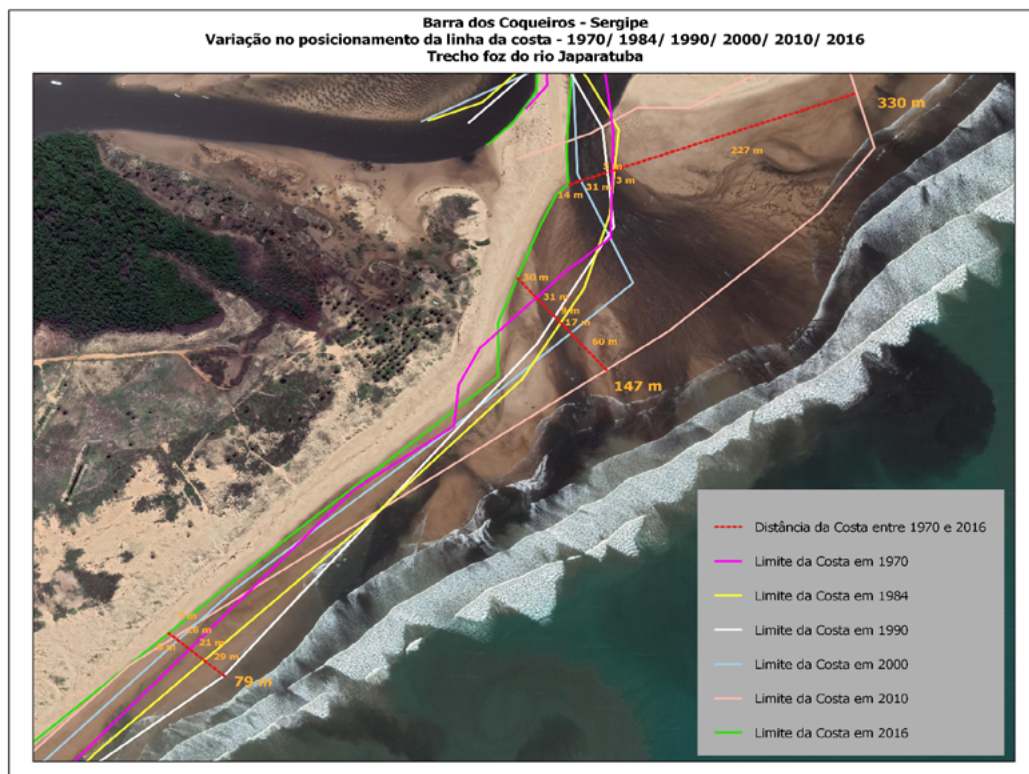
Na extensão da costa, os ambientes estuarinos dos rios Japaratuba e Sergipe experimentaram os maiores avanços e recuos da linha praial impondo novas configurações e posicionamento geográfico. Sob os efeitos da natureza, pela interferência direta dos agentes oceanográficos (ondas, marés e correntes de deriva litorânea), a margem direita do rio Japaratuba, no segmento mais próximo a desembocadura, na direção do oceano, sofreu recuos locais de aproximadamente 50 m (mais próximo a foz) e 30 m no final do contorno, sentido sul da linha praial (Figura 2).

Esse déficit no balanço sedimentar negativo, evidencia avanço gradativo do mar sobre o continente. No período 1970/1984, o fenômeno erosivo manifestou-se em grau baixo, com apenas 3 m de retirada sedimentar. Em trecho próximo, houve avanço da linha de praia com a deposição de 40 m de sedimentos e o consequente recuo do mar. Entre 1970/1990, a retirada erosiva não ultrapassou os 5 m, havendo acresção sedimentar em cerca de 30 m como resposta da hidrodinâmica marinha devido a ação interativa dos agentes oceanográficos. No decurso de 30 anos (1970/2000), a linha de costa recuou continente adentro eliminando cerca de 31 m da margem estuarina, em-



bora o ganho no estoque sedimentar tenha sido positivo com o avanço da linha praial em aproximadamente 57 m. O intervalo 1970/2010, caracterizou-se pela maior deposição, onde se estabeleceu uma área naturalmente progradada em 227 m nas cercanias da foz e, uma outra, no sentido sul da linha de costa de aproximadamente 117 m.

Fig. 2 – Barra dos Coqueiros, Variação no posicionamento da linha de costa, Foz do rio Japarutuba margem direita – 1970/2016



Organização: os autores, 2023.

Em ciclos mais curtos na escala do tempo histórico/geológico com variação entre 6 e 10 anos, a erosão costeira manteve-se em ritmos equilibrados onde o déficit de sedimentos não representou uma ameaça ao sistema costeiro, situação verificada, principalmente, no período de 1984/1990 em que o processo de erosão não ocorreu de forma intensificada. O reflexo no balanço sedimentar negativo representou recuo da linha de praia variando entre 8 e 9 metros. Na década subsequente de 1990/2000, houve ampliação da ação erosiva com o avanço do mar em torno de 31 m, mas, a deposição aproximada de 26 m, a barlar da área de retirada sedimentar representou resposta positiva para o balanço sedimentar.

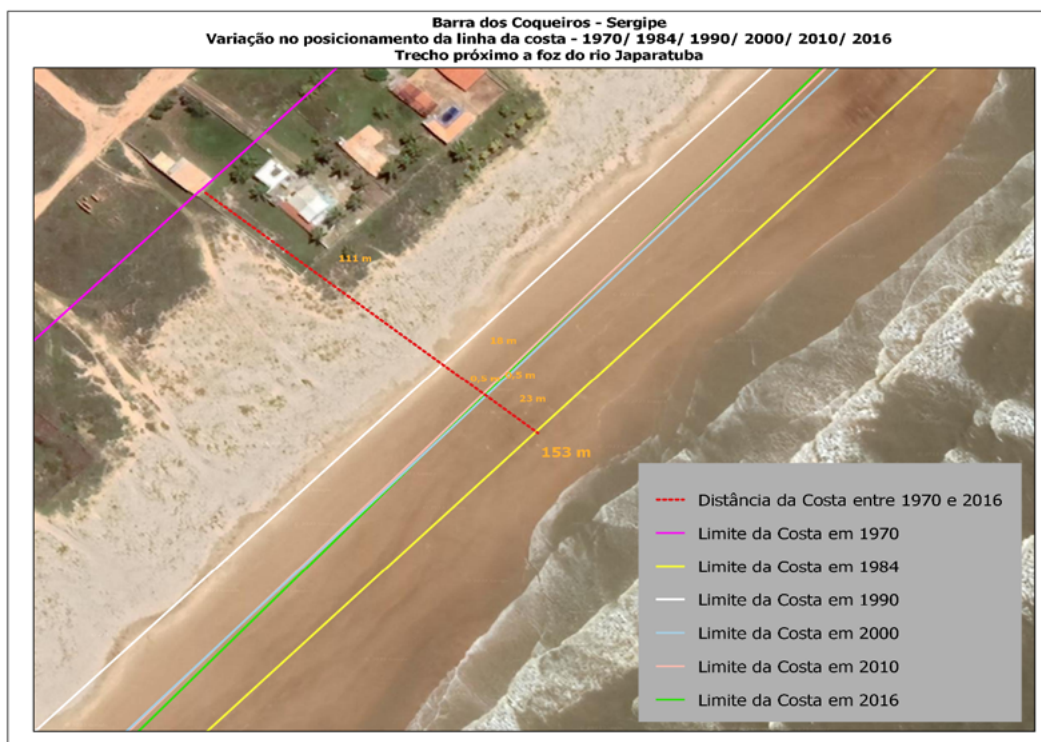
O decênio 2000/2010, trouxe ganhos positivos com acresção no estoque de sedimentos, tendo o mar recuado 227 m com o avanço da linha de costa que ocupou maior extensão nas cercanias do trecho final da desembocadura. Registrou-se menor avanço



da progradação em segmento adjacente com 60 m aproximados. Situação contrária no balanço sedimentar, verificou-se no curtíssimo intervalo de 6 anos entre 2010/2016 com a severidade do processo erosivo fazendo com que a linha praial sofresse um recuo de 330 m, considerado até então, para o ambiente, a maior retirada do estoque sedimentar nos últimos 63 anos. Em outro trecho específico o avanço do mar sobre o continente foi de 147 m.

No segmento da praia do Porto mais próximo a desembocadura do rio Japarutuba, a linha de costa sofreu recuos, em termos, pouco significativos em diversas escalas. Na escala de abrangência mais longa relativa ao período de 1970/2016 a retirada sedimentar correspondeu a 23 m, com registros progradantes da linha de costa nos períodos 1970/1984 (21 m) e 1970/1990 (79 m). Nos intervalos de 1970/2000 e 1970/2010 ocorreram avanços do mar sobre o continente, evidenciando recuo inexpressivo da linha de praia respectivos de 21 m e 16 m. No curto prazo de 6 anos (1984/1990) o avanço da linha praial ocorreu moderadamente sem ultrapassar os 29 m, situação não constatada no decênio 1990/2000 que registrou déficit no balanço sedimentar de aproximadamente 66 m. Nos decênios subsequentes, os recuos da linha praial foram pouco expressivos com retiradas do estoque de sedimentos correspondentes a 6 m de 2000/2010 e 7 m de 2010/2016 (fig. 3).

Fig. 3 – Barra dos Coqueiros, Variação no posicionamento da linha de costa na praia do Porto (Loteamento Costa Azul), 1970/2016.



Organização: os autores, 2023.



Como se constata na figura 3, os efeitos erosivos da desembocadura do rio Japarutuba também refletiram positivamente no estoque sedimentar da praia do Porto no trecho onde se localiza o loteamento residencial Costa Azul com avanço de 129 m da linha de praia no período 1970/2016.

A relação de proximidade entre esse trecho e a desembocadura do rio Japarutuba, dada a exiguidade da linha de costa, é um elemento a ser considerado nos rebatimentos positivos do balanço sedimentar de segmentos praias posicionados ao sul. O período de 1970/1984 evidência na área a tendência de progradação da linha de costa com o recuo do mar em aproximadamente 153 m, quantitativo muito superior ao da foz que no mesmo intervalo já demonstrava tendência progradante. De 1984 em diante, ou seja, 1990, 2000 e 2010 em relação a década de 1970, os registros confirmam a permanência positiva do balanço sedimentar pela deposição muito superior ao recuo sinalizando para uma possível estabilidade erosiva.

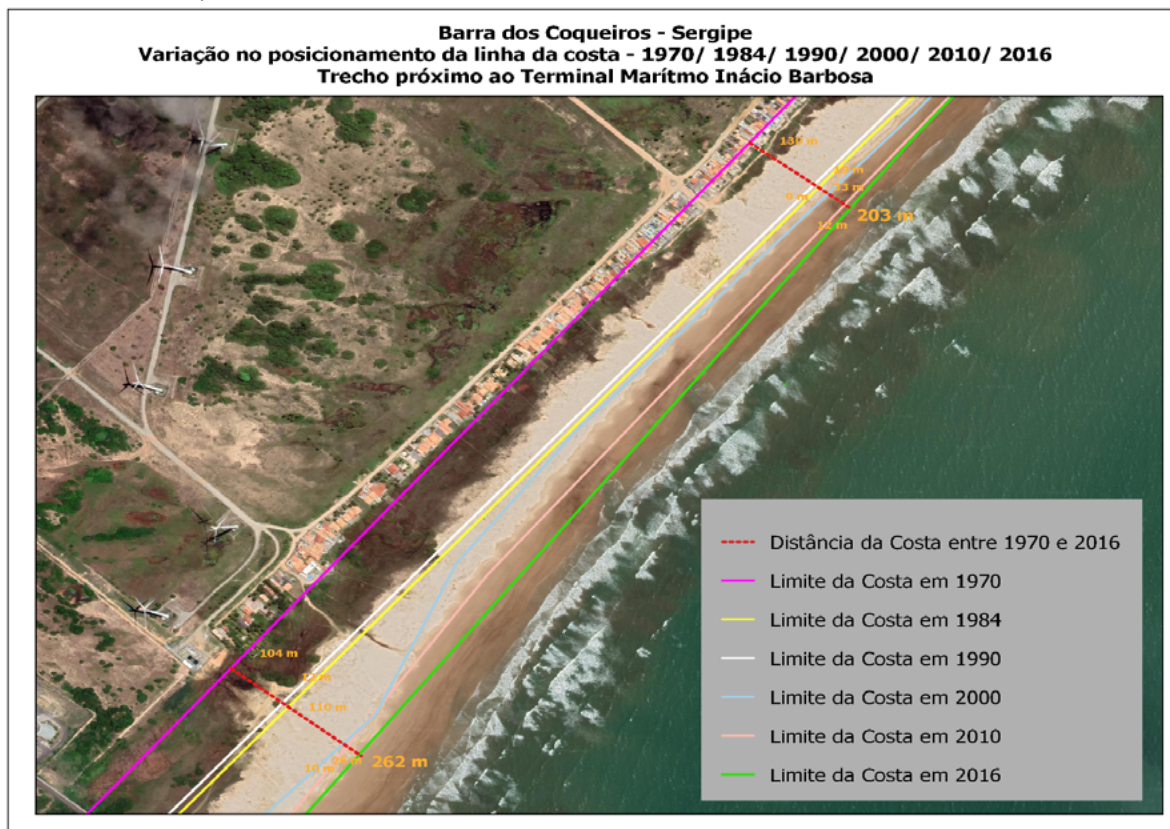
Assim, mesmo com o recuo no curto prazo decenal de 1984 a 1990 em torno de 42 m, os 111 m registrados em 1990 representaram avanços consideráveis quando comparados com o posicionamento da linha praias em 1970. Essa relação se amplia de 1970/2000 com progradação de 129 m e de 1970/2010 totalizando 129,5 m. A acresção sedimentar pouco expressiva de 1990/2000 em 18 m e os recuos erosivos subsequentes de apenas 0,5 m, sem evolução entre as décadas de 2000/2010 e 2010/2016 comprovam atualmente a tendência de estabilização erosiva na área.

Na praia do Jatobá, observou-se tendência natural de progradação da linha de costa no trecho fixado para monitoramento e coleta próximo ao Terminal Marítimo Inácio Barbosa (fig. 4).

Dos 63 anos investigados, observou-se que neste trecho do ambiente praias o avanço mais extensivo da linha de costa ocorreu no intervalo 1970/2016 contabilizando 203 m acrescidos ao estoque sedimentar, com recuos erosivos impostos pela dinâmica costeira que não afetaram a tendência progradante em relação ao ano de 1970 quando a linha de costa posicionou-se muito mais recuada do que a atual. Neste aspecto, no período de 1970/1984 o mar recuou cerca de 139 m, tendo adentrado o continente eliminando apenas 9 m no curto intervalo de 6 anos de 1984/1990. A retomada progradante ocorre com o acréscimo sedimentar de 28 m entre 1990/2000, mantendo a tendência de progradação na escala maior, embora em médio prazo de 1970/2000 que somou para o balanço sedimentar 158 m, mesmo havendo o déficit entre 1970/1990, com 130 m ainda progradantes. O aumento no estoque de sedimentos de 191 m entre 1970/2010 deve-se a acresção de 33 m verificada no curto intervalo entre 2000/2010. De 2010 a 2016 o avanço da linha de praia foi de apenas 12 m.



Fig. 4 – Barra dos Coqueiros, Variação no posicionamento da linha de costa/
Trecho próximo ao Terminal Marítimo Inácio Barbosa – 1970/2016



Organização: os autores, 2023.

Na área de localização do Terminal Portuário Inácio Barbosa – TMIB, se estabeleceu artificialmente uma zona de progradação da linha de costa, devido a retenção de sedimentos pelos pilares da ponte de acesso ao cais de acostagem situado a 2.400 metros da costa para o escoamento de cargas gerais.

Neste segmento, o ganho positivo para o balanço sedimentar máximo, foi em torno de 262 m, no intervalo médio de maior abrangência temporal (1970/2016). A progradação sempre crescente, mostrou-se em ritmos moderados nessa escala do tempo, como se constata entre 1970/1984 com avanços da linha de costa de 104 m, 1970/1990 estimado em 116 m, 1970/2000 (226 m) e 1970/2010 com 236 m. No curto ciclo de 1990/2000 a linha de praia sofreu maiores alterações em sua configuração com o recuo do mar em cerca de 122 m, esse acréscimo no estoque de sedimentos contribuiu para quebrar o ritmo progradante moderado na escala média 1970/1990/2000. Esses dados confirmam na escala temporal curta e média que a praia do Jatobá apresenta tendência atual à progradação da linha de costa, mesmo com os baixíssimos acréscimos no estoque sedimentar das décadas mais recentes, ou seja, 2000/2010 com apenas 10 m e 2010/2016 com registro de 26 m.



A sotamar do terminal marítimo, o recuo erosivo se mostrou mais expressivo logo após no segmento de praia, com reduções sensíveis na extensão da praia da Costa em que o balanço sedimentar apresentou comportamento balanceado pela alternância de segmentos de estabilidade erosiva e acresção sedimentar, evidenciando recuo erosivo próximo ao trecho de instalação em 1980 do Hotel da Ilha, substituído pelo Resort Makai.

Deveras, na construção do hotel à época, não se levou em conta a dinâmica costeira que já sinaliza indícios de retomadas erosivas na localidade. Nos anos iniciais de 1980, a linha de costa estava bastante recuada em relação a década de 1970, mas, a construção do empreendimento sem manter um certo distanciamento da linha de costa, acabou por acelerar o processo erosivo.

Ao longo de décadas, foram implementadas diversas alternativas nesse trecho na perspectiva de conter o fenômeno erosivo, restando todas sem sucesso. Os sinais erosivos ainda evidentes no local são os destroços das últimas estruturas fixas de concreto. Nas extremidades onde a linha de praia sofreu recuo possibilitou a formação de falésias, com registro na faixa de praia de coqueirais tombados e raízes de árvores expostas em épocas do ano de maior instabilidade nas condições de tempo. Esses geoindicadores denunciam o estágio morfodinâmico da praia em ciclos temporais mais curtos.

Na sequência do prolongamento da praia da costa, evidencia-se déficit no estoque sedimentar quando se compara o posicionamento geográfico da linha praias atual ou de décadas anteriores com a década de 1970. No período de 1970/2016, de maior abrangência na escala temporal, o mar erodiu 125 m da porção continental. A erosão costeira intensificou-se de 1970/1984 com a eliminação de 150 m da linha de praia. De 1970/1990 (125 m); 1970/2000 (106 m) e 1970/2010 (63 m) os recuos erosivos foram decrescentes, embora nos prazos mais curtos, exemplificados nos períodos de 1984/1990 (25 m); 1990/2000 (19 m) e 2000/2010 (43 m) os avanços deposicionais tenham sido pouco significativos. O período equivalente a 2010/2016, evidenciou recuo erosivo com avanço gradativo do mar sobre o continente numa extensão 62 m. Essa ocorrência erosiva mais recente, sinaliza para a praia da Costa tendência à erosão costeira com médio grau de vulnerabilidade física.

Na praia de Atalaia Nova, no segmento mais próximo a desembocadura do rio Sergipe, o fenômeno erosivo eliminou continente a dentro 111 m no período 1970/2016, com intensificação desse ritmo no período de 1970/1984 quando a linha de costa sofreu interferência erosiva mais severa recuando 217 m, e 1970/1990, que embora tenha apresentado déficit mais reduzido do estoque sedimentar, os 162 m de avanço marinho mostraram-se bem representativos.



Os efeitos do molhe ocorreram a partir de 2000, quando se constata que no intervalo 1970/2000 os recuos erosivos foram mais reduzidos, tanto que, nesse período, a linha de costa alterou-se em sua configuração devido a retirada de 72 m da área continental. No intervalo de 1970/2010 o mar avançou apenas 16 m. Em curto prazo, houve alteração no balanço sedimentar, uma vez que o processo de deposição sedimentar, ainda que moderadamente, prevaleceu nas décadas de 1984/1990 com 25 m, 1990/2000 com 19 m e 2000/2010 com 43 m. De 2010/2016 houve retomada erosiva com recuo de 62 m da linha de costa. Nesse segmento praiial, evidencia-se a tendência à erosão costeira com médio grau de vulnerabilidade física.

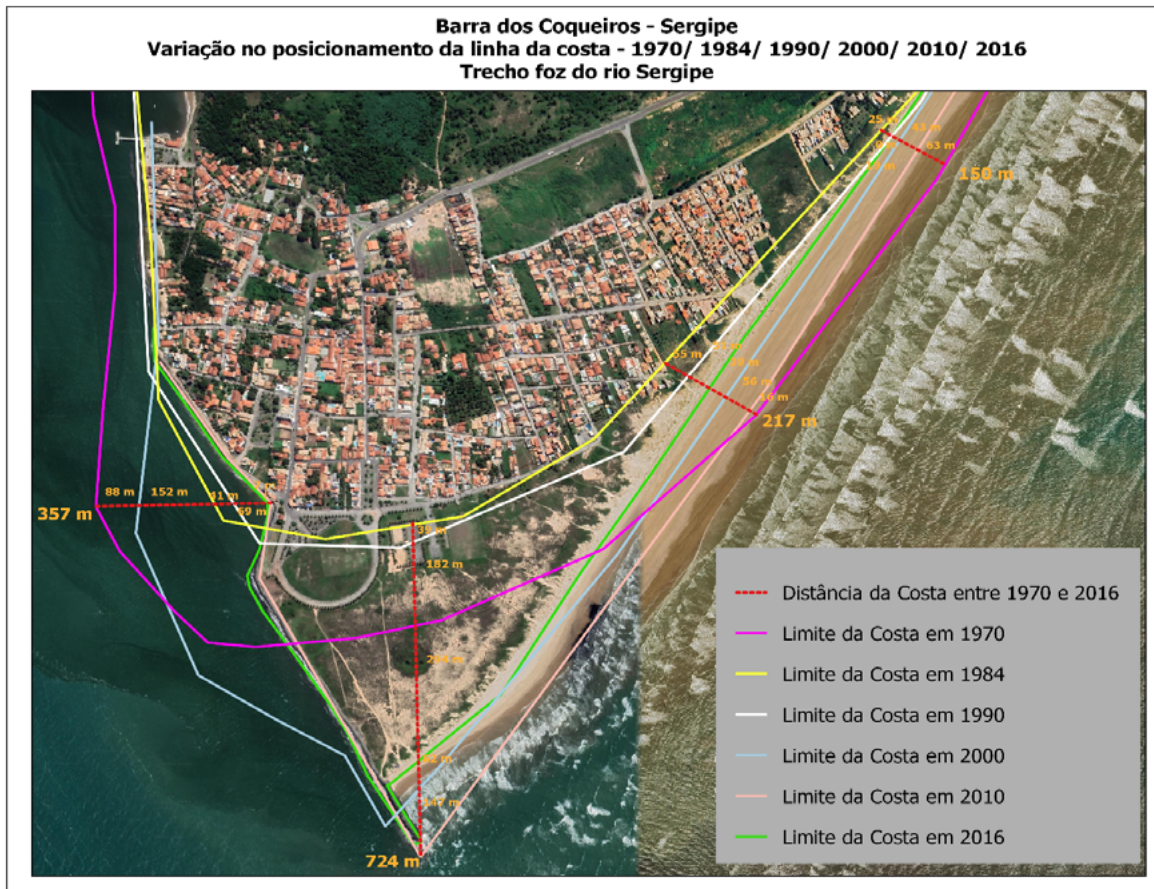
Ao longo da história evolutiva da área, a margem esquerda do rio Sergipe nas proximidades de sua desembocadura experimentou processos erosivos severos e deposicionais com variações da linha de costa refletindo a dinâmica costeira local. No trecho final da desembocadura a linha de costa recuou continente a dentro eliminando cerca de 350 m do povoado Atalaia Nova no intervalo 1970/2016, caracterizando nessa margem estuarina balanço sedimentar negativo pela retirada erosiva que impôs bruscas alterações na configuração e posicionamento geográfico da linha praiial (fig. 5).

No período de 1970 a 1984, o mar avançou na direção do continente aproximadamente 240 m, esse valor foi ampliado no período de 1970/1990 com recuo expressivo de 281 m da linha de costa, com rebaixamento gradual de 1970/2000 quando o déficit no estoque de sedimentos atingiu 88 m. O recuo mais extensivo e expressivo verificou-se no período 1970/2010 quando o mar avançou 357 m.

Nos ciclos temporais mais curtos, o balanço sedimentar manteve comportamento positivo e negativo sob os efeitos de retirada e deposição de sedimentos. No intervalo de 6 anos, período que se estende de 1984 a 1990, 41 m foram retirados da linha de costa, mas, de 1990/2000 a progradação natural girou em torno de 193 m com avanço da linha de praia e recuo do mar. De 2000/2010 os efeitos causados pela refração das ondas que se intensifica no inverno com características de tempestades eliminaram 269 m da linha de costa. No intervalo de 2010/2016, registrou-se pequeno aumento no estoque de sedimentos com a deposição de cerca de 7 m.



Fig. 5 – Barra dos Coqueiros, Variação no posicionamento da linha de costa/
Trecho Foz do rio Sergipe, margem esquerda – 1970/2016.



Organização: os autores, 2023.

Os eventos erosivos, com avanços sobre o continente em diferentes épocas e variações de intensidades, destruíram bares, restaurantes e residências instalados em suas proximidades. As iminentes ameaças erosivas em tempos mais recentes nessa margem estuarina, requereram do setor público estadual e municipal a adoção de medidas alternativas de controle e prevenção aos efeitos da erosão com ampliação do molhe estuário adentro até as proximidades do antigo terminal hidroviário que em 1980, abrigava as embarcações H. Dantas com fluxos diários de passageiros que faziam a travessia de Aracaju para a praia de Atalaia Nova e vice versa. Atualmente, esse trecho do estuário com as medidas adotadas, apresenta tendência a estabilidade erosiva, conservando, ainda, alto grau de vulnerabilidade física.

O molhe construído no período de 1990/2000, com a finalidade de conter o processo erosivo nas margens do rio Sergipe, favoreceu o estabelecimento de uma ampla área de progradação, com retenção a barlar, de sedimentos transportados pelas correntes de deriva litorânea e outros agentes oceanográficos diretamente atuantes na re-



gião estuarina. A linha de costa com a obra de engenharia, sofreu brusca alteração em sua configuração e posicionamento geográfico, além da interferência causada na dinâmica costeira local. No intervalo de 1990/2000 a progradação artificial da linha de costa foi de 538,81 metros aproximados, com ampliação no período 2000/2010 de mais 147 m. Entretanto, com a revitalização do molhe e ampliação exígua na direção do oceano, pequeno trecho do prolongamento na porção oceânica, vem sofrendo desde o período 2010/2016 os efeitos da erosão costeira, com retirada marinha de 209 m do estoque sedimentar artificialmente progradado.

Na área de progradação artificial em que avançou a linha de costa da praia de Atalaia Nova, a prefeitura de Barra dos Coqueiros construiu a praça de eventos e pavimentou vias de acesso. Em parte dela, se estabeleceu um campo eólico recoberto pela vegetação parcialmente herbácea, com dunas frontais de baixo e médio porte nas proximidades da linha de costa que se prolongam em descontinuidade até o molhe numa extensão de 885 m, as quais funcionam como barreiras geomórficas protetoras contra erosão. A ausência de sobrelavagem no lineamento dunar com distanciamento da linha de preamar máxima, evidencia indicativo de tendência a estabilidade erosiva, ainda que temporariamente

Observou-se a curto prazo, o estado das praias a partir das características intrínsecas a elas, na perspectiva de verificar se a linha de costa está passando por processo de erosão, estabilidade ou progradação. Bush *et al.* (1999) a propósito, ressaltaram a necessidade do uso de geoindicadores com parâmetros que permitem a delimitação das áreas que apresentam vulnerabilidade à erosão costeira. Assim, para caracterizar o ambiente praiar e a linha de costa, considerou-se também, outros indicadores apresentados por Souza e Suguio (2003) e Bird (2008).

No período 2022/2023, abrangendo horas, dias e meses, verificou-se que nos locais estabelecidos para o levantamento topográfico dos perfis, estavam presentes geoindicadores sugestivos de variações na linha de costa evidenciando tendência erosiva, à estabilidade e progradação, refletindo as condições de ondas e marés e variações climáticas sazonais.

Na praia do Porto, estão ausentes as dunas frontais, sendo recorrente a frequência de sobrelavagem. Nota-se disseminação recente de espécies vegetais associadas ao ambiente de praia, além da formação de feições deposicionais (bermas e terraços de praia) e vegetação de restinga herbácea desenvolvida ao longo da linha de costa e pós-praia. Encontrou-se tocos de árvores e fragmentos de plantas expostos no limite superior e intermediário da face praiar. Esse ambiente se encontra atualmente em equilíbrio.

Na praia de Jatobá, registra-se a presença de berma, desenvolvimento recente de vegetação que se disseminam sobre as dunas embrionárias de baixa topografia e ao longo



da linha de costa e pós-praia. Outros geoindicadores se fizeram presentes, a exemplo dos tocos de árvores e fragmentos de plantas expostos no estirâncio médio e superior até o limite da linha de preamar máxima. No momento atual, este segmento litorâneo se encontra em estado de equilíbrio.

Na praia da Costa, verificou-se o desenvolvimento recente de vegetação herbácea, feições deposicionais recentes e dunas frontais com tendência evolutiva de pequeno para médio porte com desenvolvimento de vegetação. Atualmente se encontra em equilíbrio e, na praia de Atalaia Nova, observou-se a presença de estruturas artificiais na linha de costa e praia – molhe, com avanço considerável na extensão da margem esquerda do rio Sergipe até as imediações do antigo terminal hidroviário H. Dantas. Ocorrência de dunas escarpadas de porte médio ativas e inativas, vegetação recente ao longo da linha de escarpa e pós-praia, dunas e praia suprida de sedimentos e vegetadas, estando atualmente em equilíbrio, mesmo apresentando sinais sugestivos temporários de erosão em pequeno trecho nas proximidades do molhe na porção oceânica.

Quanto ao nível de ocupação humana nos ambientes de praias monitorados, embora ainda ocorra em grau baixo a moderado, já se mostra preocupante, por serem locais preferenciais como atração turística e de lazer pela população.

Na praia do Porto, o nível de ocupação pela especulação imobiliária com a venda de loteamentos tem sido crescente, mesmo havendo um estoque natural no ambiente de pós-praia e grau elevado de conservação. A frente litorânea, por enquanto, não apresenta indícios de ameaças no processo de ocupação. Situação que diverge das demais praias onde se percebe a ocupação com avanços mais próximos da linha de costa.

A praia da Costa exemplifica muito bem essa situação quando se percebe que na frente litorânea se estabeleceu bares, restaurantes e residências sem levar em consideração os limites legais de recuo.

De igual modo, ocorreu na praia do Jatobá, principalmente com a ocupação desordenada na frente litorânea onde se diversificam bares, casas de veraneio e de residência permanente.

Na praia de Atalaia Nova essa situação desde sempre foi extremamente preocupante pela localização estratégica na região estuarina do rio Sergipe com histórico local de severidade erosiva (Fig. 6 A, B e C).



Fig. 6 A - Nível de ocupação na faixa de praia e retaguarda; B e C - Nível de ocupação no ambiente de pós-praia, frente litorânea.



Créditos: os autores, 2023.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As alterações sazonais evidenciadas na morfologia do ambiente subaéreo das praias oceânicas de Barra dos Coqueiros têm uma relação direta com a proximidade das desembocaduras fluviais dos rios Japarutuba e Sergipe, com o estágio morfodinâmico dissipativo predominante, composição sedimentar, constituição geológica e variações meteorológicas do clima no período estacional primavera/verão.

Em diversas escalas temporais, observou-se que a costa do município vem experimentando avanços e recuos da linha de costa, demonstrando tendência à progradação, à estabilidade e à erosão em graus de exposição e vulnerabilidade física bem diversificada, sendo perceptível a manifestação do fenômeno erosivo severo e em grau moderado nas desembocaduras fluviais e em outros locais específicos gerando déficits no balanço sedimentar.

Numa ação conjunta, os agentes oceanográficos como as correntes de deriva litorânea, as ondas e as marés respondem pela morfodinâmica litorânea, com participação



efetiva dos ventos na modelagem costeira gerando processos de erosão, transporte e deposição na extensão da costa.

Os perfis topográficos praias apresentaram aumento de largura da faixa de areia refletindo mudanças no comportamento de energia das ondas incidentes no litoral que por serem de baixa energia no período primavera/verão responderam pela ampliação da porção emersa com a reposição dos sedimentos retirados desse ambiente pelas ondas de altas energias (tempestades) atuantes no outono/inverno.

O estágio morfodinâmico dissipativo, mostrou-se frequente nas quatro praias quando as ondas de leste alcançaram o litoral do município diminuindo a energia das ondas e, com isso, apresentando tendência acumulativa no prisma praias. A face praias manteve-se regular no período sazonal, conservando baixos valores de declividade, com o seu conseqüente alargamento. Devido ao estágio morfodinâmico dominante no sistema praias, encontrou-se na composição do ambiente, sedimentos de granulometria fina e muito fina, reservando-se os sedimentos de granulometria média para os segmentos que experimentaram erosão e os que se encontram com essa tendência.

Nos ciclos temporais de curtíssimas durações, abrangendo horas, dias e meses do período 2022/2023, notou-se que nos locais estabelecidos para o levantamento topográfico dos perfis, estavam presentes geoindicadores sugestivos de variações na linha de costa evidenciando tendência erosiva, à estabilidade e progradação, refletindo as condições de ondas e marés e variações climáticas sazonais.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, H. M. de. Morfodinâmica de desembocaduras fluvial-estuarinas e os riscos ambientais associados no litoral de Sergipe. **Relatório de pesquisa** (Pós-doutorado em Geografia Física). Centro de Ciências – PPGGEO, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

BIRD, E. **Coastal geomorphology**: na introduction. Second Edition, p. Cm. Jonh Wiley & Sons, Ltd. Geostudies, 2008.

BITTENCOURT, A. C. S. P. Evolução paleogeográfica quaternária da costa do Estado de Sergipe e da costa sul do Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 93-97, 1983.

BUSH, D. M.; NEAL, W. J.; YOUNG, R. S.; PILKEY, O. H. Utilization of geoindicators for rapid assessment of costal-hazard risk and mitigation. **Ocean & Coastal Management** **42**. P. 647-670, 1999.

CARVALHO, I. S.; ARAÚJO, H. M. de. Morfodinâmica de praias e os processos erosivos e deposicionais na costa litorânea do município sergipano de Barra dos Coqueiros. **Rela-**



tório de Pesquisa (Iniciação Científica). COPES/PIBIC/CNPq. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2022.

CRUZ, R. da. Morfodinâmica de praias e processos erosivos intraurbanos no município de Aracaju/SE. **Dissertação** (Mestrado em Geografia). São Cristóvão, PPGE0, 2023.

EMERY, K. O. A simple method of measuring beach profiles. **Limnology and Oceanographic**, v. 6, p. 90-93, 1961.

FONSECA, V.; VILAR, J. W. C.; SANTOS, M. A. N. Reestruturação territorial do litoral de Sergipe. In: VILAR, J. W. C.; ARAÚJO, H. M. de (Orgs.). **Território, Meio Ambiente e Turismo no Litoral Sergipano**. São Cristóvão: Editora UFS, 2010.

OLIVEIRA, M. B. de. **Caracterização** integrada da linha de costa do Estado de Sergipe-Brasil. **Dissertação** (Mestrado em Geologia), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2003, 102 f.

OLIVEIRA, L. S. Vulnerabilidade física a erosão costeira de Aracaju/SE. **Monografia** (Bacharelado em Geografia), Departamento de Geografia/UFS, São Cristóvão, 2015.

RIBEIRO, E. A. Evolução da paisagem da praia da Caueira no município de Itaporanga D'Ajuda –Sergipe. **Dissertação** (Mestrado em Geografia), NPGE0/UFS, São Cristóvão, 2012.

RODRIGUES, T. K. Análise da linha de costa das principais desembocaduras do Estado de Sergipe com ênfase no rio Sergipe. **Dissertação** (Mestrado em Geociências), UFBA/Salvador, 2008.

SANTOS, J. P. da S. Linha de costa e faixa de proteção à erosão costeira: estudo de caso nas praias do Saco, do Abaís e da Caueira, sul de Sergipe. **Dissertação** (Mestrado em Geociências e Análise de Bacias), PPGAB: Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2019.

SILVA, M. G da. Geoindicadores de erosão e acumulação das praias do município de Aracaju – Sergipe. **Dissertação** (Mestrado em Geociências e Análise de Bacias), PPGAB/UFS, São Cristóvão, 2014.

SUGUIO, K. **Tópicos de geociências para o desenvolvimento sustentável**: as regiões litorâneas. **Geologia**, USP: Série Didática, v. 2, n. 1. 2003, p. 1-40.



USO DA TECNOLOGIA LIDAR PARA CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DE FALÉSIAS COSTEIRAS

Rodrigo de Freitas Amorim ²²

Talita Santiago Ferreira Costa ²³

Silvio Braz de Sousa ²⁴

Heleriany de Medeiros Madeiros ²⁵

Daniel Carlos Alves Santos ²⁶

Palavras-chave: Morfometria de escarpas costeiras; Light Detection and Ranging (LIDAR); Caracterização Geomorfológica.

RESUMO

A análise geomorfológica de escarpas costeiras demanda a mensuração dos seus aspectos morfométricos, base para compreensão da dinâmica geomorfológica pretérita, atual e modelagem futura; frente à evolução natural ou diante de intervenções antrópicas. Logo, é necessário a utilização de dados na escala de detalhe 1:100 ou superior, as quais permitam realizar medidas capazes de revelar a relação forma-processo, no curto e médio prazo. Assim, o emprego do *Light Detection and Ranging* (LIDAR) nos estudos geomorfológicos tem permitido adquirir dados de forma rápida e precisa. As características de emissão do feixe laser, capacidade do registro de múltiplos retornos e da divergência do pulso, permite a aquisição de pontos abaixo da copa da vegetação e emprego de técnicas de filtragem para remoção da cobertura vegetal; bem como das cotas altimétrica para filtrar as edificações, gerando modelos que considerem apenas o terreno. Diante do exposto, o presente trabalho objetiva avaliar o emprego da tecnologia LIDAR para caracterização geomorfológica de uma falésia costeira estruturada em rochas da Formação Barreiras, no município de Baía Formosa, estado do Rio Grande do Norte. A coleta de dados foi realizada utilizando um LIDAR, modelo Zenmuse L1, embarcado em uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) modelo DJI Matrice 300 RTK, gerando uma acurácia planialtimétrica centimétrica. O voo foi realizado em 21 de agosto de 2024, tipo oblíquo, com cinco ângulos distintos de visada, a 60 metros de altura, o que gerou uma nuvem com 221 pontos por m², resultando em um modelo 3D de alta resolução. O processamen-

²² Professor Doutor do curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, rodrigo.freitas@ufrn.br;

²³ Graduanda pelo Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, talitasantiagoo@gmail.com;

²⁴ Professor Doutor do curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, silvio.braz@ufrn.br;

²⁵ Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN profhelerianyedeiros@gmail.com;

²⁶ Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN danielcarlos472@gmail.com.



to dos dados e medições morfométricas da falésia foi realizado no software DJI Terra 4.2.5 (licença própria). Os mapas finais foram produzidos no ArcGIS (versão 10.8.2, licença do Programa de Pós-Graduação em Geografia PPGGe/UFRN). A linha da falésia é orientada no sentido NE/SW, com fase exposta para W, ocupando a parte central do embaçamento, onde a difração e a reflexão das ondas produzem um maior poder erosivo. Foi descrito um segmento de 989 metros de extensão da falésia, sendo 628 metros com tabuleiro costeiro no topo e 361 metros com duna recobrando o tabuleiro, as alturas variam entre 10,22 e 21,6 metros. Da extensão total, 44% (434,02 metros) da linha de falésia foi estabilizada quanto à erosão marinha com muro de arrimo na base, com altura média de 2 metros, 56% da extensão da falésia está ativa com diversas cicatrizes erosivas. Foram traçados perfis topográficos para medição dos parâmetros de inclinação da falésia e identificação da existência de depósitos na base. Com o emprego da ferramenta Filter Point Cloud foi possível remover a cobertura vegetal, facilitando a identificação e medidas das feições morfológicas: colúvio, cicatrizes de deslizamento, limite superior e inferior da falésia, reentrâncias erosionais (incisão basal) e ravina. O emprego da tecnologia LIDAR permitiu a execução de levantamentos rápidos em campo, ao mesmo tempo que possibilitou a mensuração e descrição das feições geomorfológicas em escala adequada ao entendimento dos processos de curto prazo, constituindo o estado da arte para pesquisas em falésias costeiras.

INTRODUÇÃO

A caracterização geomorfológica baseada em dados quantitativos depende de diferentes técnicas de coleta, todas elas apresentam limitações e potencialidades. Dentre os desafios está a adequação do dado à escala de análise, precisão, capacidade de superar obstáculos como vegetação e construções, bem como rapidez nos levantamentos. Atualmente dentre as técnicas disponíveis destaca-se *Light Detection and Ranging* (LIDAR), por apresentar diferentes potencialidades nos estudos geomorfológicos.

A tecnologia LIDAR destaca-se pela sua capacidade em adquirir dados de forma rápida, precisa e superar obstáculos no terreno como a vegetação. As características de emissão do feixe laser, registro de múltiplos retornos e da divergência do pulso, permite a aquisição de pontos abaixo da copa da vegetação e emprego de técnicas de filtragem para remoção da cobertura vegetal. Para análise de escarpas costeiras, produtos derivados de LIDAR foram aplicados de forma global por autores em busca de resultados quali-quantitativos (Ashford e Young, 2006; Palaseanu-Lovejoy, et al., 2016; Terefenko et al., 2019; Silva et al., 2020; Swirad e Young, 2021; Menier et al., 2024).

Nesse contexto, uma das principais feições geomorfológicas para aplicação do LIDAR são as escarpas costeiras, também conhecidas como falésias. No Nordeste do Brasil, elas formam belas paisagens, servindo como atrativo para uma diversidade de usos e ocupações, fomentando impactos na paisagem e riscos (Amorim e Medeiros, 2023). São áreas submetida à evolução natural do relevo, resultado de interação entre as proprieda-



des litológicas, condições climáticas e energia de ondas; principais gatilhos para eventos geomorfológicos em escarpas costeiras e potencializados diante de intervenções antrópicas.

No contexto regional que abrange a área de estudo, as falésias estão estruturadas em rochas sedimentares da Formação Barreiras (Cenozoico) com variação de composição mineralógica, cimentação e coesão que apresentam menor resistência ao desgaste, suscetíveis à erosão marinha e subaérea.

A morfologia do litoral é caracterizada por uma série de baías em enseadas de promontórios, também conhecidas por baías formato de zeta (Amaral, 1999). Essa morfologia ocorre pelo encontro da direção da corrente marinha no promontório gerando fluxos turbulentos nas correntes longitudinais e desencadeando um processo mais acelerado de erosão na enseada seguinte – onde situa-se a falésia analisada – em comparação a outros pontos da linha de costa.

O efeito da presença humana traz ainda peso adicional, introdução de água, escavação, remoção do solo e da vegetação; ações que interferem na dinâmica morfológica e comprometem a estabilidade das falésias (Emery e Kuhn, 1982).

Frente a realidade natural e antropogênica, a falésia é continuamente modificada dentro de um sistema de processos e respostas que condicionam a evolução do relevo. Aplica-se o conhecimento geomorfológico para análises e soluções de problemas relacionados à paisagem costeira a partir da compreensão da dinâmica geomorfológica pretérita, atual e modelagem futura. Assim, se faz necessário a mensuração de aspectos morfométricos utilizando dados na escala de detalhe 1:100 ou superior, as quais permitam realizar medidas capazes de revelar a relação forma-processo, no curto e médio prazo.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo, realizar a caracterização geomorfológica de uma falésia costeira no município de Baía Formosa, estado do Rio Grande do Norte, usando LIDAR aerotransportado. Será executada uma análise morfométrica: altura da falésia, perfil topográfico, identificação de cicatrizes erosivas de movimentos de massa, reentrância erosionais, intervenções antrópicas e avaliação da técnica utilizada.

O emprego da tecnologia LIDAR na descrição de feições geomorfológicas busca identificar e quantificar variações geomorfológicas fundamentais para estudos de caracterização e no subsídio a tomada de decisões na gestão de ambientes costeiros. Assim, permitiu a execução de levantamentos rápidos em campo, ao mesmo tempo que possibilitou a mensuração e descrição das feições geomorfológicas em escala adequada ao entendimento dos processos de curto prazo, constituindo o estado da arte para pesquisas em falésias costeiras.



Área de Estudo

A área de estudo está localizada no município de Baía Formosa, no litoral oriental do Rio Grande do Norte, sentido N-S. A linha da falésia é orientada no sentido NE/SW, com face exposta para W, ocupando a parte central do embaixamento, onde a difração e a reflexão das ondas produzem um maior poder erosivo.

Mapa de Localização das falésias de Baía Formosa (RN)



Fonte: os autores, 2025.

A região é formada por depósitos sedimentares quaternários com planície de acumulação eólica recobrando a maior parte do tabuleiro costeiro, este fica evidente em níveis mais rebaixados (fig. 01). O período chuvoso concentra-se de abril a julho, com uma média da precipitação em torno de 1.600mm anuais por influência das ondas de leste associadas ao sistema de brisas marítimas e atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (Pinheiro *et al*, 2010). A direção das ondas varia segundo o comportamento no padrão de circulação dos ventos que predomina de sudeste.



Figura 1: Visualização da área de estudo Morfologia da área de estudo.



Fonte: os autores, 2025.

METODOLOGIA

O trabalho para caracterização geomorfológica da falésia de Baía Formosa foi ancorado em uma abordagem empírica e conceitual, aplicando técnicas de levantamento de campo utilizando a tecnologia LIDAR para obter parâmetros morfométricos, os quais serviram de base para análises qualitativas da escarpa costeira analisada. Ao mesmo tempo, em campo, foram realizadas descrições das feições geomorfológicas visíveis ao longo de toda a escarpa.

O escaneamento a laser aerotransportado (*Airborne Laser Scanner*) apresenta grande potencialidade para aplicação geomorfológica, tanto por gerar modelos de representação espacial com resolução centimétrica, quanto por permitir mensurar feições abaixo da vegetação.

O sensor LIDAR, embarcado na Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) DJI Matrice 300 RTK, é modelo DJI Zenmuse L1. O voo foi realizado em 21 de agosto de 2024 (fig. 02), adotando a técnica de voo oblíquo, altura de 60 metros, o que gerou uma nuvem de pontos em modo de retorno triplo com 221 pontos/m², também foi gerado um ortomosai- cos com GSD de 1,64 centímetros gerado a partir de 189 fotos captadas pelo Sensor CMOS presente na L1. As condições atmosféricas no momento do levantamento foram de tempo bom, com suporte por posicionamento por satélite por meio da tecnologia *Real Time Ki-*



nematic (RTK), conferindo ao levantamento precisão centimétrica.

Figura 2: Decolagem para execução do levantamento na área de estudo do Matrice 300 RTK com DJI Zenmuse L1



Fonte: os autores, 2025.

A adoção do retorno triplo, isto é, a captação de até três ecos por pulso, é importante para tentar realizar o melhor modelo de terreno para a análise da falésia, isto em função da possibilidade de penetração da vegetação pelo pulso a laser, e o registro de informações do terreno sob a vegetação, o que é muito importante no contexto da falésia com cobertura florestal. Assim, os múltiplos retornos permitem uma melhor caracterização da superfície, servindo de suporte para melhores diagnósticos morfométricos. Em geral, o primeiro retorno ocorre no topo da copa das árvores, o segundo em galhos ou vegetação intermediária, e por fim, o terceiro retorno ocorre no terreno.

Tais características do LIDAR permitem a superação de limitações da aerofotogrametria multiespectral ou na faixa do visível, a qual não possibilita filtrar a cobertura vegetal na modelagem de modelos de superfície. Neste sentido, a aplicação do LIDAR permite classificar e filtrar pontos de terreno, removendo vegetação, edificações e outras feições. Destaca-se que em uma estrutura sólida, como uma edificação, o pulso retorna totalmente no primeiro impacto, sem gerar retornos secundários ou terciários.

O processamento dos dados e medições morfométricas da falésia foram realizadas no software DJI Terra 4.2.5 enquanto os mapas finais foram produzidos no ArcMap 10.8.2 (licença do Programa de Pós-Graduação em Geografia PPGe/UFRN).



A delimitação da borda falésia se deu pelo procedimento proposto por Hapke e Reid (2007) a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) derivado da nuvem de pontos. O método consiste na aplicação da ferramenta *hillshade* para melhorar a visualização de alterações na inclinação da superfície, possibilitando a digitalização manual da borda da falésia com base na interpretação visual da forma.

O levantamento de campo consistiu na aplicação de métodos sistemáticos de medição das feições geomorfológicas identificadas na zona costeira, bem como na descrição detalhada da estrutura da falésia e da morfologia praial (fig. 03).

Figura 3: Levantamento de campo



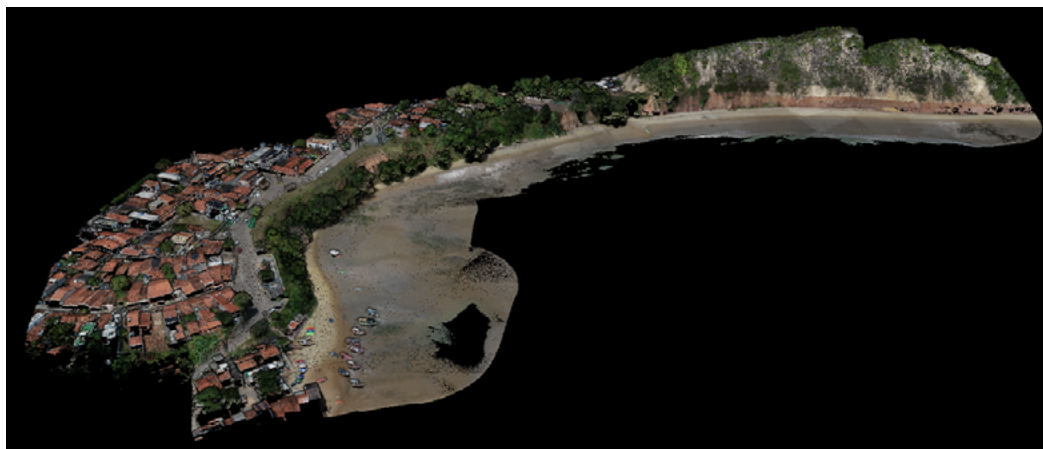
Fonte: os autores, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados foi descrito um segmento de 989 metros de extensão da falésia (fig. 04), sendo 628 metros com tabuleiro costeiro no topo e 361 metros com duna recobrindo o tabuleiro, as alturas variam entre 10,22 e 21,6 metros.



Figura 4: Nuvem de pontos (221 pontos/m²) de toda extensão de 989 metros das falésias em perspectiva NE/SW



Fonte: os autores, 2025.

Entre os produtos gerados, temos intensidade de retorno, ou refletividade da superfície (fig. 5A) e a altitude em relação ao nível do mar (fig. 5B). A refletividade indica a capacidade da superfície de refletir o pulso a laser emitido pelo sensor, é bom registrar que o pulso emitido utilizando uma faixa do infravermelho próximo (905 nm). Superfícies mais claras e lisas tendem a refletir melhor o pulso, tais como a areia da praia, rochas utilizadas na construção, principalmente as de caráter félsico e calçamentos. Por sua vez, superfícies escuras e ou rugosas, tendem ter menor poder de refletir o pulso a laser de volta para o sensor, principalmente a vegetação, sombra e áreas úmidas.

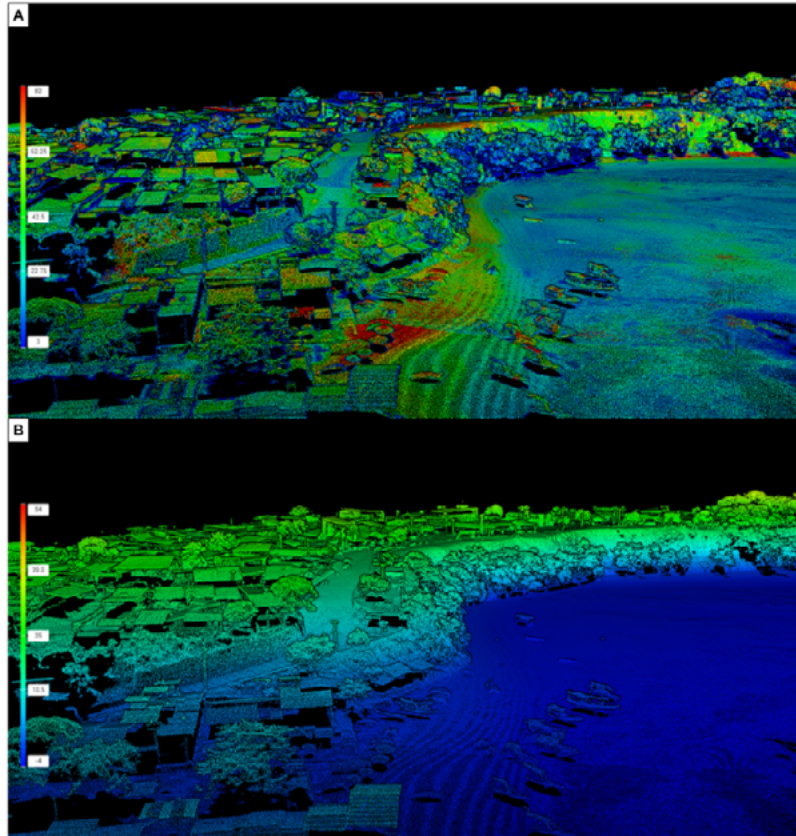
Os valores de refletividade encontrados no levantamento variam entre 3 e 82, percebeu-se a predominância de boa reflexão em áreas com areia na faixa praial, rochas no muro de arrimo, e em gramíneas na parte de cima das falésias. A alta reflexão nas gramíneas, mesmo se constituindo-se vegetação, é algo esperado, haja vista que se trata de uma superfície plana, com gramíneas recém cortadas (altura aproximada entre 3 e 5 centímetros) e moderada cerosidade, com espaços vazios que permitem a exposição do solo claro, oriundo da intemperização da formação barreiras.

Cabe-se registrar que os valores de refletividade dos pulsos LIDAR se constituem adimensionais relativos em uma janela útil (no caso do Sensor Zenmuse L1 estes valores podem variar entre 0 e 255 – 8 bits), portanto, sem unidade e conotação física. Além disso, os valores podem variar em função de diversos parâmetros, tais como, condição da superfície no momento da missão quanto a presença de umidade, distância entre superfície e sensor, ângulo de incidência do pulso. Neste sentido, os valores de refletividade só são comparáveis quando se considera dados coletadas dentro de uma mesma missão, a menos que sejam normalizados.



Pode-se citar a utilidade deste tipo de dado, pois o valor pode ser utilizado para suporte a treinamento de classificação dos pontos, detecção de objetos específicos em meio a alvos dominantes, incluindo feições difíceis de distinguir pela geometria ou pela pequena dimensão.

Figura 5: Refletividade (A) e altitude em relação ao nível do mar (B)



Fonte: os autores, 2025.

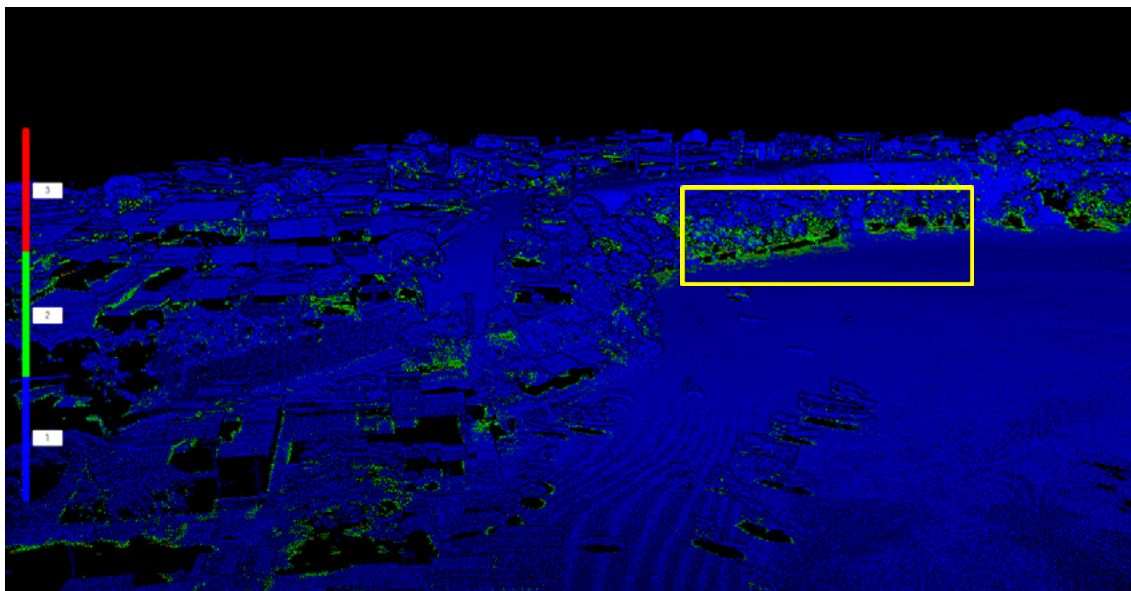
Os dados de elevação em relação ao nível do mar também são gerados no DJI Terra, e fazem parte do conjunto tridimensional detalhado gerado pela altíssima quantidade de pontos por metro quadrado (221 pontos). A elevação é calculada em função de uma superfície de referência. O levantamento é realizado utilizando-se o Datum WGS 84, com referência vertical elipsoidal. No entanto, durante o processamento, pode-se aplicar uma transformação para altura ortométrica, utilizando um modelo global de ondulação geoidal. No DJI terra estão disponíveis o EGM96 e EGM2008, este último utilizado para transformação dos dados neste levantamento em função de sua melhor precisão comparativamente ao EGM96. Porém, não está disponível o MAPGEO 2015, o modelo oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O retorno dos pulsos a laser emitidos pelo sensor demonstra a capacidade de atra-



vessar a vegetação (fig. 06). Percebe-se principalmente na face da falésia vegetada, vários pontos em que houve retorno secundário ou até terciário, permitindo que se possa mapear com eficiência o terreno.

Figura 6: retorno dos pulsos a laser emitidos pelo sensor LIDAR com o terceiro e segundo retorno concentrados mais na face com densa vegetação



Fonte: os autores, 2025.

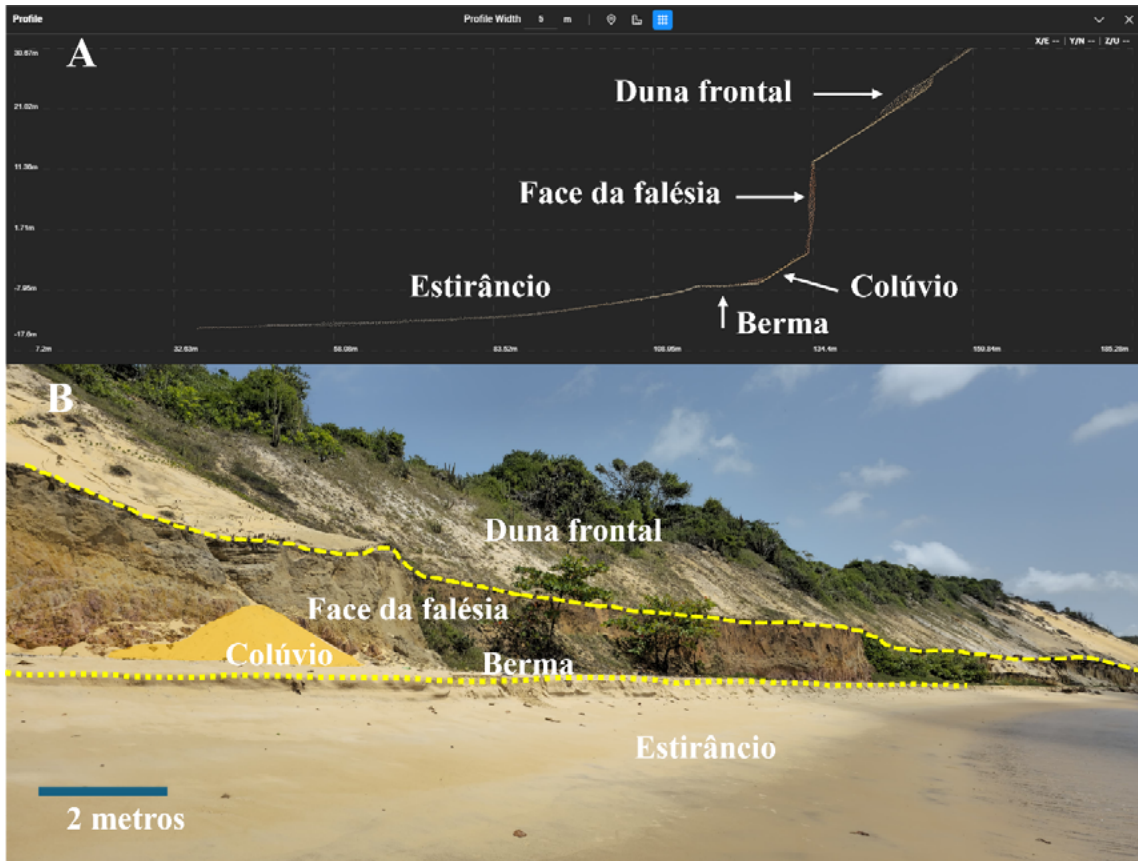
A capacidade de múltiplos retornos potencializa o emprego do LIDAR para medições e caracterização geomorfológica, permitindo identificar e medir feições no solo sob a vegetação em falésias e outros tipos de encostas. Essa característica amplia a capacidade de análise na relação forma-processo de curto e médio prazo. Uma vez que é possível mensurar com precisão os efeitos erosivos e/ou movimentos de massa, pós um evento de precipitação máxima. Mudanças em qualquer uma das variáveis que compõe uma encosta tenderão a causar um reajuste na forma e no processo (Hugget, 2017). Muitas vezes, essas alterações são sutis, de centímetros, em que se destaca a acurácia LIDAR ao permitir identificar variações com alta resolução espacial. Ao mesmo tempo, o levantamento de dados rápidos e precisos contribui na medição de parâmetros morfométricos, base para compreensão de eventos geomorfológicos que inferem na modelagem do relevo.

No que tange a escala das feições mensuradas, a junção entre o perfil gerado por meio da nuvem de pontos (fig. 07A) e a caracterização de campo permitiu identificar feições com estirâncio, berma, face da escarpa e pequenos depósitos de colúvio na base da falésia (fig. 07B). Formas geomorfológicas como bermas, cristas de berma e pequenos depósitos de colúvio só são visíveis em levantamentos com escala de precisão centimétrica.



A altura da falésia nesse trecho é de 13,36 metros, enquanto a duna defronte à praia alcança a cota de 30,67 metros de altura. As formas observadas indicam que, no período atual, os processos erosivos marinhos apresentam pouca influência no entalhe da falésia.

Figura 7: Formas geomorfológicas que foram identificadas na nuvem de pontos visível no perfil e na fotografia do levantamento de campo.

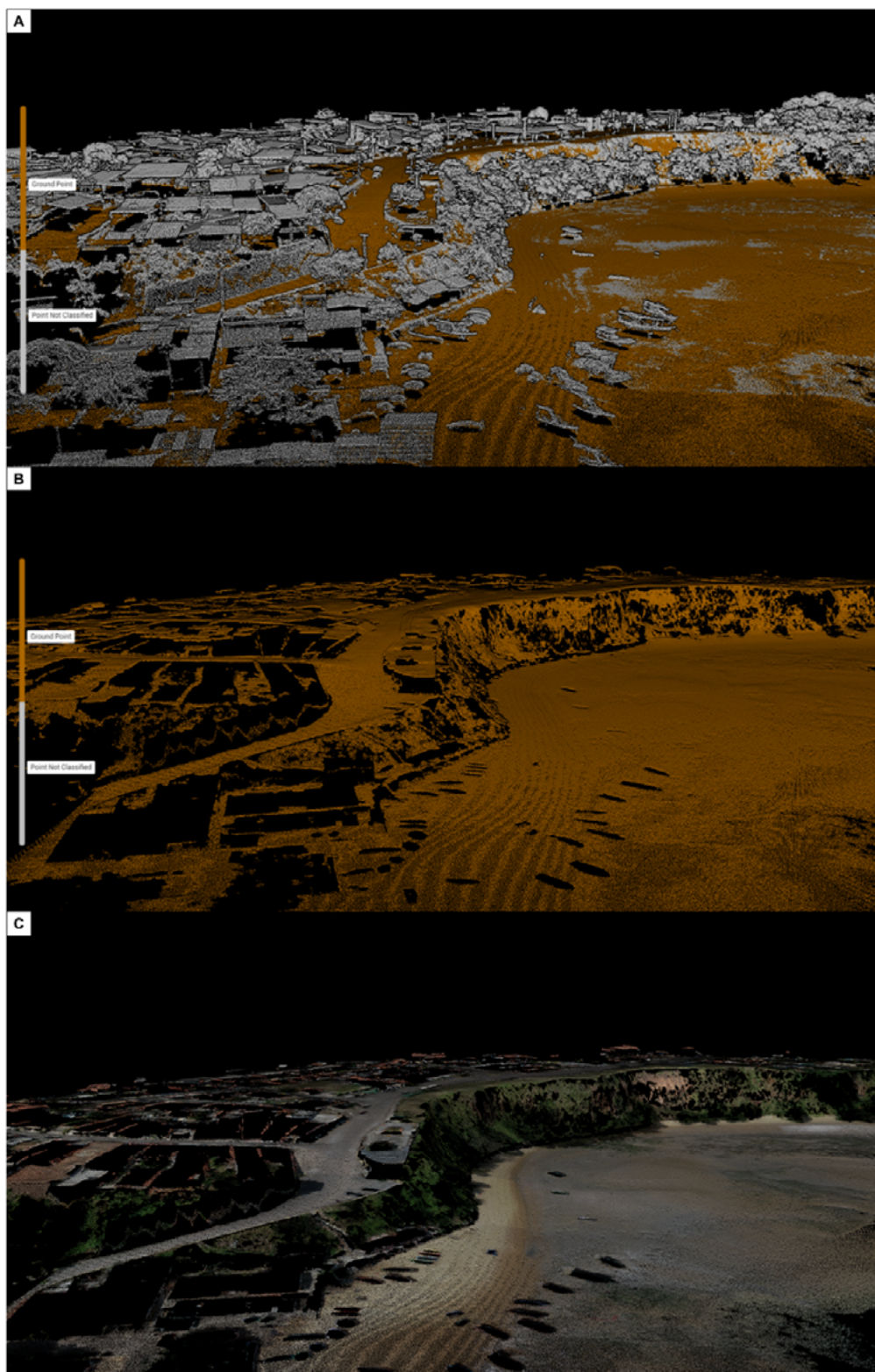


Fonte: os autores, 2025.

O emprego da ferramenta *Filter Point Cloud* permitiu separar os pontos não classificados (fig. 8A) dos pontos em solo, gerando representações do tipo *bare earth* (fig. 8B e 8C), ampliando a capacidade de interpretação da superfície e a identificação de feições que não são visíveis sem o uso dessa técnica.



Figura 8: A – nuvem de pontos com classificação automática identificando pontos de terreno e pontos não classificados; B – visualização apenas dos pontos do terreno; C – visualização apenas dos pontos do terreno com uso de composição RGB. Em B e C observa-se de forma direta o tabuleiro costeiro e face da escarpa, sem vegetação e/ou construções.



Fonte: os autores, 2025.



Quando classificados apenas os pontos do terreno, na face da escarpa, tornam-se evidentes as cicatrizes de movimentos de massa, assinatura geomorfológica da história evolutiva da falésia, com presença de colúvio acumulado na base (fig. 09). A construção de um muro de arrimo no sopé da falésia faz com que parte desse material coluvial permaneça preservado em decorrência da estabilização da escarpa frente à ação abrasiva das ondas. A intervenção impede a incisão basal e a remoção de sedimentos ao longo de um trecho de 434,02 metros da falésia, causando um reajustamento no sistema de processos-respostas.

Figura 9: Perfil Topográfico com indicação de depósito na base



Fonte: os autores, 2025.

Nesse trecho a falésia tem 20,35 metros de altura, com o depósito de colúvio abrangendo da base até a altura de 7,5 metros, que é sustentado pelo muro de arrimo. A condição de estabilização da falésia, promovida pela construção do muro de arrimo, permitiu o crescimento de árvores ao longo de toda base da encosta. Ou seja, a mudança nos processos possibilitou estabilidade na forma, permitindo a colonização por vegetação arbórea.

Foi possível identificar que na superfície do tabuleiro costeiro, predomina o processo de infiltração, ocorrendo escoamento superficial apenas nos locais onde há impermeabilização do solo, especialmente nas áreas próximas à escarpa, desencadeando processos erosivos pluviais. Em alguns trechos a distância entre as edificações e a borda da falésia é de 10 metros ou menos.



Algumas feições, como o desgaste em obras de engenharia que são decorrentes dos processos morfogenéticos foram identificadas em campo, não tendo sido possível visualizar no MDE gerado pelo LIDAR. A energia das ondas é um dos principais *inputs* no sistema morfológico em questão, sendo fator de esculturação ao longo do processo evolutivo da escarpa. Torna-se perceptível a intensidade das ondas pelo desgaste observado na estrutura do muro de arrimo (fig. 10).

Figura 10: Muro de arrimo com cicatrizes de desgaste e árvores na base da falésia



Fonte: os autores, 2025.

Aplicando o *Filter Point Cloud*, o qual considera apenas a nuvem de pontos do terreno, o MDE gerado revelou uma ravina encoberta pela vegetação, não visível em imagens de satélite ou produtos de aerofotogrametria. Em campo foi possível visualizar que a ravina foi gerada pelo escoamento de águas pluviais das áreas pavimentadas a montante (fig. 11). No local também foi identificado o escoamento de efluentes que desaguam na praia.



Figura 11: A – Modelo Digital de Elevação com o filtro que remove a vegetação; B – detalhe da borda da falésia recoberta pela vegetação em uma imagem de satélite no canal do visível; C – Ravina identificada no MDE, só visível com o emprego do filtro que remove a vegetação.



Fonte: os autores, 2025.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego da tecnologia LIDAR permitiu a execução de levantamentos rápidos em campo, ao mesmo tempo que possibilitou a mensuração e descrição das feições geomorfológicas em escala adequada ao entendimento dos processos de curto prazo, constituindo uma técnica com grande potencial para estudos geomorfológicos em falésias costeiras.

Uma das principais vantagens da técnica reside no fato de obter dados que estão por baixo da vegetação. Essa característica empregada nas escarpas costeiras permite identificar áreas de maiores risco à erosão pluvial, onde eventos de precipitação podem reativar feições em condições estáveis.



O uso da tecnologia LIDAR no mapeamento de escarpas costeiras também viabiliza a aplicação de metodologias de geoprocessamento ao campo da geomorfologia aplicada. Como desdobramento do trabalho atual, as possibilidades são de delimitação automática da borda da falésia com uso de modelos digitais de alta resolução espacial; monitoramento de recuo de falésias e linha de costa através de método sem-automático; caracterização multi-temporal de movimentos de massa; entre outras aplicações.

Em um contexto de mudanças climáticas e intensificação da erosão costeira, alterando no curto prazo a linha de costa, empregar novos métodos e técnicas que permitam compreender melhor a relação forma-processo em escarpa costeiras, constitui um dos desafios para a Geomorfologia atual. Logo, os resultados aqui alcançados podem contribuir com a perspectiva de monitoramento de regiões costeiras com falésias.

REFERÊNCIAS

EMERY, K. O.; KUHN, G. G. Sea cliffs: their processes, profiles, and classification. *Geological Society of America Bulletin*, v. 93, n. 7, p. 644–654, jul. 1982. Disponível em: <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-pdf/93/7/644/3444719/i0016-7606-93-7-644.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2025.

HAPKE, C. J.; REID, D. *National assessment of shoreline change, part 4: historical coastal cliff retreat along the California coast*. Reston: U.S. Geological Survey, 2007. (Open-File Report, 2007–1133). Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/of/2007/1133>. Acesso em: 14 jul. 2025.

HUGGETT, R. J. *Fundamentals of geomorphology*. 5th ed. Abingdon: Routledge, 2022.

MENIER, D. et al. Quantifying coastal cliff retreat, sediment volume, and dynamics using photogrammetry and geospatial analysis in the Pénestin Peninsula, France. *Sediment Transfer Along Pénestin Peninsula Coastline: Insights from Photogrammetric Analysis and Integrated Littoral Monitoring*, SSRN, 38 p., jul. 2024. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=4885685>. DOI: 10.2139/ssrn.4885685. Acesso em: 14 jul. 2025.

PALASEANU LOVEJOY, M. et al. Automatic delineation of seacliff limits using lidar derived high resolution DEMs in Southern California. *Journal of Coastal Research*, v. 76, p. 162–173, dez. 2016. DOI: 10.2112/SI76-014. Disponível em: <https://doi.org/10.2112/SI76-014>. Acesso em: 14 jul. 2025.

SWIRAD, Z. M.; YOUNG, A. P. Automating coastal cliff erosion measurements from large-area LiDAR datasets in California, USA. *Geomorphology*, v. 389, p. 107799, maio 2021. DOI: 10.1016/j.geomorph.2021.107799. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107799>. Acesso em: 14 jul. 2025.

TEREFENKO, P. et al. Monitoring cliff erosion with LiDAR surveys and Bayesian network-based data analysis. *Remote Sensing*, v. 11, n. 7, p. 843, 2019. DOI: 10.3390/rs11070843. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs11070843>. Acesso em: 14 jul. 2025.



YOUNG, A. P.; ASHFORD, S. A. Application of airborne lidar for seacliff volumetric change and beach-sediment budget contributions. *Journal of Coastal Research*, v. 22, n. 2 (222), p. 307–318, mar. 2006. DOI: 10.2112/05-0548.1. Disponível em: <https://doi.org/10.2112/05-0548.1>. Acesso em: 14 jul. 2025.

WU, Q. et al. Airborne LiDAR intensity correction based on a new method for incidence angle correction for improving land-cover classification. *Remote Sensing*, Basel, v. 13, n. 3, p. 1–20, 2021. DOI: 10.3390/rs13030511. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs13030511>. Acesso em: 23 jul. 2025.



DA EROÇÃO À RECUPERAÇÃO COSTEIRA: A VALORAÇÃO CONTINGENTE COMO FERRAMENTA DE CONSERVAÇÃO DA PRAIA DO ICARAÍ, CE

José Lucas Marques Albuquerque ²⁷

Vitoria Ferreira de Souza ²⁸

Larissa Amorim de Oliveira ²⁹

Henrique Ramos de Paiva ³⁰

José Helio Alves Gondim ³¹

Antônio Gabriel dos Anjos de Vasconcelos ³²

Otávio Augusto de Oliveira Lima Barra ³³

Kamila Vieira de Mendonça ³⁴

Fábio Perdigão Vasconcelos ³⁵

Palavras-chave: Erosão Costeira, Recuperação Ambiental, Valoração Ambiental.

RESUMO

A valoração ambiental dos recursos litorâneos é fundamental para a conservação dos nossos litorais. A praia do Icarai sofre com um intenso processo de erosão há mais de 30 anos. Atualmente, o projeto de recuperação do litoral de Caucaia vem restabelecendo um novo cenário para essa praia, podendo a valoração ser a chave para conservação dos serviços ecossistêmicos. Desse modo, nesta pesquisa foram realizados levantamentos bibliográficos, atividades em campo (in loco), cujos dados foram, posteriormente, separados, selecionados e organizados. Portanto, foi possível identificar que a melhor técnica

²⁷ Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE, lucasmarques.lm922@gmail.com;

²⁸ Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE, vitoriah.ferreira@aluno.uece.br;

²⁹ Mestrando Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE, larissa.amorim@aluno.uece.br;

³⁰ Mestrando Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE, henriq.ramos@aluno.uece.br;

³¹ Mestrando Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE, hellio.gondim@aluno.uece.br;

³² Graduando do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE, antoniogabrielanjos2001@gmail.com;

³³ Professor pelo Curso Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE, otavio.lima@uece.br;

³⁴ Professor coorientadora do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará - UFC, kamila@ufc.br;

³⁵ Professor orientador do programa de Pós-graduação em geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE, fabio.perdigao@uece.br;



de valoração que se aplica a esse ambiente, é a valoração contingente, visto a variedade recursos que podem ser valorados e, conseqüentemente, conservados. Essa escolha segue parâmetros metodológicos sugeridos na pesquisa, justificando a necessidade e os objetivos dessa valoração na praia do Icaraí.

INTRODUÇÃO

A valoração é um mecanismo de avaliação dos recursos ambientais que advém da escola econômica neoclássica. O intuito dessa técnica, é demonstrar para sociedade a importância do bem ambiental, instigando a conservação/preservação dos bens e serviços. Esse método de avaliação ambiental, estipula monetariamente o impacto das atividades antrópicas resultante de uma variação na qualidade dos bens ou serviços ambientais estudados (MOTTA, 2006).

A valoração dos recursos ambientais pode ocorrer a partir do uso ou não uso do recurso analisado. Desse modo, quando se pretende valorar tais recursos ambientais (mangues, praias, dunas, etc.) o valor econômico ambiental pode ser atribuído a partir do valor de uso, ou seja, por meio da utilização direta desses recursos, para fins recreativos, lazer ou econômicos. Ocorre também, o valor de não uso que se refere aos valores de especulação quanto ao seu valor para com sua preservação cultural, histórico e ambiental (MOTTA, 2006; MORGADO *et al.*, 2011).

Segundo ANDRADE (2008), as técnicas de valoração existentes são divididas em métodos diretos, que ocorre por meio da obtenção da DAP indireta (custo de viagem e seus valores hedônicos) e DAP direta (avaliação contingente). Ocorrem ainda os métodos baseados em mercados de bens substitutos que provêm dos custos evitados, custos de controle, custos de reposição.

Não há uma classificação única quanto a valoração de uso dos recursos naturais, permitindo ao pesquisador, uma certa autonomia quanto a escolha da técnica, desde que essa seja, acima de tudo, baseada em abordagens flexíveis para com sua aplicação. A escolha de uma técnica de valoração deverá sempre confluir com utilidade do bem natural apresentado, destacando aos usuários, os benefícios diretos e indiretos em relação aos seus benefícios socioeconômico e seus possíveis danos ambientais resultantes (OLIVEIRA, J, 2003; COSTA *et al.*, 2015).

Das técnicas de valoração que avaliam a disposição a pagar (DAP) dos indivíduos por determinado recurso natural, o Método de Valoração Contingente (MVC), busca por meio das avaliações dos agentes socioeconômicos sobre o ambiente, um mercado hipotético que simula um cenário de uso ou não uso de determinado recurso ambiental (COSTA *et al.*, 2015). O intuito é buscar no usuário o seu interesse em conservar esse ambiente, levando a estipular o maior valor monetário que o indivíduo pode disponibilizar em prol



da manutenção da qualidade para conservação ou preservação dos recursos ambientais.

As praias fazem parte do grande ecossistema costeiro global, recobertas por extensas áreas de bens naturais de usos mistos, mas também de proteção, preservação e conservação natural. As literaturas consolidadas, apontam as praias como áreas recobertas por sedimentos não consolidados (areia, cascalho, seixos ou até mesmo fragmentos de conchas) em contato com o oceano, se estendendo desde a linha de baixa mar até a linha de preamar, onde após esse trecho, há uma significativa interação entre a morfologia (como bermas, dunas ou falésias) e vegetação, moldada principalmente pela ação agentes costeiros como ondas, correntes e ventos (BIRD, 2008; KOMAR, 1998).

O litoral do Município de Caucaia está situado no estado Ceará e possui cerca de 10 praias ao longo da costa (PMTTC, 2018; SETUR, 2022), sendo elas: Praia dos dois Coqueiros, Praia de Iparana, Praia do Cumbuco, Praia da Tabuba, Praia do Pico das Almas, Praia da Barra Nova, Praia da Barra do Cauípe, Praia do Pacheco, Praia do Boqueirão e Praia do Icaraí, sendo essa a delimitação dessa pesquisa. O litoral de Icaraí tem passado por significativas transformações morfológicas desde o final do século XX, resultado dos processos erosivos que afetam toda a zona costeira (MESQUITA, 2014; LIMA, I.F.P; PAULA, D.P, 2018).

A praia do Icaraí passou por dois grandes projetos de recuperação ambiental para proteção e reposição da faixa de areia. A primeira intervenção com obras costeiras ocorreu na década de 2010 com a construção das estruturas de bagwall (similares aos degraus/escadas). Contudo, a estrutura não trouxe resultados proveitosos aos sistemas, colapsando em diversos momentos após sua conclusão (SOUZA, 2011; PAULA *et al.*, 2013).

A segunda fase de intervenções iniciou-se em 2022 com a implementação do Projeto de Recuperação do Litoral de Caucaia. Esta iniciativa inclui não somente a construção de 11 estruturas costeiras rígidas e senoides (espigões), mas também inclui a engorda artificial das praias por meio de aterro hidráulico (VASCONCELOS *et al.*, 2022). No trecho da praia do Icaraí, as obras já foram parcialmente finalizadas e seguem para os estágios de urbanização das áreas próximas.

Essa pesquisa busca construir diálogos e discussões resultantes da implantação do projeto de recuperação costeira no trecho da praia do Icaraí. O objetivo é pôr em discussão como a técnica de valoração ambiental pode ser posta como ferramenta de conservação dos espaços litorâneos na medida que se identificam as principais dificuldades em valorar ambientes tão sensíveis e dinâmicos. Desse modo, a valoração poderá subsidiar planos e projetos de conservação que agreguem a proteção dessa praia após a execução do projeto de recuperação, considerando principalmente a proteção dos bens naturais (praia, dunas e vegetação) e seus recursos provenientes (atividades recreativas, banho e esportes aquáticos).



MATERIAIS E MÉTODOS

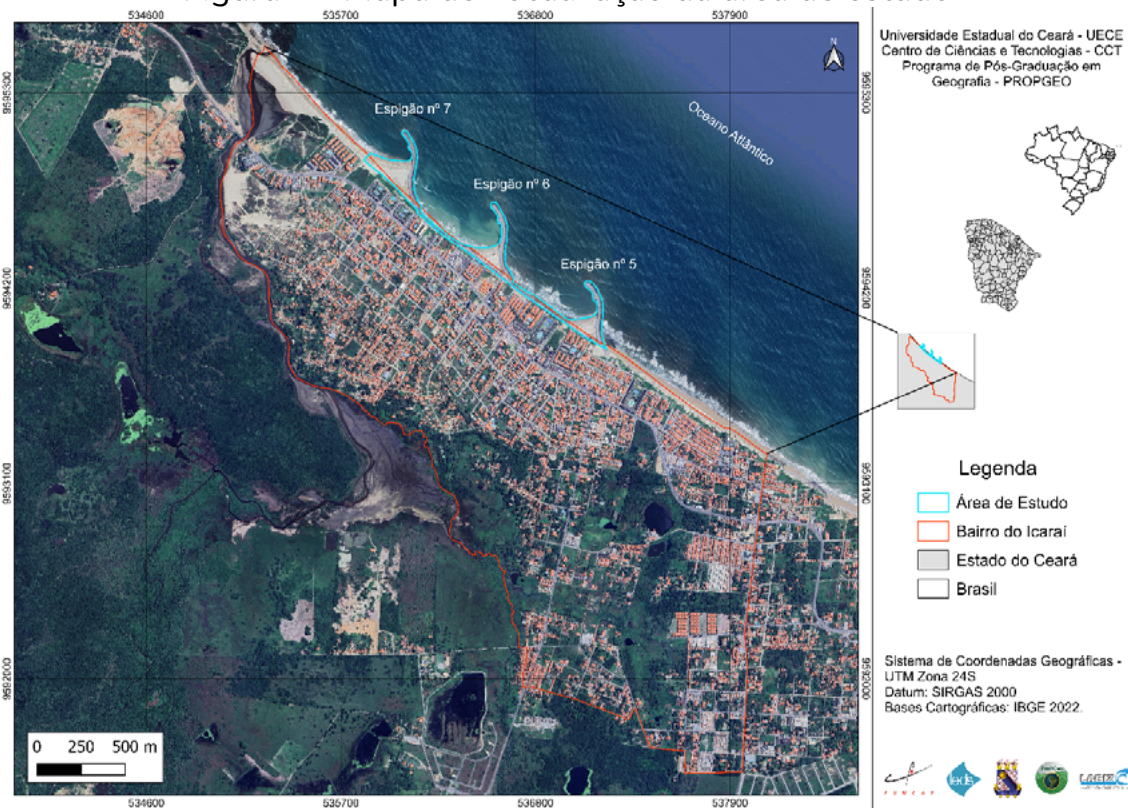
ÁREA DE ESTUDO

O Município de Caucaia está situado na porção nordeste do estado do Ceará, (Figura 1). O Município faz parte da Região Metropolitana de Fortaleza e tem como fronteira ao norte o Oceano Atlântico, ao leste o Município de Fortaleza (capital) e Maracanaú, ao sul com os municípios de Maranguape e Pentecoste, e a oeste o Município de São Gonçalo do Amarante (IPECE, 2017; IBGE, 2025).

A bacia hidrográfica do Município possui lagoas e açudes, com destaque para os açudes Sítios Novos e Cauípe. É um dos municípios cearenses mais ricos em lagoas permanentes. Contudo, os rios de Caucaia se caracterizam por serem temporários. Sua principal via fluvial é o rio Ceará, que corta o Município em sua maior extensão, dirigindo-se de sudoeste a nordeste, com um curso de aproximadamente 50 km desaguardo na sua foz limítrofe com a capital, Fortaleza (PROJETO ORLA, 2018).

A quadra chuvosa ocorre entre os meses de janeiro a junho, com uma temperatura média anual variando de 26 C a 28 °C, possuindo uma precipitação pluviométrica média anual de 1.326 mm (IPECE, 2017).

Figura 1 - Mapa de Localização da área de estudo



Fonte: Produzidos pelos autores, 2025



MATERIAIS E METODOS

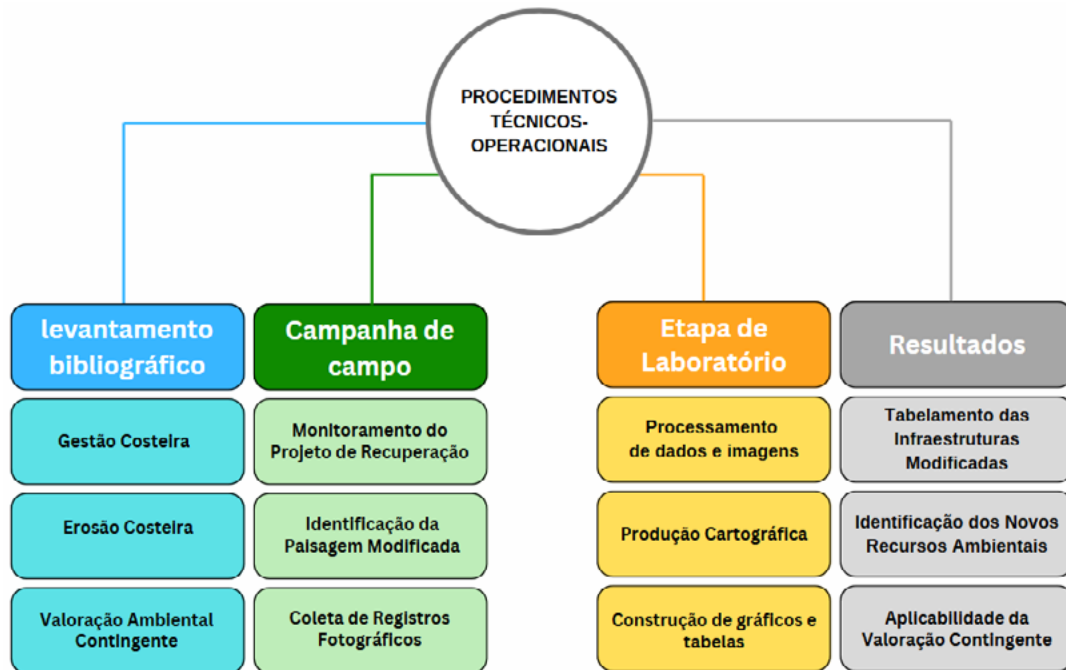
A pesquisa foi desenvolvida a partir de um caráter exploratório (buscando compreender o problema da erosão), mas também descritiva (identificando os impactos e soluções adotadas). Dessa forma, foi posto em execução três etapas metodológicas sendo, a coleta de dados bibliográficos, levantamento de dados *in loco* (campanhas de campo) e processamento das informações obtidas em laboratório. A pesquisa pautou-se principalmente em dois grandes eixos, sendo eles a erosão costeira e a valoração ambiental contingente. Ambas as terminologias serviram como palavras-chave para determinar os eixos bibliográficos dessa pesquisa.

Em campo, ocorreram 2 campanhas de obtenção de dados para atualização e acompanhamento das obras de infraestrutura. Nessa etapa, também utilizou-se uma classificação para categorizar os aspectos físicos, biológicos e socioambientais, sendo esses fundamentais para incorporação da valoração ambiental quanto à metodologia científica. Esses dados foram cruzados com os relatórios ambientais (EIA — RIMA) produzidos antes do projeto de recuperação do litoral de Caucaia ser executado.

O processamento das informações obtidas ocorreu por meio do software Excel, onde os dados das três (3) categorias foram divididos, organizados e mapeados por meio do software QGIS. Dessa forma, foi possível desenvolver as tabelas e mapas apontando os principais serviços ecossistêmicos após a implementação dos espigões e como a valoração contingente pode ser utilizada como mecanismo de conservação. A figura 2 destaca os procedimentos metodológicos dessa pesquisa, com ênfase ao procedimentos em cada etapa supracitada.



Figura 2 – Esquema dos procedimentos metodológicos da pesquisa



Fonte: produzidos pelos autores, 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

OS NOVOS RECURSOS SOCIOAMBIENTAIS DA PRAIA DO ICARAÍ

O projeto de recuperação do litoral de Caucaia posta em execução no ano de 2022, inicialmente no trecho da praia do Icaraí, trouxe consigo diversas mudanças para a paisagem costeira da praia. As estruturas rígidas (espigões) foram construídas para mitigar os efeitos da erosão costeira na região. Desse modo, todos os 7 km de praia foram totalmente modificados pela nova dinâmica dos sedimentos frente à dinâmica marinha.

A recuperação do litoral trouxe uma nova modelagem à paisagem desse ambiente. Os espigões permitiram a deposição de sedimentos entre cada célula das estruturas, sem que ocorra uma interrupção abrupta ao sistema de transporte natural de sedimentos. Desse modo, com o fluxo de sedimentos sendo barrado (parcialmente), essa praia voltou a ter volumes de areias nos trechos mais afetados pela erosão, formando antepraia, praia, berma e áreas de banho (VASCONCELOS, 2024). As estruturas resultaram em um acúmulo de sedimentos na área interna da praia, permitindo a formação de áreas de banho com águas menos turbulentas, sendo mais favoráveis ao uso recreativo (ALBUQUERQUE, 2024).

Esse efeito está relacionado a uma “área de sombreamento/proteção” gerada pelas estruturas que interceptam as correntes litorâneas e dissipam a energia das ondas antes que elas cheguem à praia, diminuindo sua altura e força. No Icaraí, é possível observar



características morfodinâmicas pertinentes a tais processos supracitados, onde é possível ser visualizado, por meio de uma escala temporal de imagens, o acúmulo de sedimentos ocasionado com o advento dos espigões (Figura 3).

Figura 3 - Evolução temporal da praia do Icaraí



Fonte: Produzidos pelos autores, 2025.

A partir desses novos atrativos, a praia do Icaraí passou a ser mais frequentada por usuários que buscam, por meio dos esportes, lazer e turismo (SILVA, 2023), novas formas de usufruir das infraestruturas públicas dessa praia (Figura 4). O grande volume de visitantes traz efeitos negativos ao sistema ambiental, podendo resultar em um maior volume de poluição na praia, na vegetação e na qualidade do ar.



Figura 4 - Usos e intervenções na Praia do Icaraí



Fonte: produzidos pelos autores, 2025.

A atividade socioeconômica também ganhou mais expressividade, com o surgimento de novas possibilidades do comércio para consumo de bens e serviços, como, por exemplo, com a atividades das barracas de praia, comércio de vendedores ambulantes além da criação de empregos de forma direta e indireta (SILVA, 2023). As obras costeiras trouxeram uma nova perspectiva à população residente no litoral do Icaraí, visto que agora as residências não estão sob risco de serem afetadas diretamente pela atuação das ondas que antes atingiam a infraestruturas públicas e privadas.

Nesse contexto, vale destacar que o processo de erosão costeira reduziu drasticamente toda e qualquer atividade na região em função da atividade marinha (swell, ressacas, marés). Esse conjunto de consequências ambientais resultaram em impactos tanto para o setor hoteleiro como para o comércio local, principalmente das barracas de praia que dependiam da dinâmica marinha para conseguirem atuar sem que haja risco aos visitantes. Desse modo, com o aumento da concentração de sedimentos e a formação dessas áreas de praias, esses trechos tornaram-se fundamentais para o retorno das atividades socioeconômicas na região, permitindo não só a atuação das barracas, mas também tornando-se um espaço de uso comum aos turistas e visitantes.

O projeto de recuperação permitiu que essa praia entrasse em um processo de resiliência dos seus bens ambientais. A tabela 1 demonstra cerca de 6 processos em fase de recuperação identificados nesta praia, ao mesmo tempo que demonstra alguns dos



principais efeitos resultantes do projeto no espaço. Destaca-se também os possíveis efeitos, que estão atrelados às obras de proteção costeiras.

Tabela 1 - Recursos ambientais da Praia do Icaraí após os espigões

Aspecto	Recurso Ambiental	Características	Efeitos
Físico	Acúmulo de areia (bermas)	Engorda natural da faixa de praia devido ao acúmulo de sedimentos pelos espigões	Área de recreação; Proteção contra erosão costeira
Físico	Trechos de banho	Formação de áreas rasas (zona de sombra) entre os espigões.	Habitat marinho; Área de banho
Biológico	Aéreas artificiais de microrganismos	Aumento da comunidade de mexilhões e algas nas rochas dos espigões.	Aumento da Biodiversidade
Biológico	Vegetação de restinga	Estabilização sedimentar pela vegetação.	Fixação dos sedimentos; resiliência dos ecossistemas costeiros.
Socioambientais	Turismo de sol e mar (veraneio)	Consumo de bens e serviços turísticos.	Atividades socioeconômica; Supressão ao litoral.
Socioambientais	Educação ambiental	Espigões como áreas de estudos sobre a erosão.	Conscientização ambiental; Pesquisa aplicada.

Fonte: Produzidos pelos autores, 2025

Os efeitos identificados nessa praia devem ser avaliados considerando o uso e a ocupação do litoral do Icaraí, especialmente diante do aumento significativo no fluxo de visitantes. É essencial que tais órgãos (PMC — SOP) e entidades ambientais (IMAC) monitorem os efeitos da obra a médio e longo prazo, garantindo que o processo de recuperação e resiliência ocorra no tempo ideal para a recomposição da dinâmica costeira.



Entretanto, a conservação dessa praia necessita da avaliação conjunta entre os órgãos supracitados, mas associados a participação social da sociedade local como subsídio para a gestão costeira. A técnica de valoração pode ser utilizada como mecanismo para a conservação desses novos bens, contribuindo para a manutenção das infraestruturas costeiras, além de subsidiar projetos de avaliação e monitoramento ambiental em conjunto com gestão municipal.

A VALORAÇÃO COMO MECANISMO DE CONSERVAÇÃO DA PRAIA DO ICARAÍ

Os recursos ambientais geram diversos impactos positivos, porém, na ausência de um plano de conservação ou preservação adequada, podem resultar no rápido desaparecimento. A manutenção dos recursos ecossistêmicos costeiros está inserida no Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), que estabelece diretrizes e ferramentas de proteção da zona costeira, as quais devem ser implementadas por estados e municípios.

A valoração é um instrumento técnico que pode ser utilizado como uma prática política, mas também pedagógica quanto à proteção das novas infraestruturas dessa praia (espigões, vegetação, comércio etc.). No entanto, essa técnica deve ser utilizada como mecanismo de gestão participativa para então obter o uso sustentável (conservação integrada). Ao aplicarmos esses preceitos teóricos metodológicos na praia do Icaraí após projeto de recuperação, identificamos que a técnica de valoração contingente poderá trazer contribuições a gerenciamento costeiro local, tornando-se uma ferramenta extremamente importante para gestão de novos bens implementados.

A valoração contingente é um método de valoração direta que, mediante aplicação de questionários ou entrevistas, estima a disposição a pagar (DAP) das pessoas pela conservação/preservação de bens ambientais ou pela mitigação de problemas ecológicos (como a erosão costeira). Alternativamente, o método também avalia a disposição a aceitar (DAA) como compensação pela perda ou indisponibilidade desses bens ambientais. Desse modo, para a praia do Icaraí, a técnica que melhor poderá trazer resultados está direcionado nas metodologias diretas, considerando a disposição a pagar (DAP) dos usuários pelos novos recursos que estão disponíveis nessa praia.

O incentivo ao pagamento por serviços ambientais pode gerar benefícios que ultrapassam o caráter ecológica, promovendo tanto a conservação dos recursos naturais quanto novas formas de uso e apropriação sustentável desses bens ambientais. A praia do Icaraí oferece diversos serviços ecossistêmicos com valor econômico, como: recreação e turismo (lazer e esportes), proteção costeira (barreira natural contra erosão), biodiversidade (espécies de tartarugas-marinhas), sequestro de carbono (vegetação de restinga),



regulação térmica (influência na temperatura local) (COSTANZA *et al.*, 1998; GROOT *et al.*, 2002; BRASIL, 2021).

A valoração desses ambientes tornou-se uma peça-chave na manutenção e conservação do litoral do Icaraí, principalmente os ambientes já ocupados ou em um alto ritmo de exploração pelo ser humano. Os litorais são fundamentais para as economias globais, sejam para com o uso das atividades econômicas, turísticas e uso e consumo do espaço. Essas atividades geram impactos que podem reverberar e transformar diversas áreas em ambientes cada vez mais sensíveis à presença humana. Desse modo, a valoração pode ser conduzida como ferramenta de gestão ambiental do litoral a partir da identificação da disposição dos usuários a pagar pela preservação ou conservação dos benefícios provenientes das zonas costeiras. Todos esses recursos estão aptos a serem valorados estão destacados na Figura 5, sendo socioambientais, socioeconômicos e socioespaciais.

Figura 5 - Aspectos da praia do Icaraí após o projeto de recuperação



Fonte: Produzidos pelos autores, 2025

A conservação dos recursos também contribui para o planejamento urbano-ambiental do litoral de Caucaia que atualmente está densamente ocupada pelas infraestruturas imobiliárias que já estão fixas, mas estão sujeitas a eventuais processos marítimos, principalmente em um cenário de aquecimento global com subidas do mar, pondo essas residências risco de colapso. A valoração dos recursos da praia englobaria as estruturas públicas e privadas que estão no trecho de praia, ou de terrenos de marinha.



Contudo, o diálogo com a população deve ser fundamental na construção da valoração dessa praia. Conversar com os usuários sobre a conservação na praia do Icaraí, será uma tarefa árdua que deve estar em conjunto com o âmbito acadêmico e monitoramento, mas também deve ser acompanhada pelos órgãos públicos municipais. A incredibilidade governamental, somada a desconfiança ou descontentamento da população, pode gerar entraves para a ampliação da valoração da Praia de Icaraí.

A execução desse projeto de valoração deve ser acompanhada por etapas que considerem, o que definimos como “condições prévias para valoração” (Tabela 2), na qual cada instrumento deve ser posto em discussão categoricamente antes da implementação. As literaturas acerca da temática (AMORIM, A. B. B. D, 2015; CARSON, R. T., 2000; MOTTA, 2006) destacam diversas etapas que podem ser consideradas, mas cada ambiente analisado possui sua característica ambiental (problemas, risco, dificuldades e gestão).

Tabela 2 - Etapas de para aplicação da valoração no Icaraí

Etapa	Condição Prévia para Valoração	Descrição
1	Clareza sobre o objetivo da valoração	Definir se a valoração servirá para subsidiar políticas públicas, avaliar projetos ambientais ou captar recursos para conservação.
2	Diagnóstico socioambiental da área	Levantamento prévio sobre as condições ambientais da praia, o perfil da população e os principais usos do espaço costeiro.
3	Identificação dos beneficiários	Saber quem usufrui da praia e quem será afetado por políticas resultantes da valoração.
4	Discussão sobre inclusão social	Garantir que a valoração não exclua populações vulneráveis e que os benefícios ambientais sejam coletivos.
5	Transparência na comunicação com a população	Explicar de forma acessível o que é valoração, por que ela será feita e como os dados.
6	Avaliação da capacidade institucional local	Verificar se o Município tem estrutura técnica e política para aplicar os resultados da valoração em ações concretas.
7	Consulta pública e participação social	Estimular a escuta ativa da população, envolvendo conselhos locais, ONGs, pescadores e outros atores.
8	Adequação do instrumento ao contexto socioambiental do local	Adaptar os métodos e linguagem aos valores simbólicos que a população tem em relação à praia.

Fonte: Produzidos pelos autores, 2025



A busca pela conservação dos recursos litorâneos torna-se cada vez mais necessária em um cenário de mudanças climáticas, subida dos níveis dos oceanos e ameaça mundial aos ecossistemas ambientais. Conservar esses recursos vai para além da perpetuação dos ambientes naturais, significa garantir a existência desses bens para as próximas gerações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A praia do Icaraí demonstra um processo contínuo de resiliência após o projeto de recuperação que deve ser monitorado participativamente entre gestão municipal — sociedade — universidades. Contudo, somente a conservação dessa praia garantirá que as estruturas suportem o tempo, bem como sua eficiência ao longo do tempo. A valoração deve ser um dos mecanismos postos em discussão, visto sua contribuição ambiental e no planejamento urbano-ambiental do litoral do Icaraí, mas também de Caucaia.

A educação ambiental será fundamental para conscientização da população e usuários dessa praia, de modo a compreenderem a necessidade de estarem dispostos a conservarem esse ambiente. A insegurança sociopolítica também pode ser vista como um problema a ser superado, principalmente pela falta de credibilidade com as políticas político-administrativas frente à gestão dos recursos e aplicabilidade.

Superados os desafios supracitados nesta pesquisa, a valoração poderá subsidiar a manutenção das infraestruturas atuais, bem como a implementação de novos projetos nos trechos onde a erosão tende a apresentar efeitos mais severos sobre a população. Essa carência poderá surgir a médio e longo prazo consoante aos efeitos do atual processo de erosão no litoral do Ceará. Desse modo, os efeitos poderão receber intervenções mitigadoras a curto prazo.

A valoração dos recursos ambientais deve ser utilizada como uma ferramenta de gestão nos ecossistemas continentais e costeiros. Contudo, salientamos a importância da não redução dos bens naturais a meros quantitativos monetários, visto que a discussão ambiental não deve ser sobreposta somente como recurso, devendo, portanto, o participante estar sempre ciente da dimensão do termo “valor a pagar” e ao que será direcionado tal recurso compensatório.



Agradecimentos:

Ao laboratório de Gestão Integrada da Zona Costeira (LAGIZC) e ao Laboratório de Economia, Direito e Sustentabilidade (LEDS). A Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo financiamento.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J, L, M. **A percepção socioambiental acerca do projeto de requalificação na praia do Icaraí no Município de Caucaia/CE.** 2023. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em 2023) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em: <<http://siduece.uece.br/siduece/trabalhoAcademicoPublico.jsf?id=112782>> Acesso em: 15 de abril de 2025
- ARROW, K. J. *et al.* **Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation.** Washington, D.C.: **National Oceanic and Atmospheric Administration**, 1993.
- BIRD, E. **Coastal geomorphology: an introduction.** 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2008.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021, que institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais.** Brasília, 10 de junho de 2021.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Projeto Orla: plano de gestão integrada da orla marítima de Caucaia/CE.** Fortaleza: Prefeitura Municipal de Caucaia; Ministério do Meio Ambiente, 2018.
- CAUCAIA. Prefeitura Municipal. **Plano Municipal de Turismo de Caucaia – PMTC.** Caucaia: PMTC, 2018.
- CARSON, Richard T. **Contingent valuation: a user's guide.** **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 34, n. 8, p. 1413–1418, 2000.
- MOTTA, R.S. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais.** 2. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.
- CEARÁ. Secretaria do Turismo – SETUR. **Relatório de indicadores turísticos do Ceará.** Fortaleza: SETUR, 2022.
- COSTA, A. P. C. S; LIMA, J. E.; COSTA, M. A. M. Disposição a pagar por serviços ambientais em bacia hidrográfica: uma aplicação do método de valoração contingente. **Revista de**



Economia e Sociologia Rural, Brasília, v. 53, n. 3, p. 517-534, jul./set. 2015.

COSTA, S. et al. *Valoração econômica ambiental e uso sustentável dos recursos naturais*. Curitiba: CRV, 2015.

COSTANZA, R.; et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Ecological Economics**. Volume 25, Issue 1, April 1998, pages 3-15.

GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J.. A typology for the classification, description, and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, v.41, p.393-408, 2002.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil básico municipal de Caucaia – 2017**. Fortaleza: IPECE, 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades: **Caucaia – Panorama 2025**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025.

LIMA, I. F. P.; PAULA, D. P. Diagnóstico da erosão costeira e propostas de mitigação: estudo de caso da Praia do Icaraí – Caucaia/CE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 11, n. 2, p. 399-412, 2018.

MESQUITA, R. A. **Erosão costeira na Praia do Icaraí, Caucaia – CE: causas, efeitos e medidas mitigadoras**. 2014. 63 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2014.

MORGADO, C. R. V.; PEREIRA, H. S.; MENDONÇA, M. M. Serviços ambientais: uma abordagem ecológica e econômica. Brasília: **Embrapa**, 2011.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. M. B. de. **Valoração ambiental: instrumento para o uso sustentável dos recursos naturais**. Fortaleza: Edições UFC, 2003.

KOMAR, P. D. **Beach processes and sedimentation**. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998.

PAULA, D. P.; SANTOS, L. M. P.; LIMA, I. F. P. Análise da eficácia das obras de proteção costeira na Praia do Icaraí – Caucaia/CE. **Revista da ANPEGE**, v. 9, n. 13, p. 133-150, 2013.

SILVA, S. F. **Percepção socioambiental das mudanças na paisagem da Praia do Icaraí, em Caucaia, após a instalação de espigões**. 2023. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em 2023) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em: <<http://siduece.uece.br/siduece/trabalhoAcademicoPublico.jsf?id=112857>> Acesso em: 15 de abril de 2025

SOUZA, M. A. L. **Gestão costeira e proteção litorânea: estudo de caso da Praia do Ica-**



raí, Caucaia/CE. 2011. 125 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

VASCONCELOS, Y.G. **Morfodinâmica de praias arenosas sob influência de estruturas rígidas de proteção costeira:** estudo de caso na Praia do Icaraí (Caucaia/CE). 2024. 152 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico ou Profissional em 2024) - Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2024. Disponível em: <<http://siduece.uece.br/siduece/trabalhoAcademicoPublico.jsf?id=115147>> Acesso em: 15 de abril de 2025

VASCONCELOS, F P *et al.* **Estudo de Impacto Ambiental (EIA)** – Projeto de Recuperação da Orla Marítima do Município de Caucaia – CE. Fortaleza: UECE – LAGIZC -IEPRO, 2022.



MONITORAMENTO DA LINHA DE COSTA A PARTIR DE DADOS DO SATÉLITE SENTINEL-2 PARA TIBAU/RN, PERÍODO 2016-2024

Maykon Targino da Silva ³⁶

Frankilys Ryan Medeiros da Silva ³⁷

Sheila Karene Nolasco da Silva Fernandes ³⁸

Antonio Inacio Neto ³⁹

Alfredo Marcelo Grigio ⁴⁰

Rodrigo Guimarães de Carvalho ⁴¹

Palavras-chave: Erosão costeira, CASSIE, DSAS, Geomorfologia costeira.

RESUMO

Ao nível global, a erosão costeira tem se apresentado como um dos maiores desafios para as sociedades que residem nessa região. No Brasil, diversas praias estão em processo de erosão, evidenciada também no município de Tibau, situado no Rio Grande do Norte - RN. No entanto, pesquisas focadas na dinâmica da linha de costa do litoral de Tibau ainda são escassas e as que existem estão desatualizadas. Esse município necessita de estudos sobre a erosão costeira, pois a economia dele é dependente do turismo de sol e praia. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo analisar a variação da linha de costa de Tibau-RN, no período entre 2016 e 2024. Para isso, foram utilizados dados de linha de costa obtidos a partir do *Coastal Analysis System from Satellite Imagery Engine* (CASSIE) e analisados no software *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS). A análise empregou dois métodos estatísticos - *End Point Rate* (EPR) e *Linear Regression Rate* (LRR) - em três períodos distintos: 2016–2020, 2020–2024 e 2016–2024. Os valores de variação da linha de costa foram classificados em acreção alta, acreção, estabilidade, erosão e erosão alta. Os valores revelaram a predominância individual da classe estabilidade em todos os períodos analisados, contudo, houve divergência significativa dos resultados entre os méto-

³⁶ Doutor pelo Curso de Geologia da Universidade Federal do Ceará - UF, maykontargino@hotmail.com;

³⁷ Graduado pelo Curso de Gestão Ambiental da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN, frankilysryan@alu.uern.br;

³⁸ Mestranda do Curso de Geografia da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN, sheilanolasco@uern.br;

³⁹ Mestrando pelo Curso de Geografia da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN, a.inacio43@gmail.com;

⁴⁰ Professor do Curso de Gestão Ambiental: Doutor, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN, alfredogrigio@uern.br;

⁴¹ Professor do Curso de Gestão Ambiental: Doutor, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN, rodrigocarvalho@uern.br.



dos quando agregadas as classes em progradação e retrogradação. O LRR, que apresentou menor desvio-padrão, indicou predomínio da progradação acompanhada da estabilidade em todos os períodos, enquanto o EPR apontou a predominância da estabilidade com uma significativa tendência à retrogradação nos períodos 2016–2020 e 2020–2024. Apesar da prevalência da estabilidade, a erosão ocorreu em alguns trechos, especialmente na praia de Gado Bravo, onde foram registrados recuos em todos os períodos nos dois métodos. Nessa praia, a retrogradação é corroborada mediante evidências físicas de erosão documentadas em campo. Os principais fatores identificados como causadores da erosão incluem o suprimento sedimentar ineficiente, oriundo de áreas a barlar (*up-drift*), devido aos inúmeros barramentos nos rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu, além de intervenções costeiras para contenção do avanço do mar, que foram implementadas em trechos com ocupação residencial nas praias. Estas estruturas de contenção, frequentemente construídas sem embasamento técnico, não somente reduzem a faixa praial como também transferem o problema erosivo para áreas adjacentes, comprometendo o potencial turístico da região e, conseqüentemente, a economia local. Algumas linhas de costa produzidas pelo CASSIE possuem baixa acurácia na extração dessa feição, o que necessita da eliminação desses dados para posterior análise no DSAS. Desse modo, é premente que os desenvolvedores do CASSIE aumentem a acurácia na geração das linhas de costa, bem como forneçam informações sobre esse processo. A erosão costeira na praia de Gado Bravo requer atenção do poder público, pois está ocorrendo um aumento na construção de residências nessa praia e também a implementação de estruturas de contenção do avanço do mar que impactarão a dinâmica costeira com conseqüências para as praias, a *downdrift*.

INTRODUÇÃO

O espaço costeiro é marcado pela transição entre o ambiente terrestre e marinho, caracterizando-se pela interação entre processos naturais, ecossistemas e atividades humanas (PEREIRA *et al.*, 2024). Entre suas principais feições, a linha de costa se destaca por sua dinâmica, a qual é influenciada pela complexa interação entre processos marinhos, atmosféricos e continentais. Sua posição é naturalmente instável, alternando entre avanços e recuos ao longo do tempo. No entanto, a erosão costeira decorrente do avanço do mar pode representar uma ameaça significativa para as áreas urbanas (SILVA; BULHÕES, 2023).

Essa erosão é um problema mundial que afeta diretamente as populações residentes em áreas litorâneas. Dentre as principais causas da erosão costeira de origem antrópica, destaca-se a expansão desordenada da população em áreas litorâneas, aliada à intensificação das atividades socioeconômicas próximas à linha de costa, que acentua o desequilíbrio na dinâmica costeira (AMARO *et al.*, 2021; AMORIM *et al.*, 2023). E dentre os principais impactos, ressalta-se o risco ao patrimônio material, comprometendo infraestruturas litorâneas e resultando na perda de território. Com isso, os desastres naturais decorrentes da erosão marinha representam uma preocupação crescente em regiões



costeiras em escala global, sobretudo em áreas de alta densidade populacional, onde os impactos ambientais e econômicos tendem a ser mais expressivos (LIMA *et al.*, 2021; SANTOS *et al.*, 2024).

Assim como ocorre em diversas regiões costeiras do mundo, no Brasil, várias áreas litorâneas enfrentam problemas decorrentes da erosão costeira (NEGRÃO *et al.*, 2022). No litoral brasileiro, os diversos tipos de ocupação humana entram em conflito com a dinâmica natural das áreas costeiras, o que pode resultar em impactos socioeconômicos negativos e no comprometimento de habitats naturais (NOVAK; LAMOUR, 2021). Nesse contexto, estudos conduzidos por Silva e Bulhões (2023) apontam que 32% dos segmentos litorâneos brasileiros e 39% do litoral nordestino encontram-se em processo de erosão. Da mesma forma, no Estado do Rio Grande Norte - RN, observa-se um agravamento dos eventos de erosão ao longo da linha de costa nas últimas décadas (MATOS *et al.*, 2020), seguindo a tendência observada em outras regiões do país.

Nessa conjuntura, encontra-se a área de estudo, o município de Tibau, situado no litoral setentrional do Rio Grande do Norte - RN, que apresenta evidências de erosão marinha que causam danos a equipamentos de lazer, como barracas de praia e casas (SILVA *et al.*, 2024). O município é caracterizado pela forte vocação turística, sobretudo a vilegiatura marítima, decorrente de seus aspectos paisagísticos costeiros e sua localização geográfica próxima a Mossoró (LOPES *et al.*, 2020).

Em Tibau ocorre um processo contraditório, no qual a erosão costeira se intensifica ao mesmo tempo, em que novas construções avançam sobre a faixa litorânea em frente ao mar. Assim, em decorrência da expansão das residências secundárias, a orla de Tibau apresenta ocupação irregular que impacta diretamente o espaço público litorâneo (SILVA; MONTEIRO, 2012). Diversas formas de apropriação privada podem ser observadas ao longo da orla, resultando na restrição do acesso livre à praia para aqueles que não possuem propriedades na região.

Nesse contexto, o uso de imagens de satélites, utilizando a técnica de análise multitemporal, se mostra uma importante ferramenta, tendo como objetivo examinar as mudanças na paisagem decorrentes das dinâmicas naturais e antrópicas, permitindo identificar tendências, variações, potencialidades e vulnerabilidades no ambiente (LOPES; GRIGIO, 2019). De acordo com Silva *et al.* (2024), é fundamental realizar um monitoramento contínuo da linha de costa de Tibau, considerando diferentes escalas espaciais e temporais, permitindo uma gestão mais eficaz e a adoção de estratégias adequadas para a preservação do litoral.

As pesquisas focadas na morfodinâmica costeira da orla de Tibau ainda são escassas. Essa lacuna reforça a importância de um monitoramento constante da linha de



costa, permitindo uma melhor compreensão de sua dinâmica e auxiliando na gestão e planejamento do litoral. Assim, a compreensão da dinâmica costeira e a implementação de estratégias eficazes de gestão dependem fundamentalmente de monitoramento contínuo e de longo prazo, capazes de captar não apenas mudanças sazonais, mas também tendências evolutivas e impactos de eventos extremos (PBMC, 2016).

Para a área de estudo, destaca-se o trabalho de monitoramento da linha de costa produzido por Amaro e Araujo (2008), que realizou a análise multitemporal da morfo-dinâmica da região costeira de Tibau, no período de 1969 a 2002. Esta análise se deu mediante técnicas de geoprocessamento para a elaboração de mapas temáticos da evolução da linha de costa. Contudo, esse estudo encontra-se desatualizado. Outro trabalho realizado na área, foi o de Silva *et al.* (2024), mas os autores se limitaram a identificar evidências de erosão costeira nas praias do município, não trazendo informações sobre a dinâmica temporal da linha de costa.

Diante do contexto de escassez de pesquisas sobre a dinâmica costeira na região, o presente estudo teve como objetivo analisar a variação da linha de costa de Tibau – RN, no período de 2016 a 2024. Dessa forma, buscou-se atualizar as informações sobre os processos de progradação e retrogradação, utilizando para isso linhas de costa extraídas do satélite Sentinel-2 por meio do *Coastal Analysis System from Satellite Imagery Engine* (CASSIE). A quantificação das taxas de variação foi realizada no software *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS).

METODOLOGIA

Caracterização da Área de Estudo

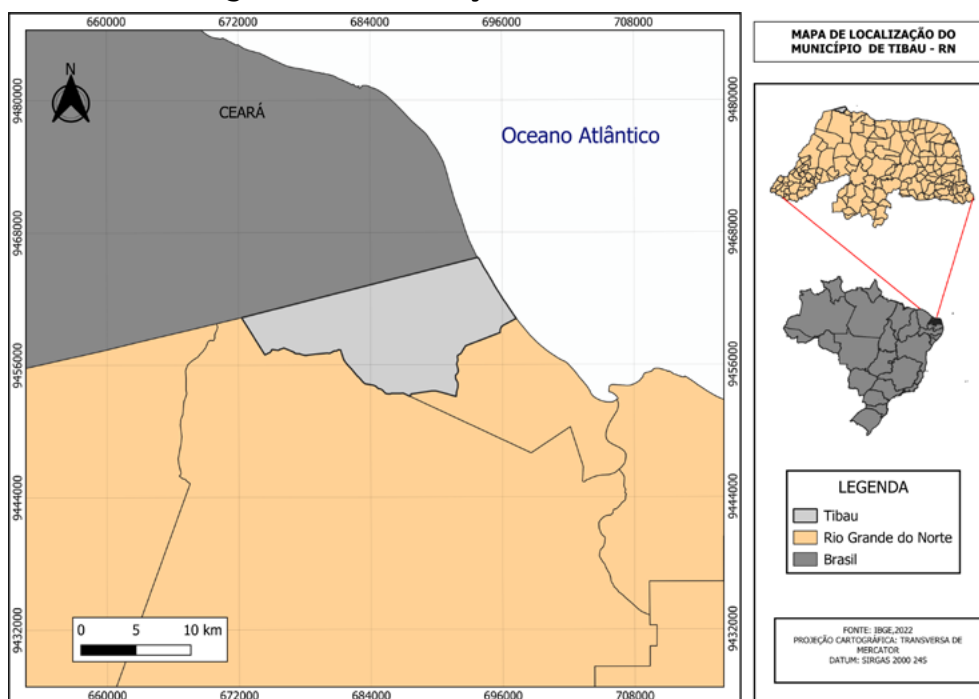
O município de Tibau (Fig. 1) localiza-se no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte. Pertence, simultaneamente, ao Polo Costa Branca, à Mesorregião do Oeste potiguar e à Microrregião de Mossoró, além de ser um dos municípios que compõem o roteiro interestadual denominado “Rota das Falésias”. Situa-se a 323 quilômetros de Natal (a capital do RN), a 38 quilômetros de Mossoró e a aproximadamente 21 quilômetros de Icapuí, município situado no litoral leste cearense (TIBAU, 2018).

Tibau possui uma área territorial de 169,37 km² e população de 5.382 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de 31,78 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2022). O bioma predominante na região é a Caatinga, apresentando cobertura vegetal composta por diferentes formações, como arbustiva e arbórea, tanto em áreas abertas quanto fechadas. Além disso, estão presentes vegetações características de ecossistemas costeiros, como as herbáceas típicas de restingas e dunas, além das formações



de várzea e manguezais (TIBAU, 2019).

Figura 1: Localização da área de estudo



Segundo o IDEMA (2008), o território do município compreende terrenos pertencentes ao Grupo Barreiras, formado há aproximadamente 30 milhões de anos. Essa formação geológica é composta por arenitos inconsolidados, siltitos intercalados com argilas de diferentes tipos, além de arenitos caulínicos e lateritas, resultando em solos arenosos espessos de tonalidade avermelhada.

Na zona costeira, sobrepondo o Grupo Barreiras, encontram-se as dunas móveis, as quais são depósitos de origem marinha remodelados pela ação dos ventos. Do ponto de vista geológico, essas formações são classificadas como depósitos de praias, compostos por areias finas a grossas, camadas de cascalho e associadas às praias atuais e às dunas móveis. Além disso, a presença de arenitos e conglomerados cimentados por carbonato define a ocorrência de *beach rocks* ao longo da costa (IDEMA, 2008).

No litoral da área em estudo estão presentes falésias, as quais são escarpas costeiras abruptas não cobertas por vegetação, que se localizam na linha de costa. Em geral, são formadas por arenitos e conglomerados (rochas sedimentares) associados principalmente às rochas descritas como Grupo Barreiras (PFALTZGRAFF; TORRES, 2010).

Os ventos desempenham um papel essencial na dinâmica costeira da região estudada, observando-se uma predominância dos ventos provenientes do ENE entre os meses de setembro e abril, enquanto de maio a agosto prevalecem os ventos do SE. Essa



variação sazonal reforça a influência dos ventos nos processos costeiros, sendo um dos principais responsáveis pela dinâmica costeira da região (AMARO; ARAUJO, 2008). A dinâmica energética da região é influenciada tanto por ondas quanto por marés, onde as ondas na zona de arrebentação variam entre 0,2 e 1,3 metros de altura, enquanto as marés podem atingir até 3,3 metros durante os períodos de sizígia (MMA, 2006).

A ocupação do território do município ocorreu desigualmente, resultando em uma divisão desproporcional do espaço. O litoral passou a ser dominado pela elite da cidade de Mossoró, enquanto o restante do município se organizou entre comerciantes e pescadores. Nesta divisão, a beira-mar foi valorizada mais do que a própria cidade, levando a vendas dos espaços na praia. Essa configuração foi impulsionada por um planejamento urbano voltado para o lucro a curto prazo, onde a zona natural foi transformada em mercadoria, priorizando exclusivamente os interesses econômicos. (GARCIA *et al.*, 2024).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa foi realizada utilizando dados de linhas de costa obtidos a partir do CASSIE, que possui como diferencial a eliminação da necessidade de vetorização manual. A ferramenta CASSIE utiliza as imagens dos satélites da série Landsat e do Sentinel-2, disponíveis gratuitamente no Google Earth Engine (GEE), e implementa uma detecção automática de linhas de costa usando o *Normalized Difference Water Index* (NDWI) junto com o algoritmo de segmentação de imagem Otsu (ALMEIDA *et al.*, 2021). Na presente pesquisa, foi selecionado o satélite Sentinel, com resolução espacial de 10 metros, onde a partir das imagens dele o CASSIE extraiu as linhas de costa.

Inicialmente, foram geradas 143 linhas de costa, compreendendo os meses de julho a dezembro, do período de 2016 a 2024. Foi feita uma análise visual dos dados onde se percebeu que muitas linhas de costa tinham erros grosseiros de posicionamento, por exemplo, alguns dados produzidos pelo CASSIE identificaram as calhas como a feição de linha de costa. Após a análise anterior e eliminação dos dados com erros de posicionamentos, permaneceram 57 linhas de costa para serem analisadas mediante técnicas de estatística.

Posteriormente, a análise da evolução da linha de costa foi realizada por meio do *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), software gratuito desenvolvido pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos da América (HIMMELSTOSS *et al.*, 2024). Esse software fornece alguns métodos estatísticos para observar o comportamento da linha de costa, a partir disso, são geradas taxas de variações mediante regressão linear, medições de distâncias entre as linhas de costa mais antiga e mais atual, entre outros (HIMMELSTOSS *et al.*, 2021).

Foi confeccionada uma *baseline offshore* e, a partir dela, foram criados transectos



perpendiculares com espaçamento de 50 metros entre eles. Posteriormente, a ferramenta mediu as variações da linha de costa ao longo desses transectos, fornecendo as taxas de variação ao longo do período de 2016 a 2024. Essa variação foi calculada por meio dos métodos *End Point Rate* (EPR) e *Linear Regression Rate* (LRR). O método EPR produz uma taxa de variação da linha de costa onde, no cálculo considera o intervalo temporal dos dados e o deslocamento entre a posição da linha de costa mais antiga e a mais recente; o LRR é o resultado da regressão linear nos dados de linhas de costa (HIMMELSTOSS *et al.*, 2021).

A fórmula para calcular o *End Point Rate* (EPR) é a seguinte:

$$EPR = \frac{d_0 - d_1}{t_0 - t_1}$$

onde d_1 : corresponde a posição da linha de costa mais antiga; d_0 : corresponde a posição da linha de costa mais recente; t_1 : corresponde ao ano da linha de costa mais recente e t_0 : corresponde ao ano da linha de costa mais antiga (CIRITCI; TÜRK, 2020).

O método LRR (*Linear Regression Rate*) é utilizado para determinar a taxa de variação da linha de costa ao longo do tempo. Esse cálculo é baseado na equação abaixo, onde y representa a distância da linha de base em metros; m corresponde à inclinação da reta, ou seja, a taxa de mudança da linha de costa e b é o intercepto, indicando o ponto onde a linha cruza o eixo y (HIMMELSTOSS *et al.*, 2021).

$$y = mx + b$$

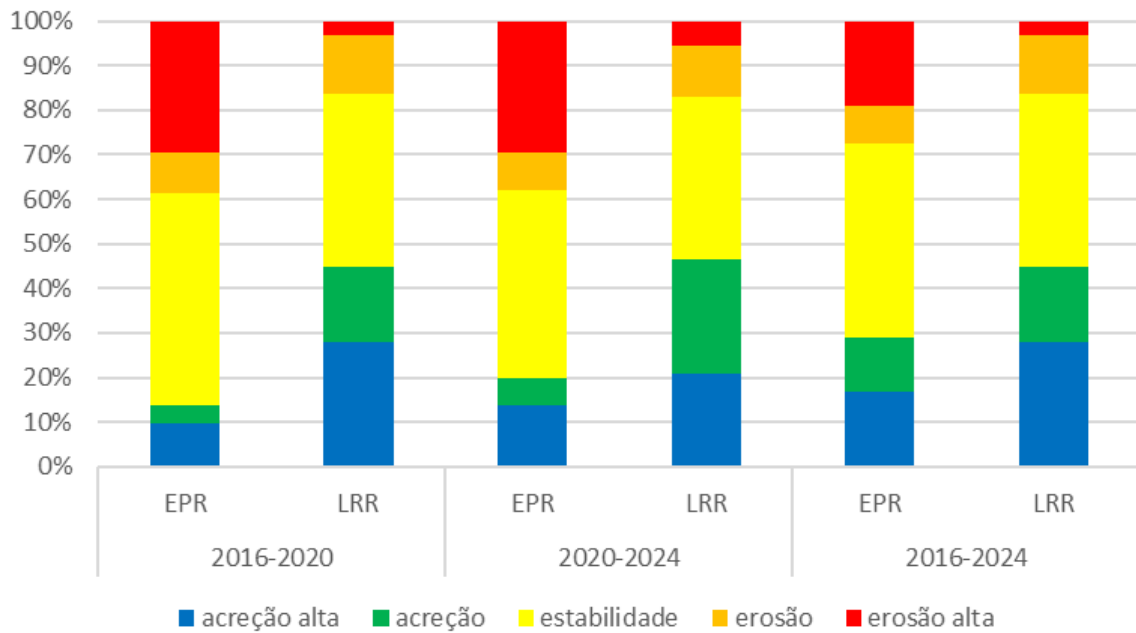
Após a realização dos cálculos estatísticos referentes ao EPR e ao LRR, foram definidas classes para categorizar o comportamento da linha de costa. Essas classes foram organizadas em cinco intervalos, estabelecidos com base na média e no desvio-padrão da área estudada. Cada transecto foi classificado dentro dessas categorias, que incluem: acreção alta (> 1 m/ano), acreção (0,5 a 1 m/ano), estabilidade (-0,5 a 0,5 m/ano), erosão (-0,5 a -1 m/ano) e erosão alta (< -1 m/ano).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As linhas de costa geradas pelo CASSIE, derivadas de imagens do satélite Sentinel-2 (10 m de resolução espacial), abrangeram o período de 2016 a 2024. Realizaram-se análises da variação da linha de costa com base nos métodos EPR e LRR para os períodos de 2016–2020, 2020–2024 e 2016–2024. Para o primeiro período de 2016 a 2020, os resultados do EPR indicaram: estabilidade, 47,8% (3.166 m); erosão alta, 29,4% (1.949 m); acreção alta, 9,9% (653 m); erosão, 9,1% (603 m); e acreção, 3,8% (251 m). Utilizando o LRR para o mesmo período, obtiveram-se: estabilidade, 38,9% (2.577 m); acreção alta, 28,1% (1.861 m); acreção, 16,7% (1.107 m); erosão, 13,2% (877 m); e erosão alta, 3% (201 m) (Fig. 2).



Figura 2: Porcentagem das classes que indicam o comportamento da linha de costa em EPR e LRR em Tibau.



Para o segundo período (2020–2024), os resultados do EPR foram: estabilidade, 42,2% (2.797 m); erosão alta, 29,6% (1.961 m); erosão, 8,4% (553 m); acreção, 6,1% (402 m); e acreção alta, 13,7% (909 m). Para o LRR no mesmo período, os valores obtidos foram: estabilidade, 36,4% (2.412 m); acreção, 25,8% (1.708 m); acreção alta, 20,8% (1.378 m); erosão, 11,4% (754 m); e erosão alta, 5,6% (370 m).

Para o período completo (2016–2024), os resultados do EPR apresentaram a seguinte distribuição: estabilidade, 43,7% (2.892 m); erosão alta, 18,9% (1.252 m); acreção alta, 16,7% (1.106 m); acreção, 12,1% (803 m); e erosão, 8,6% (570 m). Para o LRR, no mesmo período, os valores obtidos foram: estabilidade, 38,9% (2.577 m); acreção alta, 28,1% (1.861 m); acreção, 16,7% (1.107 m); erosão, 13,2% (877 m); e erosão alta, 3% (201 m).

Ambos os métodos estatísticos indicaram o predomínio individual da classe estabilidade em todos os períodos analisados, com variações em sua magnitude. Entretanto, ao agregar as classes (acreção + acreção alta para progradação; erosão + erosão alta para retrogradação), observaram-se divergências entre os métodos. No primeiro período (2016–2020), o EPR indicou a prevalência da estabilidade, com valores significativos de retrogradação, enquanto o LRR apontou a predominância da progradação, acompanhada pela estabilidade. No segundo período (2020–2024), a tendência do EPR manteve-se, com predomínio da estabilidade e retrogradação significativas. O LRR, por



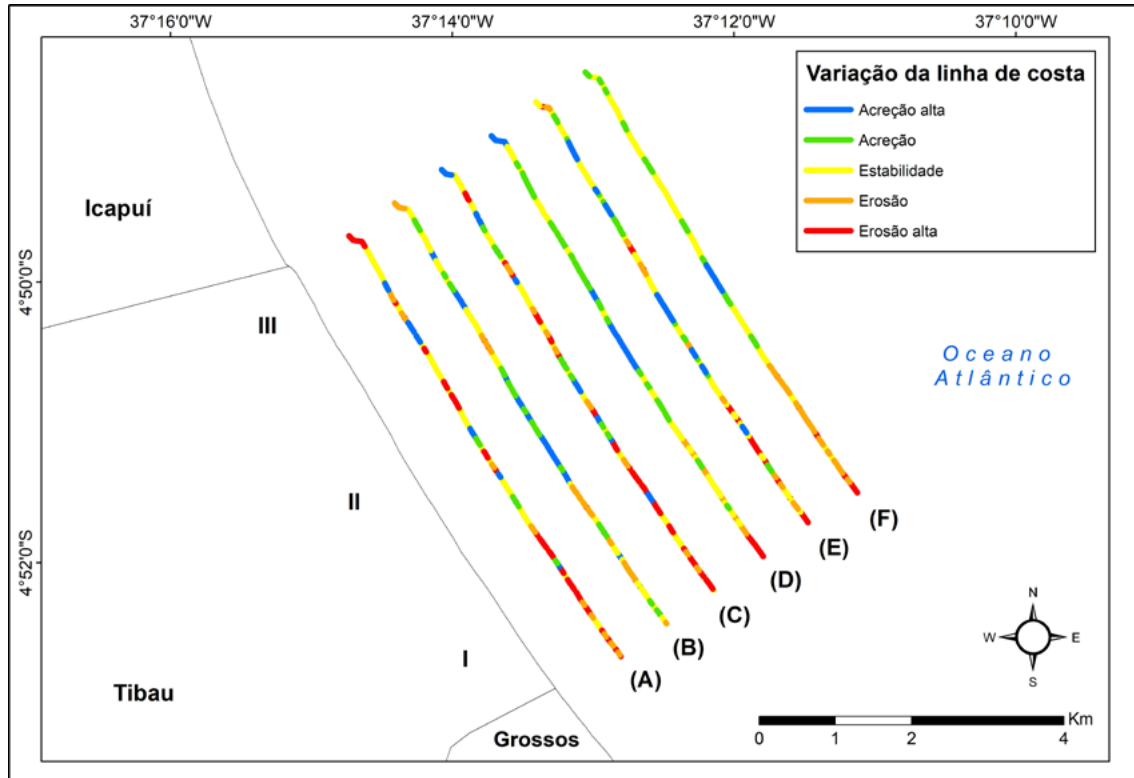
sua vez, repetiu o padrão do período anterior, com o prevalência da progradação acompanhada pela estabilidade. No período completo (2016–2024), o EPR mostrou predominância da estabilidade, com valores similares entre progradação e retrogradação. O LRR, no entanto, confirmou a tendência de progradação observada nos períodos anteriores.

Uma explicação para a discrepância entre os resultados dos dois métodos pode ser encontrada na análise do desvio-padrão. Os valores verificados foram: 0,89 (LRR) e 1,57 (EPR), 2016–2020; 0,94 (LRR) e 1,52 (EPR), 2020–2024; e 0,67 (LRR) e 1,01 (EPR), 2016–2024. Os menores valores de desvio-padrão obtidos pelo LRR indicam que esse método produziu resultados menos dispersos e, portanto, estatisticamente mais consistentes. Isso sugere que o LRR é capaz de capturar uma tendência de longo prazo mais robusta, uma vez que utiliza todos os dados disponíveis na série temporal para o cálculo. Essa abordagem contribui para identificar padrões de tendência que não podem ser aparentes quando se analisam apenas os pontos iniciais e finais, como o EPR. Além disso, os valores do EPR podem refletir apenas uma resposta de curto prazo do comportamento da linha de costa, a qual nem sempre representa a tendência geral da zona costeira.

A zona costeira de Tibau é composta por três praias, que são, de leste para oeste, Gado Bravo, Emanuelas e Tibau. Na praia de Gado Bravo, no período de 2016 a 2020, foram observadas as seguintes taxas de variação da linha de costa para erosão e acreção: -3,9 m/ano (EPR), 1,7 m/ano (EPR), -1 m/ano (LRR) e 1,3 m/ano (LRR). Na praia de Emanuelas, no mesmo período, as taxas foram: -5 m/ano (EPR), 2,5 m/ano (EPR), -1,4 m/ano (LRR) e 2,9 m/ano (LRR). Ainda no mesmo período, agora para a praia de Tibau, as taxas foram: -5,3 m/ano (EPR), 2,3 m/ano (EPR), -0,8 m/ano (LRR) e 1,6 m/ano (LRR). Conforme ilustrado no mapa (Fig. 3), a erosão ocorreu nas três praias. Entretanto, os trechos classificados como erosivos pelo LRR são espacialmente menores comparados com os identificados pelo EPR. Além disso, o comportamento erosivo é espacialmente mais significativo na praia de Gado Bravo para ambos os métodos, mas com menor intensidade no LRR.



Figura 3. Mapa de variação da linha de costa com valores de EPR e LRR, para Tibau. **A** (EPR 2016–2020); **B** (LRR 2016–2020); **C** (EPR 2020–2024); **D** (LRR 2020–2024); **E** (EPR 2016–2024); **F** (LRR 2016–2024). I – praia de Gado Bravo; II – praia de Emanuelas; III – praia de Tibau.



Para o período de 2020 a 2024, na praia de Gado Bravo, as taxas foram: -4,8 m/ano (EPR), 1,9 m/ano (EPR), -2,4 m/ano (LRR) e 0,7 m/ano (LRR). Para a praia de Emanuelas, os valores foram: -3,6 m/ano (EPR), 3,3 m/ano (EPR), -0,8 m/ano (LRR) e 2,3 m/ano (LRR). Já na praia de Tibau, as taxas foram: -2,3 m/ano (EPR), 3,2 m/ano (EPR) e 3,8 m/ano (LRR). Semelhante ao período anterior, a praia de Gado Bravo apresentou a maior extensão de trechos erosivos em ambos os métodos, embora com menor intensidade de recuo no LRR. Além disso, pequenos trechos erosivos são observados nas praias de Emanuelas e Tibau pelo método EPR, os quais não foram detectados pelo LRR.

Por fim, no período de 2016 a 2024, na praia de Gado Bravo, as taxas foram: -2,9 m/ano (EPR), 2,3 m/ano (EPR) e -1,7 m/ano (LRR). Já na praia de Emanuelas, os valores foram: -1,3 m/ano (EPR), 2,2 m/ano (EPR), -1,1 m/ano (LRR) e 1,7 m/ano (LRR). Para a praia de Tibau, as taxas foram: -1 m/ano (EPR), 1,8 m/ano (EPR) e 0,8 m/ano (LRR). Conforme observado nos períodos anteriores, a praia de Gado Bravo apresentou a maior extensão de área erosivas em ambos os métodos, embora com menor severidade de recuo no LRR. Para as praias de Emanuelas e Tibau, foram identificados pequenos trechos com recuo



pelo método EPR, os quais não foram registrados pelo LRR.

A zona costeira de Tibau carece de estudos atuais sobre a dinâmica costeira, o que dificulta a comparação dos valores de variação da linha de costa com os dados obtidos neste estudo. Um dos poucos trabalhos existentes, desenvolvido por Amaro e Araujo (2008), realizou uma análise multitemporal com imagens de satélite para o período de 1968 a 2002. Conforme seus resultados, as praias de Tibau apresentaram: predomínio da erosão (1969–1986); prevalência da acreção (1986–1989); predomínio da erosão (1989–1996); prevalência da acreção (1996–1999); predomínio da acreção (1999–2001); prevalência da acreção (2001–2002) (AMARO; ARAUJO, 2008).

O estudo de Amaro e Araújo (2008) encontra-se desatualizado, e o trabalho mais recente sobre o tema é o de Silva *et al.* (2024). Entretanto, essa pesquisa se limitou a identificar evidências de erosão nas praias do município de Tibau. Os autores constataram dez evidências de erosão costeira, sendo oito na praia de Gado Bravo (Fig. 4), uma na praia de Emanuelas e uma na praia de Tibau. Entre as evidências documentadas, incluem-se: presença de gabiões, enrocamentos, residência abandonada com parte da estrutura destruída pela ação marinha, escombros de muros e raízes de árvores expostas. Dessa forma, a significativa tendência erosiva aqui identificada para a praia de Gado Bravo é corroborada pelas evidências coletadas por Silva *et al.* (2024).

Figura 4. Parte da estrutura de uma barraca de praia destruída pela erosão costeira, Praia de Gado Bravo, Tibau.



Um dos fatores que contribui para a erosão em segmentos específicos do litoral de Tibau é insuficiente fornecimento de sedimentos (VITAL *et al.*, 2018). As praias do município são **influenciadas pela dinâmica** sedimentar na foz das bacias hidrográficas dos rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Açu, situados a *updrift*. Nessas bacias, foram construídas



inúmeras barragens e reservatórios, sendo estimada a existência de 1.536 apenas na bacia do rio Piranhas-Açu (MEDEIROS, 2020). Essas intervenções retêm os sedimentos de origem continental, resultando em uma **redução** significativa do material disponível para a dinâmica costeira.

Além disso, as intervenções costeiras decorrentes da ocupação das praias também contribuem para a erosão. A construção de residências e condomínios na faixa praial impacta negativamente a morfologia praial (DINIZ *et al.*, 2023) e a dinâmica costeira. Em Tibau, observa-se um cenário paradoxal: a intensificação da erosão coexiste com a expansão imobiliária na faixa costeira.

Como agravante, proprietários de residências à beira-mar constroem estruturas de contenção sem estudos técnicos adequados, o que contribui para a redução da faixa de praia. Esse fato foi observado em trechos da praia de Gado Bravo, onde, em alguns locais com essas intervenções, a praia já foi erodida. Adicionalmente, essas estruturas geram erosão a *downdrift* de sua localização (BALAJI *et al.*, 2017), transferindo o problema para outros segmentos costeiros. Trata-se de um problema grave, pois a erosão costeira diminui a atratividade turística das praias (CORRAL; SCHLING, 2017) e, no caso de Tibau, impactará diretamente sua economia, a qual depende significativamente desse setor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O CASSIE fornece as linhas de costa no formato *shapefile*, passíveis de manipulação em um Sistema de Informação Geográfico. Essas linhas são extraídas automaticamente de imagens de satélite, no presente estudo, foram utilizadas imagens do Sentinel-2, mas muitas apresentam baixa acurácia posicional. Visualmente, é possível que, em vários trechos, o CASSIE classificou erroneamente feições como calhas como sendo a linha de costa. Portanto, evidencia-se a necessidade de se obter maior acurácia na extração automática da linha de costa, bem como informações sobre esse processo.

Desse modo, os dados gerados pelo CASSIE exigem pós-processamento para eliminação de linhas com erros grosseiros de posicionamento. Um aspecto positivo do CASSIE é a agilidade e praticidade na extração das linhas de costa, considerando que o método manual é notadamente mais dispendioso em tempo e recursos humanos. Recomenda-se, que as linhas de costa geradas no CASSIE sejam processadas no DSAS.

A análise dos resultados estatísticos revelou que a progradação predominou em todos os períodos analisados pelo método LRR, sendo sempre acompanhada pela estabilidade. Este método também apresentou os menores valores de dispersão (desvio padrão). Apesar das divergências na tendência predominante entre os métodos, tanto o EPR quanto o LRR identificaram uma clara tendência erosiva na praia de Gado Bravo, a



qual foi corroborada por evidências de campo. Dessa forma, a erosão nessa praia requer atenção prioritária, sobretudo porque já existem diversas intervenções costeiras implementadas para conter o avanço do mar. Essas estruturas, no entanto, podem agravar o processo erosivo local e transferi-lo para áreas situadas a *downdrift*.

Agradecimentos:

Os autores agradecem a CAPES pelo financiamento da pesquisa por meio do PDPG-POSDOC / Programa de Desenvolvimento da Pós-Graduação (PDPG) - Pós-Doutorado Estratégico (2912/2022 / 88881.691894/2022-01), que foi concedido ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. P.; OLIVEIRA, I. E.; LYRA, R.; DAZZI, R. L. S.; MARTINS, V. G.; KLEIN, A. H. F. Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE): shoreline management module. **Environmental Modelling & Software**, Volume 140. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105033>. Acesso em: 02 mar. 2025.

AMARO, V. E.; ARAUJO, A. B. Análise Multitemporal da Morfodinâmica da Região Costeira Setentrional do Nordeste do Brasil entre os Municípios de Grossos e Tibau, Estado do Rio Grande do Norte. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, Volume 8, Número 2, Páginas 77-100, 2008. Disponível em: DOI: 10.5894/rgci140. Acesso em: 01 mar. 2025.

AMARO, V. E.; CARVALHO, R. C.; MATOS, M. F. A.; INGUNZA, M. D. P. D.; SCUDELARI, A. C. Avaliação da suscetibilidade do solo à erosão nas falésias do litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, volume 22, número 1, 2021. <https://doi.org/10.20502/rbg.v22i1.1887>. Acessado em: 09 mar. 2025.

AMORIM, E. S.; ALVES, G. C.; SILVA, R. G. P.; SAMPAIO, G. M.; DANTAS, P. H.; TELES, J. V. A.; LAFAYETTE, K. P. V.; BEZERRA, J. S. Análise da viabilidade técnica-econômica das estruturas de contenção à erosão costeira. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, Volume 23, 2023. Disponível em: DOI: 10.5894/rgci-n553. Acesso em: 09 mar. 2025.

BALAJI, R.; KUMAR, S. S.; MISRA, A. Understanding the effects of seawall construction using a combination of analytical modelling and remote sensing techniques: Case study of Fansa, Gujarat, India. **The International Journal of Ocean and Climate Systems** [online] v. 8, 153-160, 2017.

CIRITCI, D.; TÜRK, T. Analysis of coastal changes using remote sensing and geographical information systems in the Gulf of Izmit, Turkey. **Environmental Monitoring and Assessment**, Volume 192, nº 341, 2020. DOI: 10.1007/s10661-020-08255-9. Acesso: 02 mar. 2025.



CORRAL, L. R.; SCHLING, M. The impact of shoreline stabilization on economic growth in small island developing states. **Journal of Environmental Economics and Management** [online] v. 86. 210-228, 2017.

PFALTZGRAFF, P. A. S.; TORRES, F. S. M. **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Norte**. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Recife, 227 p., 2010.

DINIZ, M. T. M.; DE OLIVEIRA TERTO, M. L.; DA SILVA, F. E. B. Assessment of the Geomorphological Heritage of the Costa Branca Area, a Potential Geopark in Brazil. **Resources** 2023, Volume 12, 13.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Brasil/ Rio Grande do Norte / Tibau. 2022.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Perfil do seu Município – Tibau-RN**. V.10 p.1-22, 2008. Disponível em: <http://ad-con.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC0000000000013807.PDF>. Acesso: 01 mar. 2024.

GARCIA, I. S.; NASCIMENTO, C. R. T.; OLIVEIRA, V. L. L. O Aquecimento Turístico de Tibau/RN: Um Estudo de Caso Sobre Segunda Residência. **AGRESTE - Revista Acadêmica de Administração e Turismo**, v. 1 n. 2, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.59776/agrt.v1i2.5774>. Acesso em: 01 mar. 2024.

HIMMELSTOSS, E. A.; HENDERSON, R. E.; KRATZMANN, M. G.; FARRIS, A. S. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.1 user guide**: U.S. Geological Survey Open-File Report 2018–1179, 110 p. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3133/ofr20211091>. Acesso em: 01 mar. 2024.

HIMMELSTOSS, E. A.; HENDERSON, R. E.; FARRIS, A. S.; KRATZMANN, M. G.; BARTLETT, M. K.; ERGUL, A.; MCANDREWS, J.; CIBAJ, R.; ZICHICHI, J. L.; THIELER, E. R. 2024, Digital Shoreline Analysis System version 6.0: U.S. Geological Survey software release, <https://doi.org/10.5066/P13WIZ8M>.

LIMA, M.; ALVES, F.; MARTO, M.; COELHO, C. Medidas de mitigação e adaptação à erosão costeira e aos efeitos das alterações climáticas. **Revista Recursos Hídricos**, Vol. 42, Nº 1, 61-70, 2021. Disponível: DOI:10.5894/rh42n1-cti7. Acesso em: 26 fev. 2025.

LOPES, D. N.; GRIGIO, A. M. Análise Multitemporal do Uso e Ocupação dos Solos do Município de Tibau - RN ao Longo dos Anos de 1999, 2006 e 2016. **Anuário do Instituto de Geociências**, Vol. 42 – 3, p.599-608, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.11137/2019_3_599_608. Acesso em: 28 fev. 2025.

LOPES, R. M. R; SOUZA, M.; AZEVEDO, R. M. M. **Inventário da Oferta Turística de Tibau Rio Grande do Norte**. InventurUERN. Vol. 1. 2020. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1e0DNhCfD-jsSAoOBSBPLXan4kBWgImSg/view>. Acesso em: 27 fev. 2025.



MATOS, M. F. A.; GURGEL, D. F.; SCUDELARI, A. C.; AMARO, V. E. Estimativa da Taxa Anual e Sazonal do Transporte Longitudinal Sedimentar na Zona Costeira do Litoral Oriental do Rio Grande Do Norte. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 21(1), 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.20502/rbg.v21i1.1507>. Acesso em: 28 fev. 2025.

MEDEIROS, D. H. M. **Influência da salinidade na heterogeneidade de paisagens estuarinas do domínio morfoclimático do semiárido brasileiro**. Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2020.

MMA. **Erosão e progradação no litoral brasileiro** / Dieter Muehe, organizador. – Brasília: MMA, 476 p., 2006.

NEGRÃO, Y. S.; SOUSA, H. C.; RANIERI, L. A. Vulnerabilidade à erosão costeira em praias amazônicas e a ocupação populacional em áreas de riscos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, volume 23, número 2, 1264–1284, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.20502/rbg.v23i2.1951>. Acessado em: 09 de mar. 2025.

NOVAK, L. P.; LAMOUR, M. R. Avaliação do risco à erosão costeira em praias urbanizadas do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, volume 22, número 1, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.20502/rbg.v22i1.1661>. Acessado em: 09 mar. 2025

PBMC. **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas**: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. 2016. [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p.

PEREIRA, A. B.; SOARES, J. P. M.; PURIFICAÇÃO, T. F.; SCHACHT, G. L.; ALMEIDA JUNIOR, M. V. C. Avaliação Geoambiental e Vulnerabilidade à erosão costeira em Entre Rios, Bahia. **REVISTA GEONORTE**, volume 15, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.21170/geonorte.2024.V.15.N.50.281.302>. Acessado em: 09 mar. 2025.

SANTOS, A. C. F. B. M.; OLIVEIRA, U. R.; GOULART, E. S.; NICOLODI, J. L. FREITAS, V. L. Análise espaço-temporal dos impactos da expansão das estruturas de contenção à erosão costeira na orla do Balneário do Hermenegildo – RS. **Geographia MeridionaliS**, v. 07, 2024.

SILVA, K. O.; MONTEIRO, S. L. Residência Secundária Em Tibau/RN – A “Cidade Praia” Mossoroense. **Ateliê Geográfico**. v. 6. 2012.

SILVA, M. T.; CARVALHO, R. G. FERNANDES, S. K. N. S.; INÁCIO NETO, A.; Ferreira, M. I. S., 2024. **Evidências de erosão costeira em Grossos e Tibau/RN**. Anais do XX SBGFA - Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada & IV ELAAGFA - Encontro Luso-Afro-Americano de Geografia Física e Ambiente [online] XX. Disponível: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/118018>. Acesso: 27 fev. 2025



SILVA, M. B.; BULHOES, E. Aspectos relacionados às taxas de mobilidade da linha de costa no litoral brasileiro. **GeoUERJ**, v. 42, 2023.

SOUZA, M. O.; PAIVA, P. C. R. L. M. O Perfil Socioeconômico dos Pescadores do Município de Tibau (RN). **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, [S. l.], v. 25, n. 3, p. 1–19, 2023. DOI: 10.35701/rcgs.v25.914. Disponível em: [//rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/914](http://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/914). Acesso em: 1 mar. 2025.

TIBAU. **Estudo da mobilidade Urbana Tibau-RN**. Certare, Vol. 1, 2018. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/ligaYam_Cxd-tLuPb3s_ceBTKyY74VCaF/view. Acessado em: 01 Mar. 2025

TIBAU. **Relatório Técnico Contextualização dos sistemas ambientais e delimitação das Zonas de Proteção Ambiental do município de Tibau – RN**. Org. QUEIROZ, J. S. Certare, v. 1, 2019.

VITAL, H.; SILVEIRA, I. M.; LIMA, Z. M. C.; TABOSA, W. F.; SILVA, A. G. A.; SOUZA, F. E. S.; CHAVES, M. S.; GOMES, M.P. **Rio Grande do Norte**. In: Dieter Muehe. (Org.). Panorama da erosão costeira no Brasil. v. 1, p. 289-326. 2018.



PLANÍCIE COSTEIRA DE PACATUBA-SERGIPE: COMPARTIMENTAÇÃO GEOSSISTÊMICA E AVALIAÇÃO MORFODINÂMICA

Rafael Cardoso da Silva Neto ⁴²

Samara Hellen Divino dos Santos ⁴³

Mona Santos Oliveira ⁴⁴

Neise Mare De Souza Alves ⁴⁵

Palavras-chave: Análise Sistêmica; Geossistema; Morfodinâmica; Planície Costeira; Morfogênese-Pedogênese.

RESUMO

O município de Pacatuba está inserido no litoral norte do estado de Sergipe. Geomorfológicamente, a paisagem está composta por – Tabuleiros Costeiros e Planície Costeira, aqui identificadas como unidades geossistêmicas, caracterizadas por suas condições morfodinâmicas. Ambas incluem um conjunto de morfologias e ambientes. A segunda unidade geossistêmica, objeto deste estudo, resulta da interação entre processos geológicos, climáticos e hidrológicos relativos à evolução paleogeográfica da costa sergipana. O objetivo deste trabalho consiste em compartimentar o Geossistema Planície Costeira de Pacatuba, avaliando o estado morfodinâmico de suas unidades de paisagem. A metodologia segue os princípios sistêmicos. A compartimentação baseia-se na proposta de Bertrand (1972), que permite a delimitação de unidades homogêneas quanto à estrutura (relevo, solo, substrato geológico), funcionamento (fluxos de energia e matéria) e dinâmica (processos naturais e antrópicos). A avaliação do estado das unidades está fundamentada na ecodinâmica (Tricart, 1977). Foram identificados no Geossistema Planície Costeira, sete Geofácies: Terraços Marinhos Pleistocênicos, Terraços Marinhos Holocênicos Subatuais, Dunas Costeiras Inativas e Lagoas Interdunares, Dunas Costeiras Ativas com Lagoas Interdunares, Praias, Lençóis de Areia e Terraços Marinhos Holocênicos Atuais, Planície Fluviolagunar e Planície Fluviomarinha. Cada Geofácies se encontra em determinado estágio de evolução evidenciado pela atuação de processos morfodinâmicos. Os Terraços Marinhos Pleistocênicos e os Terraços Marinhos Holocênicos Subatuais configuram-se como Meios Relativamente Estáveis, visto que apresentam superfície quase plana com baixa declividade, cobertura vegetal e atuação do processo de infiltração, características favoráveis ao predomínio da pedogênese sobre a morfogênese. As Dunas Costeiras

⁴² Mestrando do Curso de Geografia da Universidade Federal de Sergipe- UFS, rafaelcsneto28@gmail.com;

⁴³ Graduada pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Sergipe- UFS, samaraahellen21@gmail.com;

⁴⁴ Graduada pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Sergipe - UFS, monasoliveira7@gmail.com;

⁴⁵ Doutora pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Sergipe - UFS, neisemare@gmail.com;



Inativas com Lagoas Interdunares estão estabilizadas pela cobertura vegetal, podem evidenciar pontualmente a reativação de processos erosivos conforme o uso da terra. Essa unidade de paisagem enquadra-se nos Meios *Intergrades* – caracterizado pela alternância entre morfogênese e pedogênese. Nessa categoria se insere também a Planície Fluvio-lagunar, que apresenta estabilidade variável, condicionada pelo regime hidrológico dos cursos d’água. A Geofácies Dunas Costeiras Ativas e Lagoas Interdunares é moldada continuamente por processos eólicos, pois a escassa cobertura vegetal favorece o transporte de sedimentos, inserindo-a nos Meios Fortemente Instáveis – verificando-se predomínio da morfogênese sobre a pedogênese. A unidade de paisagem Praias, Lençóis de Areia e Terraços Marinhos Holocênicos Atuais se insere também nessa classificação, com morfologias submetidas de modo permanente à atuação de ondas, marés, correntes e ventos. Outra Geofácies que integra essa categoria ecodinâmica é a Planície Fluviomarina, submetida à oscilação diária das marés. Embora a vegetação de mangue reduza a instabilidade, a atividade da carcinicultura, concorre para que a morfogênese predomine. A análise da compartimentação geossistêmica da Planície Costeira de Pacatuba associada à avaliação do estado morfodinâmico das unidades de paisagem oferece subsídios importantes para a compreensão dinâmica do sistema ambiental da Planície Costeira de Pacatuba, a partir de uma base científica sólida. Assim, pode subsidiar o planejamento territorial e a conservação dos recursos naturais, bem como propiciar a formulação de políticas públicas.

INTRODUÇÃO

O território brasileiro se destaca mundialmente por sua extensão e riqueza ambiental, abrigando inúmeros ecossistemas — entre eles, os da zona costeira, que desempenham um papel fundamental tanto do ponto de vista ecológico quanto socioeconômico. No entanto, a faixa litorânea vem sofrendo crescentes pressões causadas pela ação humana, o que tem provocado desequilíbrios e conflitos socioambientais.

A exploração desenfreada dos elementos que compõem o meio ambiente tem consequências profundas e abrangentes, necessitando de estratégias que possam amenizar os impactos através da gestão sustentável dos recursos naturais (Rodrigues *et al.*, 1995). A análise integrada da paisagem emerge como uma ferramenta para compreensão dessa interação entre o meio ambiente e as atividades humanas. Este campo envolve as complexas relações que moldam a paisagem, considerando elementos geofísicos, bióticos e antrópicos, ao observar os processos e padrões que caracterizam um determinado espaço.

Diante dessa realidade, a Geografia é uma ciência essencial para compreender as múltiplas relações entre sociedade e natureza. Por meio da análise integrada dos aspectos físicos e sociais, ela possibilita identificar padrões de uso do espaço, interpretar as transformações das paisagens e apontar caminhos para o enfrentamento dos desafios ambientais.

Nesse contexto, a Geografia Física, apoiada nas contribuições dos princípios holís-



tico-sistêmicos de Bertalanffy (1977), geossistêmico de Bertrand (1972) e na abordagem ecodinâmica proposta por Tricart (1977), tem se consolidado, no âmbito científico, pelos subsídios fundamentais na análise dos condicionantes naturais da paisagem e planejamento ambiental de áreas costeiras.

O município de Pacatuba integra o litoral norte do estado de Sergipe. A paisagem é marcada por duas principais unidades geomorfológicas, aqui tratadas como unidades geossistêmicas: os Tabuleiros Costeiros e a Planície Costeira. Elas abrigam uma diversidade de formas de relevo e ambientes, resultado da interação entre processos geológicos, climáticos e hidrológicos ao longo do tempo, formando um cenário dinâmico e ecologicamente significativo.

O estudo foi baseado nas propostas sistêmicas de Bertrand (1972) e Bertalanffy (1977), que, de maneira geral, apresentam semelhanças quanto às abordagens, sugerindo uma análise holística da relação entre os elementos naturais e o componente social, e como isso pode impactar a evolução da paisagem. Os procedimentos metodológicos incluíram pesquisa bibliográfica, análise de acervo cartográfico e dados estatísticos, trabalho de campo e produção de mapas temáticos.

As formas de relevo identificadas na paisagem da Planície Costeira de Pacatuba foram consideradas como Geofácies que integram esse Geossistema. Para interpretar essa configuração, foi adotada a metodologia da avaliação morfodinâmica de Tricart (1977), e de Bertrand (1972) para compartimentação geossistêmica, adaptada de acordo com as especificidades observadas na área em estudo. A elaboração do mapa síntese foi acompanhada de uma análise, que articula os elementos do relevo, os processos da dinâmica superficial e os padrões de uso e ocupação da terra. Os dados obtidos oferecem suporte técnico-científico para ações voltadas à gestão ambiental e à preservação dos recursos naturais do município.

Desse modo, este trabalho tem como objetivo compartimentar por meio do método geossistêmico a Planície Costeira de Pacatuba em unidades da paisagem, como também avaliar o estado morfodinâmico em que se encontram as Geofácies que compõem esse Geossistema.

MATERIAIS E MÉTODOS

Entre as partes integrantes da metodologia inclui-se pesquisa bibliográfica acerca do tema, nas publicações de - Camargo (2008), Bertrand (1972), Costa & Benvenuti (2002), Araújo (2012); e nas teses e dissertações sobre a temática realizadas na área de estudo - Alves (2010) e Correia (2016).

A pesquisa do acervo cartográfico envolveu a análise de mapas topográficos, ima-



gens de satélite, dados geoespaciais e outros produtos, a fim de contextualizar regional e localmente a paisagem da área de estudo, para obter uma compreensão ampla do espaço. Dentre outros documentos cartográficos utilizados se destacam: o Mapa Geológico do estado de Sergipe (Teixeira et al., 2014); as bases cartográficas do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; BDIA - Banco de dados e informações ambientais (IBGE). A produção dos mapas temáticos foi realizada com o uso do software QGIS versão 3.28.2 com base em dados retirados do IBGE, CPRM e outras fontes.

O trabalho de campo dividiu-se em três etapas: primeiramente, realizou-se uma campanha para reconhecimento da área de estudo, observando-se as características dos elementos físicos - relevo, tipos de solos e cobertura vegetal - e, os aspectos do uso da terra, ou seja, as atividades humanas desenvolvidas no município.

Na segunda campanha de campo, buscou-se detalhar as informações preliminares obtidas a partir da análise de mapas e dados sobre o município de Pacatuba, observando-se a distribuição e organização das feições da Planície Costeira, detalhando os elementos físicos, e os aspectos socioeconômicos e culturais. Assim, as informações sobre o uso e ocupação da terra foram complementadas e atualizadas nesta pesquisa.

A terceira campanha objetivou a correção de mapas, observação da dinâmica dos processos costeiros desencadeados pela ação de ondas, marés, correntes oceânicas e ventos, atuantes nas unidades de paisagem da Planície Costeira de Pacatuba - praia, dunas, planície fluviomarina, terraços marinhos, incluindo a hidrodinâmica fluvial da planície fluviolagunar do rio Betume. Vale destacar que, na atualidade, a orientação econômica da área está relacionada com as atividades aquícolas, com os empreendimentos de carcinicultura no Canal do Poço, e nos povoados de Boca da Barra e Ponta dos Mangues.

A compartimentação geossistêmica foi baseada na geomorfologia, orientada pela proposta de Bertrand (1972). A delimitação leva em conta três dimensões fundamentais: a estrutura, relacionada ao relevo, tipo de solo e substrato geológico; o funcionamento, representado pelos fluxos de energia e matéria; e a dinâmica, que envolve os processos naturais e as interferências humanas. Essa abordagem permite entender a organização hierárquica espacial das unidades de paisagem que compõem o Geossistema e o estágio da sua evolução. Com base nesse autor, as Geofácies foram agrupadas em categorias, segundo os conceitos de biostasia e resistasia, respectivamente, unidades em estado de equilíbrio e de desequilíbrio.

De modo complementar à compartimentação geossistêmica da Planície Costeira de Pacatuba, optou-se por avaliar o estado de suas unidades de paisagem – as Geofácies – com base nos fundamentos da ecodinâmica propostos por Tricart (1977), que a partir do balanço morfogênese-pedogênese definiu o grau de estabilidade ou instabilidade

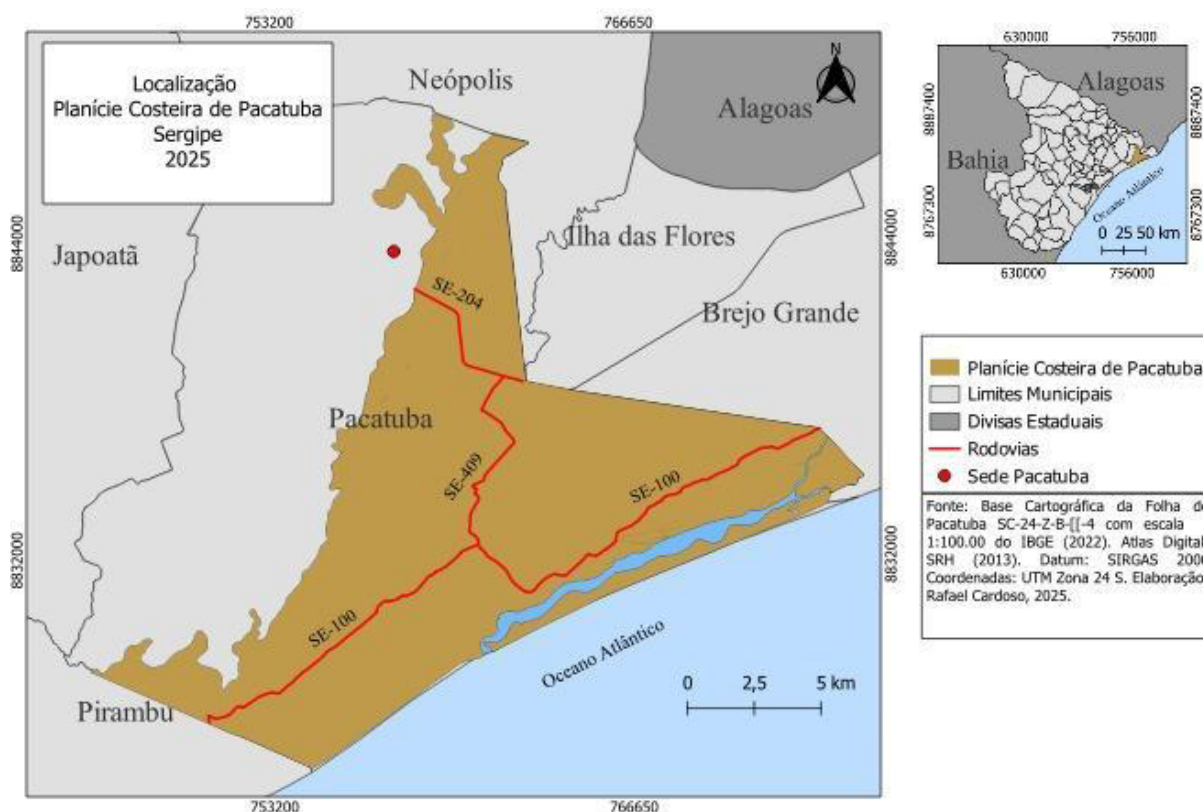


das unidades, classificando-as em: Meios Estáveis, Meios *Intergrades* e Meios Fortemente Instáveis. Tais categorias foram adaptadas à realidade da paisagem da área de estudo. Por meio dessa abordagem, é possível reconhecer áreas mais suscetíveis à degradação ambiental e outras no estado de maior equilíbrio ecológico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O município de litorâneo de Pacatuba (Figura 1) com uma área de 381,428 km² encontra-se no extremo nordeste do estado de Sergipe, e apresenta limites com os municípios de Neópolis, Ilha das Flores, Brejo Grande, Japoatã e Pirambu. Sua população é estimada em 12.502 habitantes, com 79,5% concentrados na área rural e apenas 20,5% na área urbana (IBGE, 2022). No território pacatubense estão 16 povoados e duas unidades de conservação - APA do Litoral Norte de Sergipe e a Reserva Biológica Santa Isabel, sendo elas respectivamente de Uso Sustentável e de Proteção Integral.

Figura 1 - Localização da Planície Costeira de Pacatuba-Sergipe.



Os recursos hídricos da região são representados pela principal drenagem, o Rio Betume, afluente do Rio São Francisco e por lagoas freáticas, distribuídas por toda área da Planície Costeira, cuja recarga depende do regime pluviométrico, que é condicionado pela sazonalidade do clima. Além disso, a permanência das lagoas interdunares é favorecida por cordões litorâneos e dunas, aquíferos porosos que disponibilizam água.



Segundo Correia (2016), o Rio Betume, também conhecido como Poxim, é um dos principais afluentes da margem direita do Rio São Francisco. A maior parte da bacia hidrográfica — 36,09% do total — drena o território de Pacatuba. O rio Betume é um recurso essencial para o setor socioeconômico e comunidades locais, desempenhando um papel importante na agropecuária. Ele propicia desenvolvimento de lavouras permanentes e temporárias, além de fornecer água para a criação e dessedentação de animais. A planície fluviolagunar do rio Betume é conhecida como Pantanal de Pacatuba, e desperta interesse turístico com uso para o lazer, atraindo banhistas para desfrutar de suas águas e do potencial paisagístico. Na localidade há uma infraestrutura com equipamentos e serviços destinados a dar suporte aos turistas.

O estado de Sergipe encontra-se submetido à circulação atmosférica regional que envolve quatro sistemas meteorológicos: Alísios de SE, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Sistema Equatorial Amazônico e/ou Continental (SEC) e Frente Polar Atlântica (FPA), influenciados por outros fatores locais, incluindo a posição geográfica, proximidade do mar e continentalidade, que contribuem para a predominância de climas quentes com variações entre úmido, subúmido e semiárido (Araújo et al., 2010).

Pacatuba apresenta um clima tipo megatérmico seco a subúmido, temperatura média anual de 25,7° C e 1.274,42 mm de precipitação. Os maiores índices pluviométricos concentram-se no período de abril a agosto, quando são registrados 867,64 mm, que representam 68,08% do total das precipitações, abrangendo as estações outono-inverno. A distribuição anual das chuvas se reflete também nas atividades econômicas, em particular, na agricultura e pecuária (Correia, 2016).

A paisagem do município contém grande diversidade quanto ao quadro ambiental. Essa heterogeneidade denota-se por uma combinação de elementos naturais, decorrentes de eventos regressivos e transgressivos do nível marinho durante o Quaternário, que resultaram nas características na área de estudo (Bittencourt *et al.*, 1983).

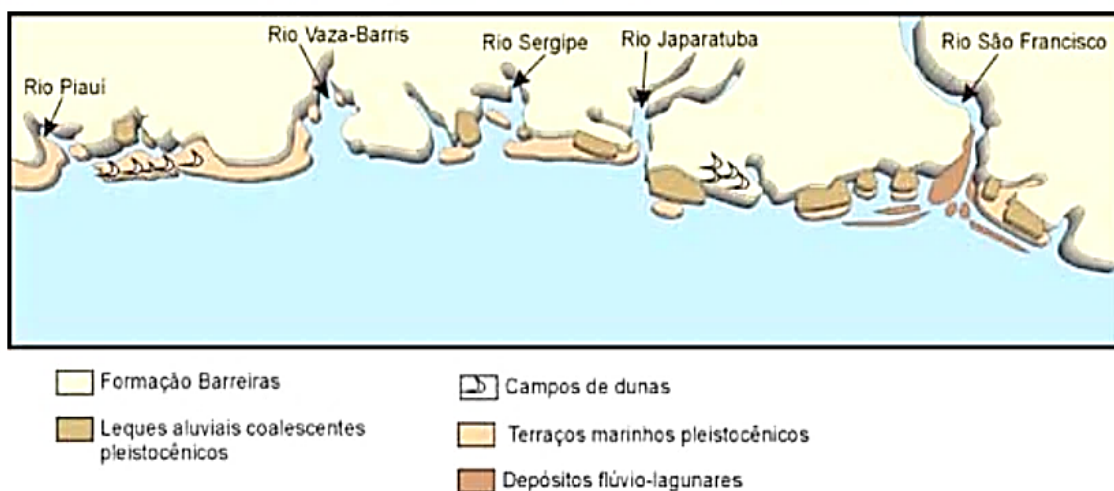
De acordo com autor supracitado, durante a Última Transgressão, há 5.600 anos AP, os Terraços Marinhos Pleistocênicos foram erodidos e as falésias do Grupo Barreira foram retrabalhadas em alguns setores pela ação do mar, os rios foram afogados e começaram a desaguar em corpos lagunares (Figura 2). Durante a regressão que sucedeu a Última Transgressão, a Planície Costeira teria se estabelecido com suas morfologias atuais – Terraços Marinhos Holocênicos com presença de dunas em adjacência aos Terraços Marinhos Pleistocênicos e a formação de pântanos pela perda de conexão das lagunas com o mar (Figura 3) (Amancio-Martinelli, 2013).

No contexto geológico (Figura 4), Pacatuba se encontra na Bacia Sedimentar de Sergipe. As Formações Superficiais Continentais do Cenozoico abrangem o Grupo Bar-



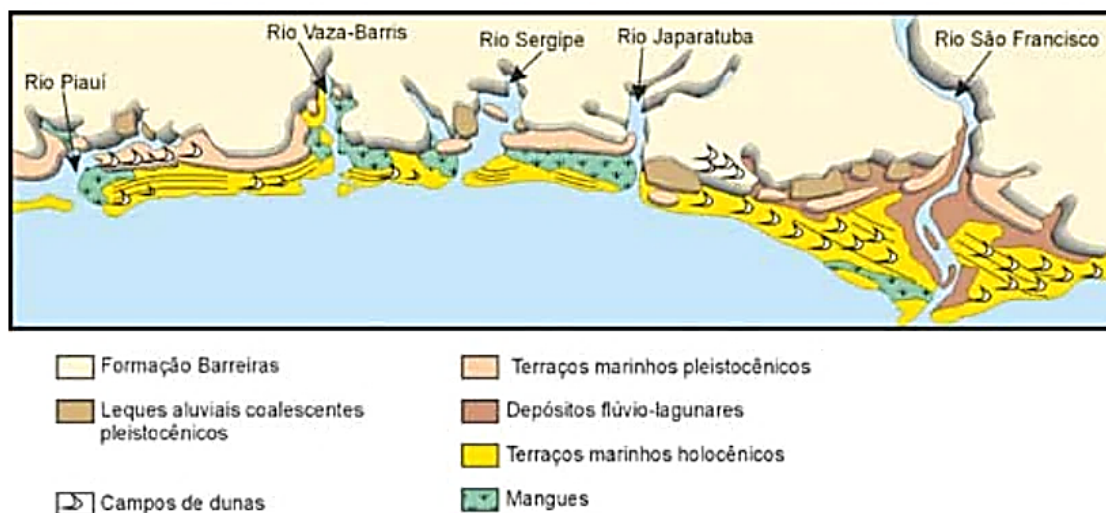
reiras que é constituído por sedimentos terrígenos - cascalhos, conglomerados, areias finas e grossas e níveis de argila - pouco ou não consolidados. As coberturas quaternárias pleistocênicas e holocênicas correspondem aos depósitos eólicos, fluviolagunares e de pântanos e mangues (Lima, 2017, *apud* Brasil, 2007).

Figura 2 - Paleogeografia da zona costeira sergipana por volta do máximo da Última Transgressão.



Fonte: Amancio-Martinelli (2013), adaptado de Bittencourt et al. (1983).

Figura 3 - Morfologia esquemática atual da zona costeira sergipana.



Fonte: Amancio-Martinelli (2013), adaptado de Bittencourt et al. (1983).

O Grupo Barreiras capeia as rochas da Bacia Sedimentar de Sergipe, onde ocorrem rochas carbonatadas. O calcário (Figura 5) é explorado pelo principal polo industrial do município, que utiliza a rocha para fabricação de cimento.

A geomorfologia do município (Figura 6) engloba duas unidades – Tabuleiros Costeiros e Planície Costeira. Os Tabuleiros Costeiros apresentam morfologias tabulifor-



mes integradas por diferentes elementos – a topos, vertentes e bordo do tabuleiro. No município, nos setores próximos ao litoral, estas feições são paleofalésias.

A Planície Costeira de Pacatuba está composta depósitos sedimentares e morfologias do Pleistoceno e do Holoceno, ou seja, são do Quaternário. Ela inclui sete unidades, tais como os Terraços Marinheiros, holocênicos e pleistocênicos, que foram originados em diferentes episódios transgressivos do nível do mar.

Figura 4 - Geologia da Planície Costeira de Pacatuba- Sergipe.

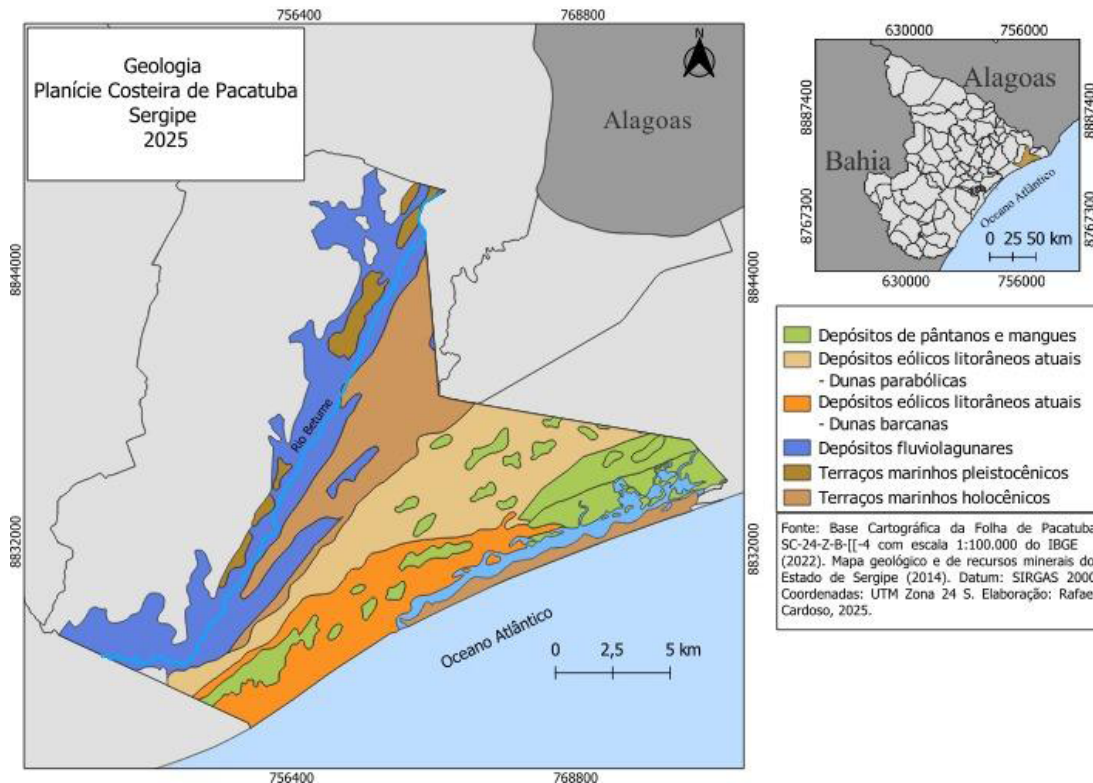


Figura 5 - Exploração de calcário em rochas da Bacia Sedimentar de Sergipe, capeadas pelo Grupo Barreiras em vertente do tabuleiro, Pacatuba/SE.



Fotógrafo: Rafael Cardoso (2024).

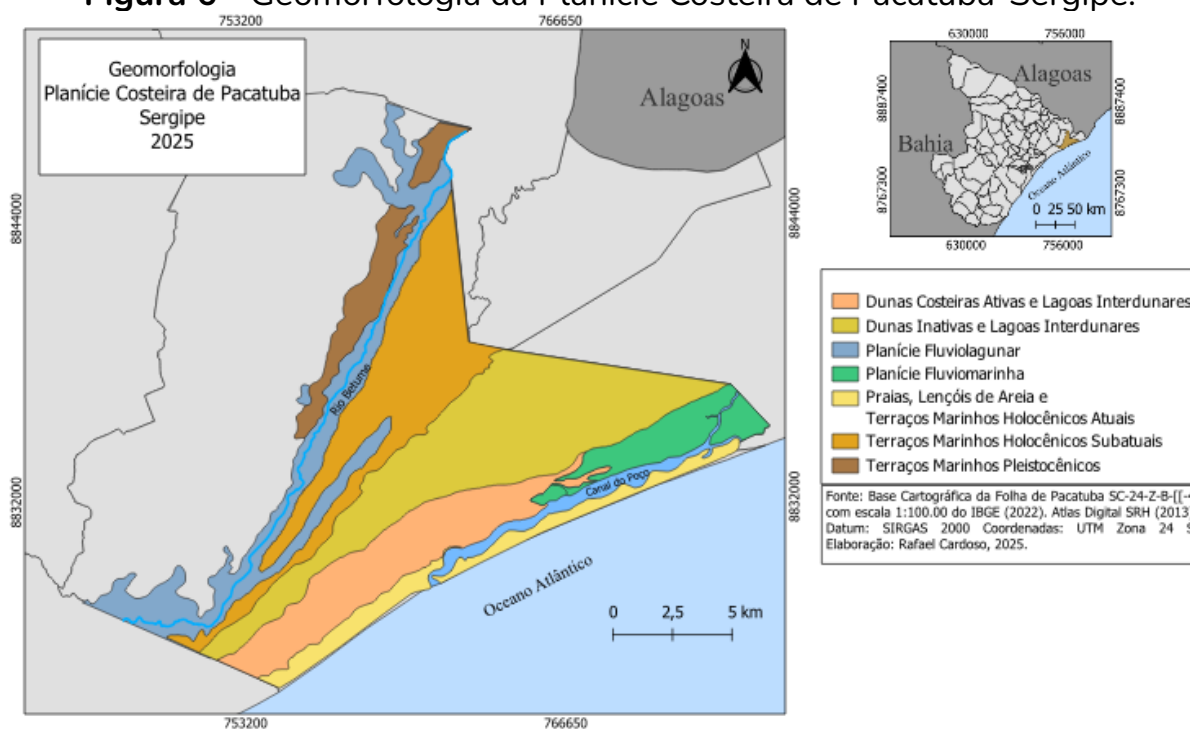


Os Terraços Marinheiros Pleistocênicos encontram-se em contato com as vertentes dos Tabuleiros Costeiros, enquanto os Terraços Marinheiros Holocênicos se encontram distribuídos em dois setores no território pacatubense – os Terraços Marinheiros Holocênicos Subatuais, que estão situado entre a Planície Fluviolagunar do rio Betume e as Dunas Costeiras Inativas e Lagoas Interdunares; e os Terraços Marinheiros Holocênicos Atuais, que se encontra no contato com as Praias e Lençóis de Areia. Esses terraços estão vulneráveis aos processos costeiros.

A Planície Fluviolagunar está vinculada ao rio Betume. Desse modo, está sujeita a inundações em determinados períodos, principalmente os mais chuvosos. Na sua superfície observam-se lagoas e a vegetação higrófila, adaptada ao ambiente de elevada umidade, que caracterizam os Campos de Várzea.

A Planície Fluviomarinha se caracteriza por um ambiente submetido diariamente à oscilação da maré. Esta morfologia está coberta por vegetação de Mangue, e nesta unidade se desenvolve o ecossistema de manguezal, caracterizado por elevada produtividade primária.

Figura 6 - Geomorfologia da Planície Costeira de Pacatuba-Sergipe.



As Praias e Lençóis de Areia são feições que se encontram diretamente em contato com a dinâmica das ondas, marés e correntes longitudinais. Portanto, estão submetidas à intensa dinâmica dos processos costeiros.

A Planície Costeira de Pacatuba possui dois campos dunares. As Dunas Costeiras



Inativas, situadas mais no interior do território, cobertas por espécies herbáceas da Restinga, que diminuem a ação do transporte eólico de sedimentos. De modo contrário, as Dunas Costeiras Ativas apresentam pequenas áreas com vegetação, geralmente no setor sotavento. Assim, estão submetidas permanentemente à ação dos ventos, que transporta os sedimentos arenosos, que resulta em alterações na sua configuração.

A vegetação de Restinga ocupa os solos arenosos dominantes na Planície Costeira. O conjunto florístico que a compõe está adaptado às condições de pouca disponibilidade hídrica e elevada salinidade. As espécies de porte herbáceo e/ou arbustivo reduzem a erosão eólica dos sedimentos e favorecem o desenvolvimento de dunas (Figura 7). Nas áreas ocupadas pela Restinga ocorrem espécies frutíferas, como a mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes).

Figura 7 - Vegetação de restinga de porte herbáceo/arbustivo colonizando dunas na praia de Ponta dos Mangues. Pacatuba/SE.

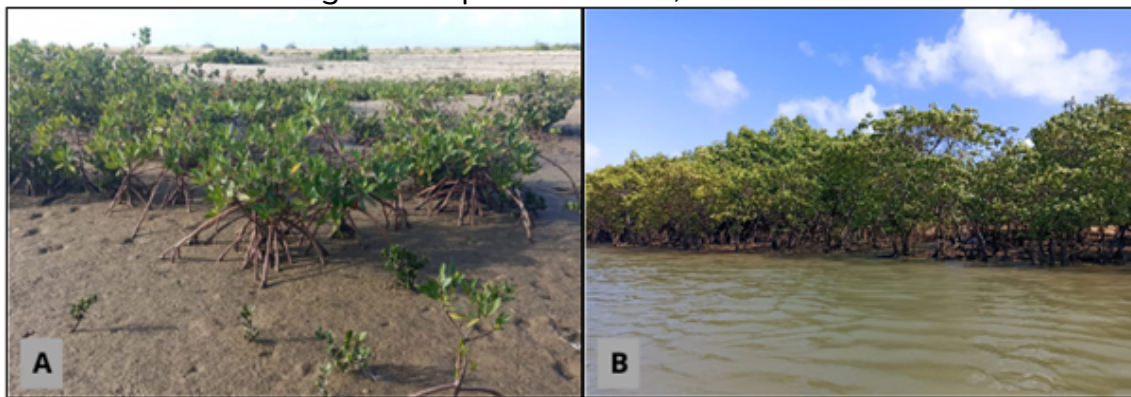


Fotógrafo: Rafael Cardoso, 2024.

A vegetação de Mangue (Figura 8 A e B) se desenvolve no ambiente estuarino, cuja salinidade exerce influência nas características do solo composto por sedimentos finos e matéria orgânica. As principais formações são o mangue-vermelho (*Rhizophora mangle* L.), o mangue-manso (*Laguncularia racemosa* G. F.) e, nas áreas menos sujeitas às oscilações das marés, o mangue-de-botão (*Conocarpus erectus* L.).



Figura 8 - (A) Vegetação de mangue em desenvolvimento; (B) Vegetação de mangue com porte arbóreo, Pacatuba/SE.



Fotógrafo: Rafael Cardoso, 2024.

Na atualidade, a carcinicultura tornou-se o principal tensor antrópico para a vegetação de Mangue em Pacatuba e outros municípios do litoral estado de Sergipe. A construção dos viveiros de camarão impacta a vegetação e compostos químicos usados no solo para eliminar os predadores do camarão, como caranguejos e siris, altera a biota do manguezal (Figura 9).

Figura 9 - Viveiro de carcinicultura abandonado nas adjacências da laguna, Canal do Poço. Ponta dos Mangues, Pacatuba/SE.



Fotógrafo: Rafael Cardoso, 2024.

Os Campos de Várzea sofrem inundações periódicas e são comumente encontrados nas planícies de inundação dos rios e lagoas. Algumas espécies hidrófilas, adaptadas às condições ambientais, servem como meio de subsistência para as comunidades locais, como a taboa (*Typha dominguensis*), utilizada na produção de artesanato. O Pantanal de Pacatuba (Figura 10), área da planície de inundação do Rio Betume, tornou-se o principal ponto turístico do município.



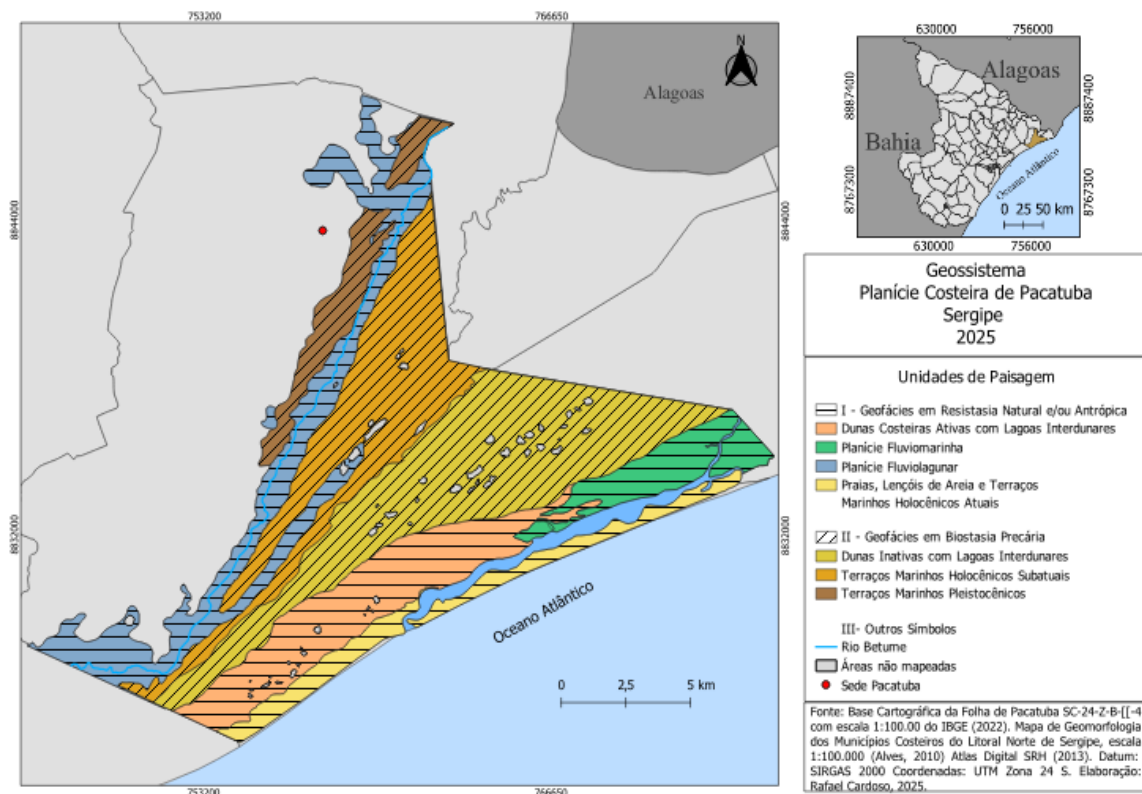
Figura 10 - Pantanal de Pacatuba com presença de vegetação de Campo de Várzea, Pacatuba/SE.



Fotógrafo: Rafael Cardoso, 2024.

A Planície Costeira de Pacatuba consiste em um Geossistema composto por 7 (sete) Geofácies, unidades de paisagem que se encontram em diferentes estágios evolutivos em razão de suas características e processos morfodinâmicos atuantes, bem como o tipo de cobertura e uso, neste estudo correspondem às feições do modelado. Assim, de acordo com a proposta bertrandiana, essas unidades foram enquadradas em duas categorias: Geofácies em Resistasia Natural e/ou Antrópica e Geofácies em Biostasia Precária. Vale salientar que a concepção de resistasia e biostasia, deve ser entendida respectivamente como ambientes que se apresentam em estado de equilíbrio e em desequilíbrio (Figura 11).

Figura 11 - Geossistema Planície Costeira de Pacatuba-Sergipe.





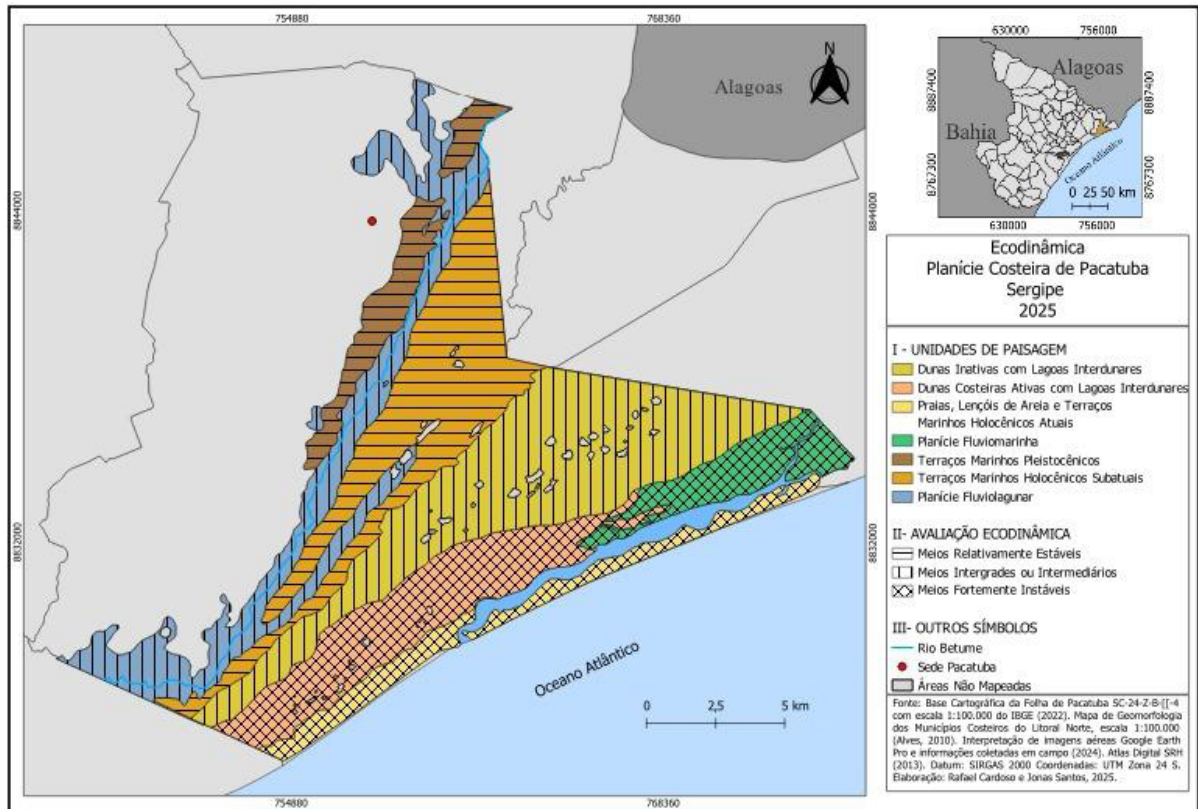
Foram classificados como Geofácies em Resistasia Natural e/ou Antrópica– a Planície Fluviomarinha, por se encontrar diariamente sujeita às oscilações das marés com diferentes intensidades, que remobilizam os sedimentos, e neste ambiente se desenvolve a carcinicultura; a Planície Fluviolagunar em razão das inundações frequentes atreladas ao regime fluvial do rio Betume, regulado principalmente pelas precipitações vinculadas à sazonalidade climática; as Dunas Costeiras Ativas e Lagoas Interdunares cujos sedimentos arenoquartzosos finos sofrem transporte eólico permanentemente, forçando a migração das dunas sobre as lagoas interdunares, que pouco a pouco vão sendo assoreadas, e as Praias e Lençóis de Areia, e os Terraços Marinhos Holocênicos Atuais por se encontrarem em contato com a dinâmica oceanográfica, submetidas à arrebentação de ondas de tempestade, que no período do outono-inverno alteram a configuração da praia devido a erosão.

Na categoria Geofácies em Biostasia Precária estão incluídas as feições que, pelas características da topografia, cobertura vegetal e/ou uso, têm atenuada a ação dos processos morfodinâmicos. Assim, tem-se: as Dunas Inativas e Lagoas Interdunares, tendo em vista que possuem pequena altimetria, morfologia suavemente convexa, solos de textura arenosa e cobertura densa de restinga herbácea, e as lagoas interdunares que as conectam tendem a ser permanentes, como consequência da ausência do transporte eólico de sedimentos. Entretanto, pode haver reativação desses processos, se for desenvolvida a pecuária extensiva nesta unidade; e os Terraços Marinhos Pleistocênicos e os Terraços Marinhos Holocênicos Subatuais por apresentarem topografia quase plana, cobertura por vegetação de restinga e estão fora do alcance dos processos marinhos. O uso costuma ser a cocoicultura, pois o coco-da-baía (*Cocos nucifera*) se adapta bem aos solos arenosos.

As Geofácies identificadas na Planície Costeira de Pacatuba foram avaliadas segundo os pressupostos ecodinâmicos (Tricart, 1977), com base no balanço morfogênese e pedogênese definidores da intensidade da atuação dos processos morfodinâmicos. Desse modo, foram agrupadas nas categorias: Meios Relativamente Estáveis, Meios *Intergrades* e Meios Fortemente Instáveis (Figura 12).



Figura 12 – Ecodinâmica da Planície Costeira de Pacatuba-Sergipe.

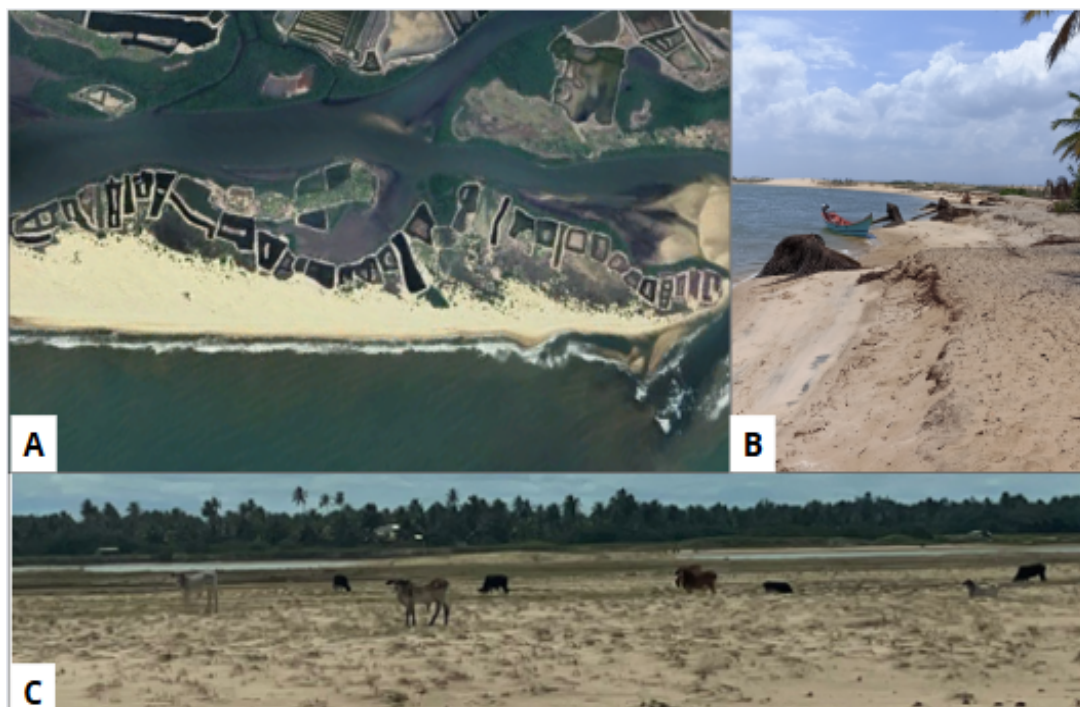


Na categoria de Meios Fortemente Instáveis estão as seguintes Geofácies: Praias, Lençóis de Areia e Terraços Marinheiros Holocênicos Atuais, Dunas Costeiras Ativas e as Lagoas Interdunares, Planície Fluviomarinha, e Planície Fluviolagunar.

A Geofácies Praias, Lençóis de Areia e Terraços Marinheiros Holocênicos Atuais é modelada por agentes dinâmicos como marés, ondas, correntes oceânicas e ventos, que atuando sobre depósitos de sedimentos arenoquartzosos. Essa Geofácies reúne morfologias em constante transformação devido à ação dos processos costeiros, principalmente do vento e das ondas, favorecendo a morfogênese sobre a pedogênese. A intervenção humana nessa unidade se relaciona com a instalação de viveiros destinados à carcinicultura, em setores dos Terraços Marinheiros Holocênicos Atuais, e pastoreiro nos Lençóis de Areia, compactando o solo do local (Figura 13). Por esse motivo, foi classificada como Meios Fortemente Instáveis.



Figura 13 - (A) Áreas de viveiros de carcinicultura nos Terraços Marinhos Atuais da ilha-barreira; (B) Terraço marinho erodido no Povoado Boca da Barra; (C) Pastoreio de gado nos Lençóis de Areia. Ponta dos Mangues, Pacatuba/ SE.



Fonte: *Google Earth*, 2025; Fotografos: Rafael Cardoso, 2024; Jonas Santos, 2024.

A Geofácies Dunas Costeiras Ativas com Lagoas Interdunares é marcada pela mobilidade dos sedimentos arenosos, continuamente transportados pela ação eólica, intensificada pela escassa cobertura vegetal (Figura 14). Esse processo morfodinâmico contribui para o progressivo assoreamento das lagoas interdunares, onde os sedimentos são depositados. Desse modo, a morfogênese predomina sobre a pedogênese, justificando a sua inclusão nos Meios Fortemente Instáveis. Soma-se a essas condições, as intervenções antrópicas, como atividades turísticas, criação de gado e pequenos cultivos de coqueiros nas proximidades, que promovem a remoção da vegetação pioneira, acentuando ainda mais a instabilidade ambiental.



Figura 14 - Dunas Ativas com Lagoas Interdunares, parcialmente cobertas por restinga arbustivo-arbórea, migram sobre as lagoas. Planície Costeira de Pacatuba-Sergipe.



Fotógrafa: Neise Alves, 2024.

A Planície Fluvio-marinha é uma Geofácies submetida à ação diária das marés oceânicas, atuando sobre uma superfície formada por sedimentos de natureza fluvial e marinha. Essa planície abriga amplas áreas de manguezais. No substrato pouco consolidado, composto por argilas, siltes e areia fina, os processos pedogenéticos encontram ambiente pouco propício para seu desenvolvimento, pois além da oscilação das marés, atuam organismos que causam bioturbação. No momento atual, a estabilidade geodinâmica dessa unidade está comprometida pela expansão da carcinicultura, com a instalação de viveiros destinados à criação de camarões. Por esse motivo, ela foi inserida no conjunto Meios Fortemente Instáveis, uma vez que a morfogênese supera a pedogênese (Figura 15).

Figura 15 – Planície Fluvio-marinha coberta por vegetação de Mangue. Planície Costeira de Pacatuba-Sergipe.

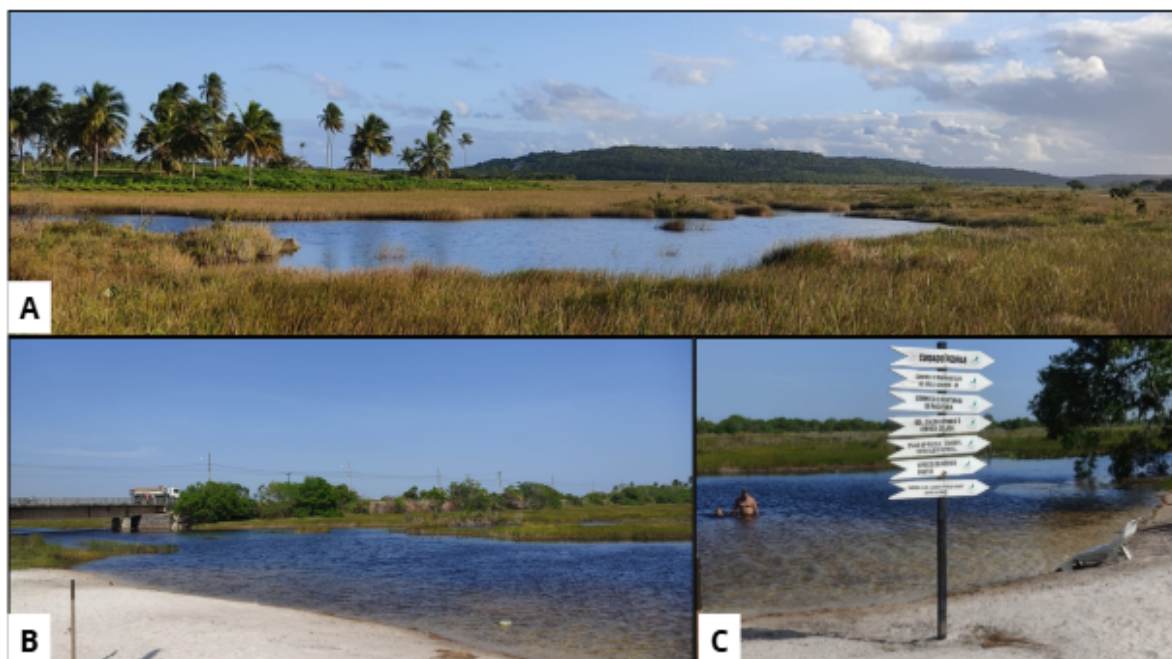


Fotógrafa: Neise Alves, 2024.



A Planície Fluviolagunar está adjacente ao canal rio Betume, cuja dinâmica hidrológica é marcada por enchentes frequentes. Essa Geofácies corresponde a uma superfície relativamente plana com depressões onde se formam lagoas, e é composta por solos argiloarenosos, mal drenados, uma vez que o lençol freático está próximo à superfície. A alternância entre períodos de maior e menor vazão do rio influencia diretamente na estabilidade dessa unidade. A ciclicidade entre as inundações no período chuvoso e a estabilidade dos sedimentos com o desenvolvimento da cobertura vegetal no período seco, tendem a favorecer os processos pedogenéticos, e contribuiu para classificar essa Geofácies como *Meios Intergrades* (Figura 16).

Figura 16 - (A) Planície Fluviolagunar adjacente ao canal do rio Betume; (B) Área considerada o Pantanal de Pacatuba com presença de vegetação de campo de várzea, próximo à ponte sobre o rio Betume, na rodovia SE- 204, Povoado Areia Branca. (C) Área de lazer na margem do Rio Betume, Pacatuba.



Fotógrafo/a: Rafael Cardoso, 2024. Mona Oliveira, 2024.

As Dunas Costeiras Inativas com Lagoas Interdunares compõem uma Geofácies onde a ação eólica atua de forma limitada, devido à presença de vegetação densa, composta por espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas típicas da restinga (Figura 17). Essa cobertura vegetal eficiente atua como barreira natural, estabilizando o solo, reduzindo o deslocamento de sedimentos e diminuindo a suscetibilidade à erosão. Nessas condições, há um equilíbrio dinâmico entre pedogênese e morfogênese, embora a introdução da pecuária extensiva possa romper essa estabilidade ao degradar a vegetação, reativando processos erosivos localizados. Em razão dessa alternância de dinâmicas, a área foi classificada como *Meios Intergrades*.



Os Terraços Marinheiros Holocênicos Subatuais estão situados entre as Dunas Costeiras Inativas com Lagoas Interdunares e a Planície Fluviolagunar, configurando uma Geofácies com suave inclinação dirigida para o oceano, cujas altitudes variam entre poucos centímetros a 4 metros (Bittencourt *et al.*, 1983). O uso da área está ligado à cocoicultura e ao aproveitamento de pastagens naturais. Embora essa Geofácies esteja sujeita, pontualmente, a algum grau de erosão superficial, foi classificada como Meios Relativamente Estáveis, pois não sofrem diretamente os efeitos dos processos costeiros e é favorecida pela cobertura vegetal, que protege o solo. Porém, o pastoreio pode expor os sedimentos e levar à reativação dos processos eólicos. Nessas circunstâncias, a pedogênese se destaca ligeiramente em relação à morfogênese.

Figura 17 – Dunas Costeiras Inativas com Lagoas Interdunares, e setores com uso pela cocoicultura. Planície Costeira de Pacatuba-Sergipe.



Fotógrafa: Neise Alves, 2024.

A Geofácies Terraços Marinheiros Pleistocênicos apresenta superfície suavemente ondulada e baixa declividade, está no contato com os leques aluviais coalescentes na paisagem costeira atual. As altitudes das feições variam entre 4 e 8 metros (Bittencourt *et al.*, 1983), resultantes de oscilações pretéritas no nível do mar. Nessa unidade de paisagem, predominam atividades agrícolas, sobretudo a cocoicultura. Tais atributos geomorfológicos e de uso conferem a ela, maior estabilidade relativa, marcada pela predominância dos processos pedogenéticos em detrimento da morfogênese. Diante das condições que apresenta no momento, foi classificada como Meios Relativamente Estáveis.

Entre as Dunas Costeiras Ativas e Inativas existem lagoas de caráter temporário e permanente. Tais corpos d'água são essenciais para a dessedentação de animais, além de viabilizarem práticas como a pesca artesanal e a utilização da taboa (*Typha domingensis*), vegetação hidrófila empregada na produção de peças artesanais pelos moradores da região (Figura 18 A, B, C e D). Essas lagoas ocupam depressões naturais do terreno, onde



se concentram as águas pluviais e se eleva do lençol freático, facilitado pela proximidade com o nível de base geral.

Figura 18 - Etapas de produção do artesanato com a taboa (*Typha domin-gensis*) no Povoado Tigre: (A) Lagoa interdunar com taboa; (B) Exposição da vegetação ao sol para secar; (C) Confecção artesanal com a palha seca; (D) Material pronto para comercialização. , Pacatuba/SE.



Fotógrafo: Rafael Cardoso, 2024.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer do estudo realizado, foi possível compreender as interações entre os elementos naturais e antrópicos que definem a dinâmica dessa paisagem litorânea. A aplicação dos referenciais de Bertrand (1972), Bertalanffy (1977) e Tricart (1977) possibilitou reconhecer e compartimentar o geossistema Planície Costeira de Pacatuba em sete Geofácies, classificadas segundo seus aspectos morfológicos e estado morfodinâmico.



A análise revelou áreas com diferentes níveis de estabilidade/instabilidade, evidenciando tanto a ação dos processos naturais quanto a influência das atividades humanas, principalmente, a carcinicultura e a agropecuária, nos processos morfodinâmicos que transformam a paisagem. A metodologia apoiada nos pressupostos geossistêmicos e ecodinâmicos demonstrou-se eficaz na análise, ao integrar componentes físicos e sociais, fornecendo subsídios importantes para o planejamento ambiental e a gestão territorial.

Dessa forma, a realização de estudos com enfoque sistêmico possibilita o entendimento das inter-relações estabelecidas no espaço geográfico, com dinâmicas socioambientais constantes. Com a produção dos mapas geossistêmico e ecodinâmico, complementados pela análise geoambiental, se corroboram para a tomada de decisões por parte do poder público. Além disso, as informações disponibilizadas podem gerar novas pesquisas científicas, bem como melhorar o nível de consciência da sociedade civil para as questões ambientais.

REFERÊNCIAS

ALVES, N. M. S. **Análise geoambiental e socioeconômica dos municípios costeiros do litoral norte do estado de Sergipe** – diagnóstico como subsídio ao ordenamento e gestão do território. São Cristóvão, 2010, 2v.: Il. Tese (Doutorado em Geografia) –Núcleo de Pós-Graduação em Geografia, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Federal de Sergipe, 2010.

AMANCIO-MARTINELLI, S.; BARBOSA-GUIMARÃES, M.; SILVA, C.S. . **Influencia da evolução costeira holocênica na ocupação por grupos sambaquieiros: resultados das prospecções arqueológicas nas regiões litorâneas dos estados de Sergipe e da Bahia no nordeste do Brasil**. Diálogo andino, p. 149-157, 2013.

ARAÚJO, H. M. et al. **Potencialidades e restrições de uso dos recursos naturais no curso inferior da Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe**. In: SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 6., SEMINÁRIO IBERO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 2., 2010, Coimbra.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**. 3. ed. Petrópolis: Vozes, 1977.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, n. 13, p. 1-27, 1972.

BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L. Evolução paleogeográfica quaternária da costa do estado de Sergipe e costa sul do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.13, n. 2, p. 93-97, 1983.

CAMARGO, L. H. R. de. **A ruptura do meio ambiente: Conhecendo as mudanças am-**



bientais do planeta através de uma nova percepção da ciência: A Geografia da complexidade. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2005.

CORREIA, A. L. F. **Interações socioambientais da planície costeira associada à foz do rio São Francisco : município de Pacatuba-SE.** 2014. 123 f. Tese (Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2016.

LIMA, L. P. **Ordenamento do uso e ocupação do solo na planície fluviolagunar do rio Betume e adjacências.** 2017. 133 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2017.

RODRIGUEZ, J. M. M. et. al. **Análise da paisagem como base para estratégia de organização geoambiental:** Corumbataí (SP). Geografia, Rio Claro, v.20, n.1, p.81-129, abr. 1995.

SANTOS, R. A. dos, org. et al. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil –PLGB.** Geologia e recursos minerais do Estado de Sergipe. Escala 1:250.000. **Texto explicativo do Mapa geológico do Estado de Sergipe.** Brasília: CPRM/DIEDIG/DEPAT; CODISE, 1998.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 91 p. (Recursos naturais e meio ambiente, 1).



IMPACTOS DOS EVENTOS DE MAIOR ENERGIA NAS PRAIAS DE SERGIPE: UMA ABORDAGEM COM SMC-BRASIL

Paloma Santos Amorim 46

Tais Kalil Rodrigues 47

Jessica Lane Lopes da Silva 48

Ádila Ferreira Sena 49

Ana Alici de Souza Marcelino 50

Palavras-chaves: SMC-Brasil, Erosão Costeira, Planejamento.

RESUMO

O planejamento de medidas de mitigação e prevenção na zona costeira exige um entendimento aprofundado dos processos costeiros, pois estes determinam as modificações nos ambientes litorâneos. O presente estudo tem como objetivo compreender a dinâmica litorânea do litoral do estado de Sergipe, utilizando a ferramenta SMC-Brasil para identificar áreas vulneráveis à inundação durante eventos de maior energia. A análise revelou que a principal direção de propagação das ondas é de Leste-Sudeste (ESE) e Sudeste (SE). Durante eventos de maior energia, essas ondas possuem maior poder de sobrelavagem e remoção de sedimentos, resultando em perfis intermediários e erosivos. Em contrapartida, períodos de calma, caracterizados por ondas menores, promovem a deposição de sedimentos, tornando o perfil mais dissipativo, com declividade suave e zona de espraçamento extensa e bem desenvolvida. Foram identificadas estruturas como muros e enrocamentos que interferem na circulação sedimentar, além de pontos de erosão que geram impactos socioeconômicos negativos. Esses fatores reforçam a necessidade de um planejamento adequado para a ocupação da linha de costa em Sergipe. A erosão costeira, intensificada pela ocupação desordenada da faixa litorânea, acarreta prejuízos econômicos tanto para o setor privado quanto para o Estado, especialmente durante eventos de maior energia. A ferramenta SMC-Brasil se destaca como um importante auxílio para a compreensão da dinâmica costeira e para a gestão do litoral brasileiro. A avaliação dos dados de ondas e morfologia costeira no litoral de Sergipe confirma que eventos de maior energia resultam em um maior alcance das ondas na zona costeira, intensificando

46 Mestranda pelo programa de geociências e análise de bacias da Universidade Federal de Sergipe – UFS, palomasantosamorim@gmail.com;

47 Professora orientadora: Doutora, Universidade Federal de Sergipe – UFS, tkalilr@yahoo.com.br;

48 Graduanda do Curso de Geologia da Universidade Federal de Sergipe - UFS, lanejessica@hotmail.com;

49 Graduanda do Curso de Geologia da Universidade Federal de Sergipe - UFS, ferreiraadila27@gmail.com;

50 Graduanda do Curso de Geologia da Universidade Federal de Sergipe - UFS, aliciimarcelino@gmail.com;



a erosão. A ocupação irregular da faixa litorânea, em alguns casos sobre a própria face de praia, evidencia a vulnerabilidade da região aos processos erosivos, exacerbados pela elevação do nível do mar e pela intensificação de eventos de maior energia, decorrentes das mudanças climáticas e da ação antrópica. Um fator determinante para a intensificação desses processos foi a regularização da vazão do rio São Francisco pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), que alterou a dinâmica hidrodinâmica da região. Contudo, o estudo enfrenta limitações, como a restrição no banco de dados de ondas, que impede a inserção de batimetrias mais detalhadas, e a necessidade de calibração manual da direção das malhas, o que pode comprometer a precisão dos resultados. Apesar dessas limitações, a análise dos dados do SMC-Brasil possibilita que futuras pesquisas, em parceria com órgãos governamentais, auxiliem no planejamento ambiental do litoral sergipano. Dessa forma, estratégias de mitigação e prevenção podem ser desenvolvidas para reduzir os riscos associados à erosão, especialmente nos períodos de inverno e outono, quando as ondas apresentam maior altura e maior poder erosivo sobre a face de praia, colocando as áreas costeiras em situação de vulnerabilidade.

INTRODUÇÃO

A zona costeira apresenta um comportamento extremamente dinâmico, influenciado por diversos fatores como a ação das ondas, as correntes de maré, a declividade do relevo submarino, as condições climáticas e as variações no equilíbrio entre o nível médio do mar e o suprimento de sedimentos. Essa área abriga uma ampla variedade de ambientes, muitos deles bastante sensíveis, que vêm sendo degradados progressivamente devido à intensificação da ocupação humana ao longo do litoral (SMC - BRASIL, 2013).

O litoral brasileiro sofre com os processos de erosão, tanto nos setores urbanizados como os naturais. A erosão costeira representa uma das expressões mais visíveis da instabilidade ambiental em áreas litorâneas, refletindo a complexa interação entre dinâmicas naturais e pressões antrópicas crescentes (Lima, 2025). Complementando essa perspectiva, Muehe (2004) aponta que cerca de 75% do litoral brasileiro apresenta registros de erosão costeira, com maior incidência em praias arenosas (40%), seguida por escarpas sedimentares (20%) e desembocaduras fluviais (15%).

Este fenômeno de erosão costeira é frequentemente associado à subida do nível do mar, o que poderia estar relacionado a uma nova oscilação deste no período Quaternário por efeito de mudanças climáticas provocadas pelas emissões de dióxido de carbono derivados da queima de combustíveis fósseis. Entre os efeitos mais significativos das mudanças climáticas destaca-se a intensificação dos eventos climáticos extremos, tanto em termos de frequência quanto de magnitude, conforme evidenciado pelo IPCC (2022). As mudanças climáticas podem implicar ainda em uma mudança no regime de tempestades, aumentando a frequência e altura das ondas de maior energia o que, por sua vez, pode resultar em uma mudança significativa no aporte e transporte de sedimentos em direção à costa (Lins de Barros, 2005).



As praias configuram-se como espaços de relevante valor socioeconômico, atuando como polos de atração para o desenvolvimento urbano, turístico, comercial e industrial. Tais dinâmicas envolvem uma expressiva concentração populacional e demandam elevados investimentos em infraestrutura e serviços (Stronge, 1994).

Os padrões de desenvolvimento da Zona Costeira, em especial da orla, devem decorrer da integração das dimensões econômica, social e ambiental, refletindo os diferentes interesses e necessidades dos grupos sociais que vivem nela (Bombana, 2022). Sendo assim, as praias são ambientes altamente instáveis e sensíveis, com o seu uso desordenado comprometendo a sua qualidade estética e ambiental, como também a própria atividade turística (Silva e Silva, 2007).

Segundo Muher (2010) às praias se caracterizam pela sua resiliência a eventos extremos, ajustando-se, em perfil e em planta, ao transporte transversal e longitudinal de sedimentos induzido pelas ondas. Esta dinâmica, no entanto, é considerada pela disponibilidade de sedimentos, e é a partir dessa disponibilidade que se pode haver a manutenção das praias.

A erosão costeira, associada à presença predominante de edificações situadas sobre ou nas proximidades da linha de costa, compromete o equilíbrio delicado entre o aporte sedimentar e a ação erosiva das ondas, resultando na diminuição da capacidade adaptativa natural das praias (Doyle et al., 1984; Terich, 1987). Para Sousa et al. (2017), o suporte a estudos que visam monitorar os processos de erosão costeira, necessitam do emprego de bases de dados eficientes, que possibilitem a criação de modelos matemáticos precisos, permitindo quantificar e calcular a taxa de erosão em um dado período de tempo, de forma mais eficiente e rápida.

Embora seja de grande relevância o monitoramento das regiões litorâneas, alguns dados espaciais sistematizados para a zona costeira ainda são espaço-temporalmente reduzidos e de difícil coleta, armazenamento e processamento (Huang et al. 2021).

Deste modo é importante ter um entendimento adequado dos processos atuantes na zona costeira. No Brasil, entretanto, a falta de dados costeiros impõe sérias barreiras para o devido mapeamento das áreas suscetíveis a perigos costeiros (Rudorff, 2005).

Com o intuito de estabelecer alternativas que possibilitem uma melhor compreensão das causas e mitigação dos processos erosivos em todo litoral brasileiro, foi utilizado pelo governo brasileiro em acordo com o governo Espanhol o sistema de Modelagem Costeira (SMC) que consiste em uma ferramenta computacional desenvolvida pelo Instituto Hidráulico Ambiental da Cantábria (IH Cantábria) da Universidade de Cantábria, na Espanha, é possível combinar metodologias de trabalho, bases de dados de cartas náuticas e modelos numéricos orientados para o estudo e ou solução de problemas na zona costeira (SMC – BRASIL MANUAL).



Este trabalho visa contribuir com uma avaliação da dinâmica marinha e sedimentar de forma detalhada, utilizando do sistema de modelagem costeira (SMC) no litoral do estado Sergipe, que se apresenta por ter uma extensa faixa litorânea, que se estende desde a desembocadura do rio São Francisco ao norte de Brejo Grande até a desembocadura do rio Piauí/Real ao sul do município de Estância.

MATERIAIS E MÉTODOS

A investigação foi conduzida por meio de uma abordagem metodológica integrada que combinou diferentes estratégias e técnicas para compreender a dinâmica e a vulnerabilidade da zona costeira sergipana. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica aprofundada com o objetivo de sustentar teoricamente o estudo, utilizando artigos científicos, livros, dissertações, teses e documentos técnicos. Essa etapa também incluiu a análise de imagens de satélite, fotografias e mapas temáticos, os quais auxiliaram na caracterização inicial da área e na definição dos locais prioritários para análise de campo.

A coleta de dados em campo buscou complementar as informações teóricas com observações diretas e sistemáticas da faixa litorânea. Foram registrados aspectos da morfologia costeira, padrões de ocupação e indicadores de processos erosivos ou de estabilidade, por meio de fotografias, fichas descritivas e observações estruturadas. Para caracterizar os sedimentos presentes ao longo do litoral, foram coletadas amostras superficiais a cada 1 km, totalizando 167 pontos georreferenciados com GPS. As amostras foram retiradas da camada superficial, a cerca de 5 cm de profundidade, com o intuito de representar fielmente as condições sedimentares locais. As informações coletadas in loco seguiram uma ficha padronizada contendo dados sobre a feição pós-praia, intervenções antrópicas, parâmetros oceanográficos e a presença de geoindicadores de erosão ou progradação, conforme a classificação proposta por Bush et al. (1999) e adaptada por Silva (2014).

As amostras sedimentares foram analisadas em laboratório por meio de peneiramento a seco, visando à caracterização granulométrica do material. Após lavagem para remoção de sais solúveis e secagem em estufa a 100 °C por 24 horas, o material foi quarteado até a obtenção de subamostras de 100 g. Em seguida, foi realizada a peneiração utilizando agitador mecânico tipo “Rotap”, com malhas entre 4 e 0,062 mm, durante 10 minutos. As frações retidas foram pesadas em balança analítica de alta precisão, e os dados processados no software Sysgran, que forneceu os parâmetros estatísticos da distribuição granulométrica, como média, assimetria, curtose e desvio padrão.

Como forma de ampliar a compreensão dos processos dinâmicos atuantes, uti-



lizou-se o sistema de modelagem costeira SMC-Brasil 3.0, uma ferramenta adaptada às condições litorâneas brasileiras a partir do software desenvolvido pelo Instituto de Hidráulica Ambiental da Cantábria (IH Cantabria). O módulo temático de ondas foi empregado para gerar séries temporais de parâmetros como altura significativa, período de pico e direção de propagação, a partir de dados do modelo Global Ocean Waves (GOW), além de incorporar informações de marés astronômicas e meteorológicas. Apesar da necessidade de calibração em áreas específicas, os resultados apresentaram boa concordância com os dados empíricos obtidos.

Por fim, os dados oriundos das diversas etapas — revisão bibliográfica, trabalho de campo, análises laboratoriais e modelagem — foram integrados com o propósito de identificar os segmentos mais vulneráveis da costa sergipana à erosão e à atuação de processos morfodinâmicos intensos. Essa análise integrada permitiu não apenas a delimitação de áreas críticas, mas também subsidiou recomendações para o planejamento ambiental e estratégias de mitigação voltadas à gestão sustentável do território costeiro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Classificação morfodinâmica das praias do litoral de Sergipe

Características morfodinâmica podem estar associadas a mecanismos de transporte que podem ser ambientalmente diagnosticados, esta análise da textura superficial apresentou predominância de grãos arredondados e de esfericidade moderada, assim associada a processos de transporte longos, logo deposição distante da área fonte.

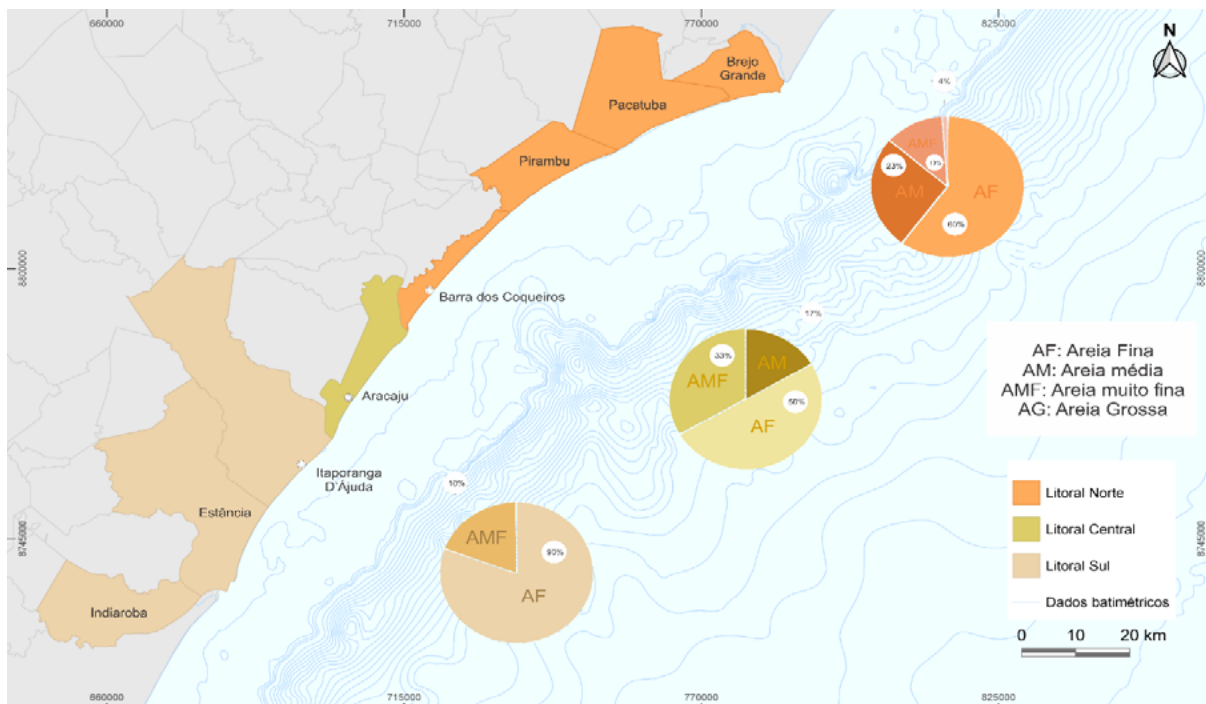
Os dados obtidos através da coleta de informações possibilitam comparar distribuições de tamanho de grãos de maneira qualitativa e quantitativa (Calliari, 1980). O diâmetro médio (\emptyset), representa o tamanho de partículas que ocorrem com maior frequência (Prevedello et al., 2000), para Sergipe areia fina a muito fina são as classificações mais recorrentes, ocorrendo também tamanhos médio a grosso, mas em menores proporções. O selecionamento ou grau de seleção é uma medida de dispersão da amostra, ou seja, o desvio padrão (σ) da distribuição de tamanho (Jesus, 2013).

Os sedimentos do litoral sergipano se caracterizaram essencialmente como bem a muito bem selecionados (Figura 01), segundo Tabajara e Martin (2006) sedimentos arenosos com tamanho de partículas de areia fina tendem a serem sedimentos melhores selecionados, o que ocorre na área.



Figura 01. Relação dos tamanhos de grão encontrados na área de estudo.

Fonte: Dados de coleta de campo. Elaboração: Paloma Amorim.



Estudos morfodinâmicos na década de 70 permitiram a identificação de “estágios” morfológicos associados a regimes hidrodinâmicos (Calliari et al., 2003). A Escola Australiana de Geomorfologia Costeira reconheceu seis estágios morfológicos distintos, estes são caracterizados por dois estados extremos (dissipativo e refletivo) e quatro intermediários.

As praias refletivas são áreas protegidas, com alta declividade, presença de grãos maiores e maior incidência de ondas sobre a face de praia. As praias dissipativas são mais expostas, face de praia extensa e de baixa declividade, propiciando um tamanho menor de grão. As praias intermediárias por sua vez contemplam características comuns aos dois outros estágios, elas podem ser identificadas pela presença de correntes de contorno (Caricchio, 2009).

A partir dos dados obtidos, as praias de Sergipe são majoritariamente dissipativas, o nome se dá ao fato de que energia recebida pelas ondas é dissipada já que são caracterizadas pela presença de granulometria fina, maior largura da face de praia, inclinação suave e zona de surfe bem desenvolvida. São frequentes campos de dunas associados. Devido a estas características, esse tipo de praia apresenta grande diversidade de produtividade primária (Caricchio, 2009). Alguns trechos das praias apresentaram características intermediárias com granulometria média e menor largura de face de praia, devido à proximidade de desembocadura, alterando as características do tipo de praia dissipativa



presente em todos os outros pontos da linha de costa estudada.

O padrão de deriva do litoral é de nordeste para sudeste, com fontes de sedimentos vindos principalmente das desembocaduras dos rios onde elas fornecem sedimentos para as áreas costeiras adjacentes, formando bancos arenosos em pontos específicos próximos a algumas desembocaduras, que se ligam a costa em alguns períodos.

Estatísticas de Ondas e Marés Através do SMC – Brasil

Como a ferramenta SMC tem uma base de dados dos anos entre 1948 e 2008, foi escolhido 3 pontos de referência P1 (Ponto DOW – Downscaled Ocean Waves) para cada parte do litoral devido à limitação do programa, mas a divisão dos pontos respeitou a setorização do litoral. O primeiro ponto DOW foi para o litoral norte com a localização na latitude -10.846 UTM e longitude -36.451 UTM sob lâmina d'água de 20,0m; o outro P1 no litoral central sob lâmina d'água é de 26m, na latitude -11.117 UTM e longitude -36.997 UTM e o último ponto no litoral sul na latitude -11.3 ° UTM e longitude -37.2 ° UTM sob lâmina d'água de 20,0m.

A tabela 01 representa de forma sintetizada os parâmetros de altura de ondas, período de pico e probabilidade de ocorrência para a direção de ondas mais frequentes obtidos através do histograma gerados pelo SMC Tools do ponto DOW. A caracterização das ondas nos casos relacionados às condições de tempestade (Hs12 e Tp12, valores em média superados somente 12 horas ao ano) e medianas (Hs50% e Tp50%) para cada uma das principais direções.

Com base nos dados do SMC, verifica-se que as duas direções de onda que atuam predominantemente nas regiões, são aquelas provenientes de leste-sudeste (ESE), e as de Sudeste (SE) em todo o litoral de Sergipe. E são nos períodos de condições de tempestade (Hs 12) que as ondas terão maior altura e maiores períodos de pico (Tp 12) que variam consideravelmente entre as quatro principais direções, em todo o litoral.

Pontos	Direção	Prob. Direção	Hs 50%	Tp 50%	Hs 12	Tp 12
Litoral Norte	E	0,0148	1.5201	7.5966	2.5727	10.7875
	ESE	0,4762	1.6160	8.1102	3.1182	11.9014
	SE	0,4398	1.5807	7.8437	3.0946	14.6701
	SSE	0,0675	1.7476	9.3582	3.5204	15.9124
Litoral central	E	0,0043	1.2007	7.0185	1.9455	9.6685
	ESE	0,5001	1.4004	7.9013	2.5199	12.1385
	SE	0,4593	1.5010	8.0211	2.8440	15.7044
	SSE	0,0363	1.7882	9.0426	3.3123	16.2673



Litoral Sul	E	0,0042	1.2761	7.6730	2.1415	10.2957
	ESE	0,7366	1.4685	7.7530	2.9070	12.0050
	SE	0,2454	1.5031	7.5636	2.9793	14.4925
	SSE	0,0117	1.8004	8.0830	2.8637	14.4925

Tabela 01: Caracterização das estatísticas de ondas dos pontos DOW. Fonte: Dados do SMC-Brasil. Elaboração: Paloma Amorim.

As ondas no litoral de Sergipe podem ser geradas em condições normais ou em eventos de maior energia, sendo essa última mais fortes, com a chegada da massa polar e ventos de sul e sudeste, nos períodos de inverno e outono, as ondas apresentam maiores valores de alturas e alcance da costa, representando alto poder erosivo sobre a face de praia, e nos períodos de primavera e verão as ondas possuem menor poder erosivo sobre a linha de costa pôr apresentar menores alturas de ondas e menor alcance de quebra na face de praia, esses dados podem ser verificados na tabela 02, que apresentam as rosas direcionais das alturas de ondas significativas (Hs), fornecida pelo programa SMC – Brasil, separadas por estações do ano, em que graficamente se destaca a dominância das ondas provenientes de ESE durante as estações de primavera SON (setembro, outubro, novembro), verão DEF (Dezembro, Janeiro, Fevereiro), inverno JJA (junho, julho, agosto) e outono MAM (Março, Abril, Maio), mas no litoral norte a ocorrência de ondas de ESE e SE são quase que na mesma proporção na primavera e no litoral central no inverno. Pode-se afirmar que, em geral, distúrbios meteorológicos são mais intensos no inverno e possuem maior efeito em águas rasas (Camargo e Harari, 1994).

Com as ondas de maior energia nos trechos mais urbanizados podem causar erosões severas na costa. Nestes trechos as causas naturais da erosão são decorrentes da dinâmica da circulação costeira (divergência da deriva litorânea) e das intervenções antrópicas que induzem ao balanço sedimentar negativo do sistema praial.

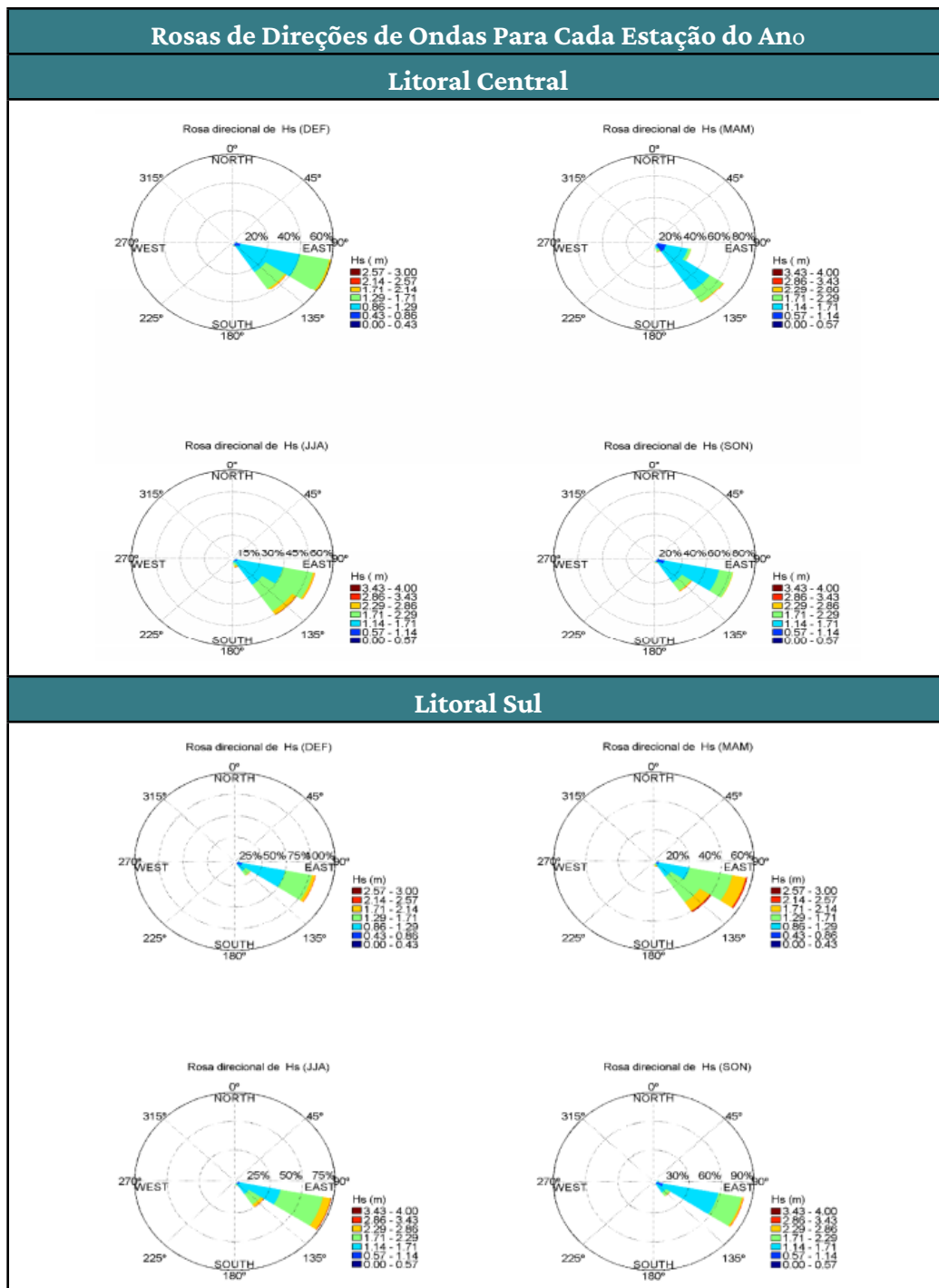
Nas figuras 02 e 03 apresentam as caracterizações do clima de ondas dos pontos DOW selecionados no litoral, as rosas direcionais de altura (Hs) e período (Tp) com as frequências direcionais, para o litoral sul mostra que 73.43% das ondas apresentam direção de ESE (leste-sudeste) seguidas das de SE (sudeste) com 24.41%, para o litoral central 50.01 para ESE e 45.93 SE e nessa mesma ordem sege o litoral norte com 42.79 para ESE e 56.99 para SE.

Para se determinar o regime escalar extremo, foi aplicada a distribuição dos extremos generalizada que superam 95% das frequências. Para um período de retorno de 10 anos, a altura de onda seria de aproximadamente 3 metros com um período de aproximadamente 15 segundos para os litorais central e norte e 13 segundos para o litoral sul (tabela 03).

Em relação ao regime de marés atuantes na região é do tipo mesomaré semidiurna,



apresentando duas marés altas e duas marés baixas a cada dia. Os resultados mostram que o regime de oscilação do nível do mar é principalmente governado pela maré astronômica, com oscilações entre $\pm 1,4$ m, enquanto que as marés meteorológicas oscilam entre $\pm 0,1$ m (tabela 04). De acordo com Pugh (1987) a maré astronômica é o movimento periódico de subida e descida do nível do mar governadas pelos ciclos astronômicos, planetários e climáticos. Em relação às marés meteorológicas duas causas podem provocá-la, são os ventos sobre a superfície do oceano e a pressão atmosférica.



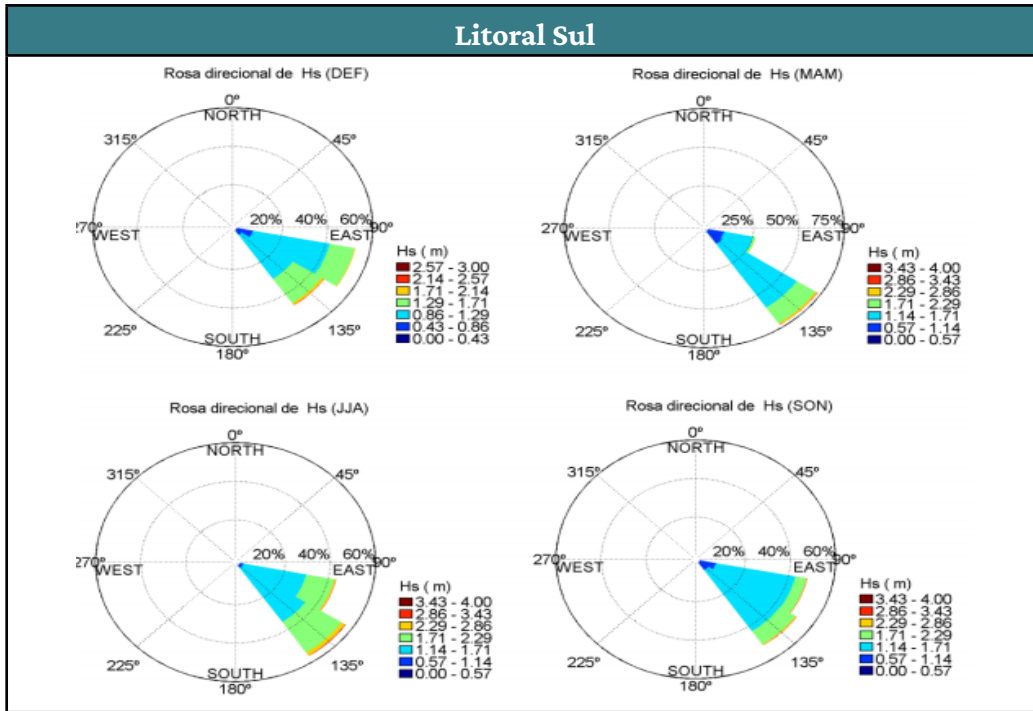
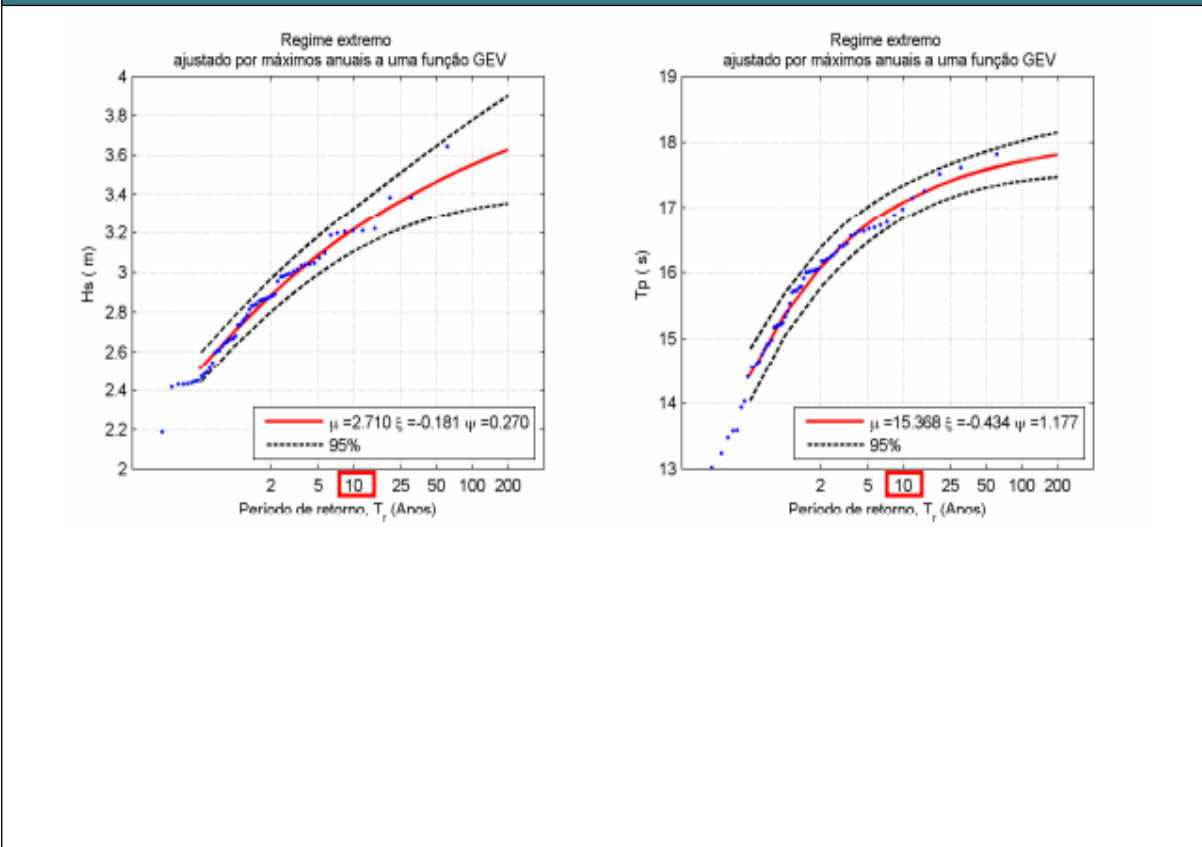


Tabela 02: Rosas de direções de ondas para cada estação do ano: Verão (dezembro, janeiro e fevereiro); outono (março, abril e maio); inverno (junho, julho e agosto) e primavera (setembro, outubro e novembro).

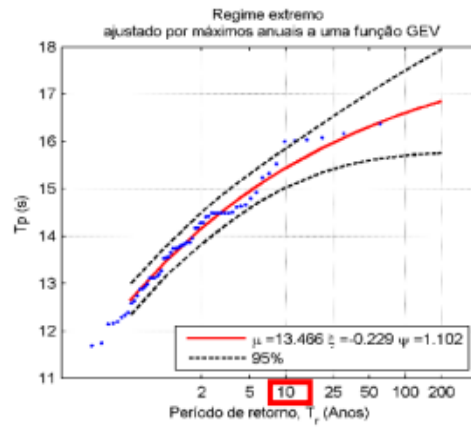
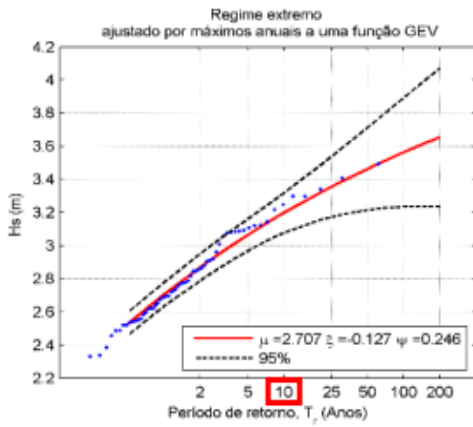
Regime Extremo de Altura de Ondas Significativas e Período do Litoral de Sergipe

Litoral Central





Litoral Sul



Litoral Norte

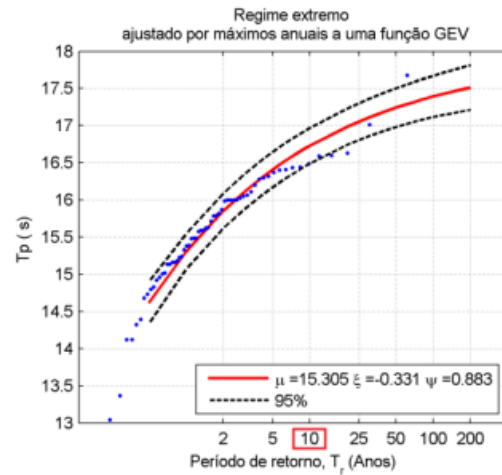
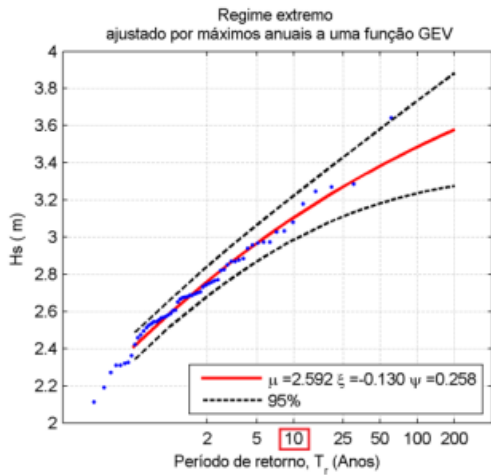


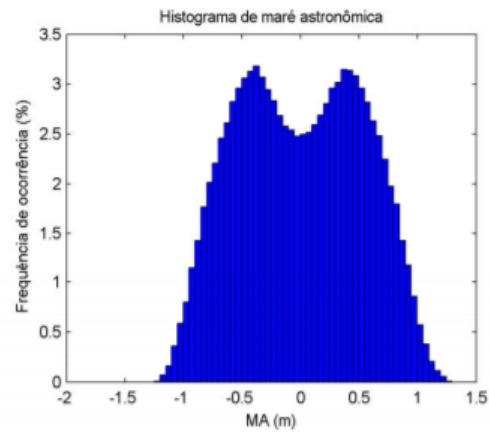
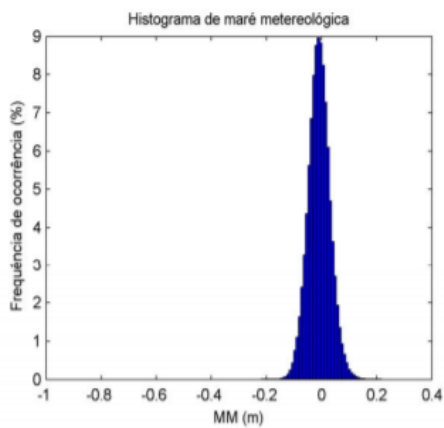
Tabela 03: Regime extremo de altura de ondas significativas e período, no ponto DOW.

Histogramas de Frequência de Marés do Litoral de Sergipe

Marés Meteorológica

Marés Astronômica

Litoral Central



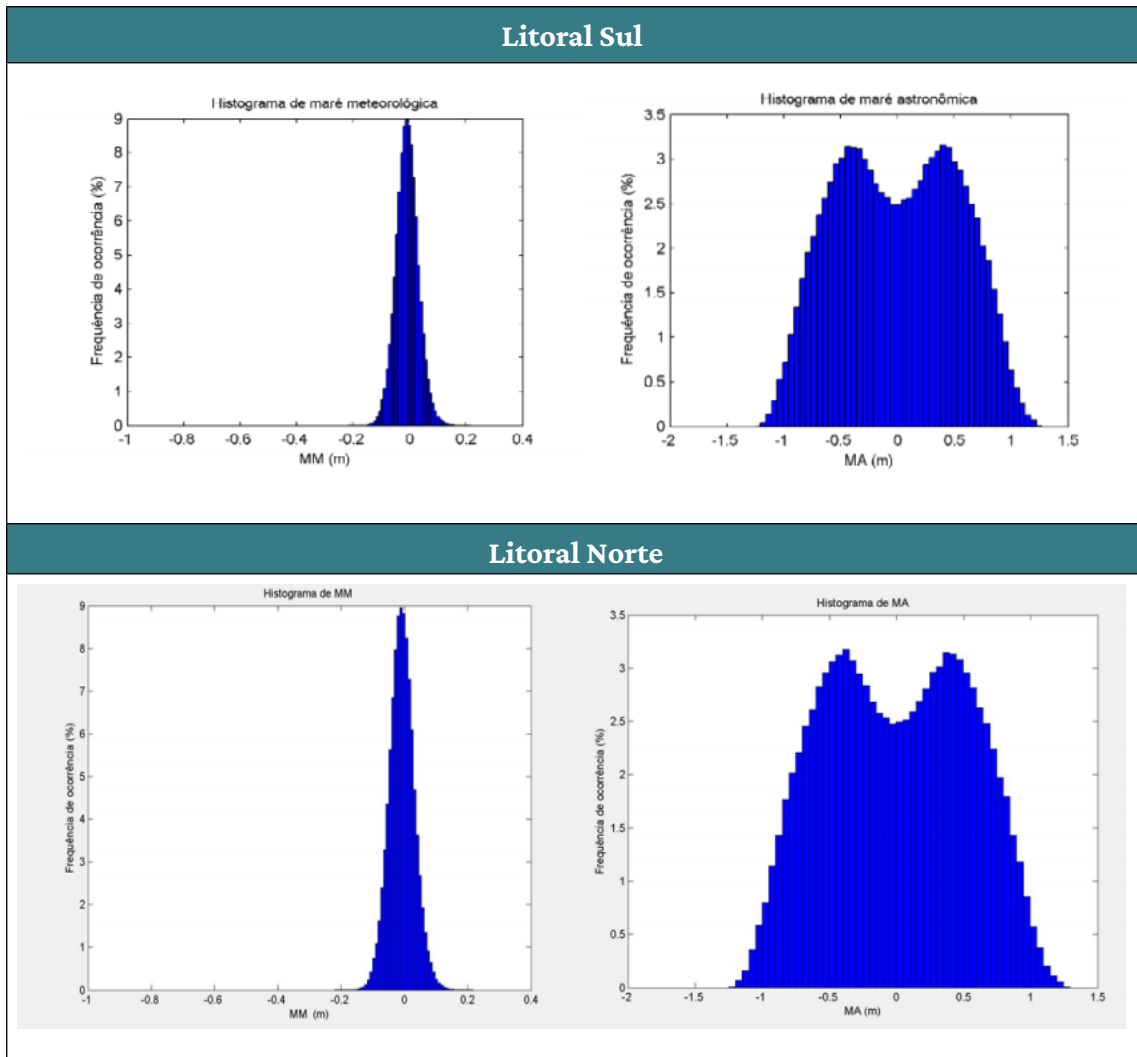


Tabela 04: Caracterização da maré meteorológica e astronômica no ponto DOW, regime médio e regime extremo.

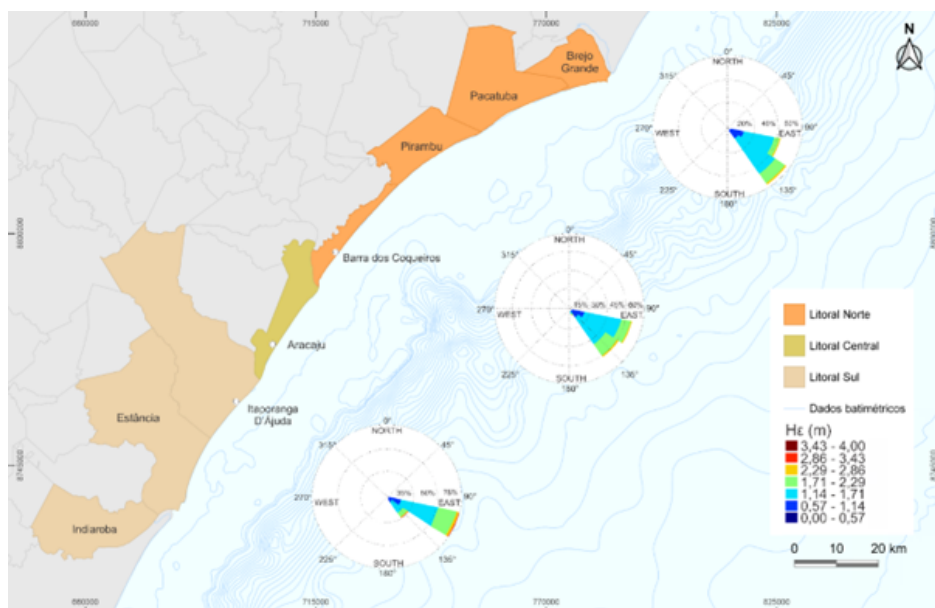


Figura 02: Caracterização do clima de ondas no ponto DOW, com a rosa direcional de altura (Hs).

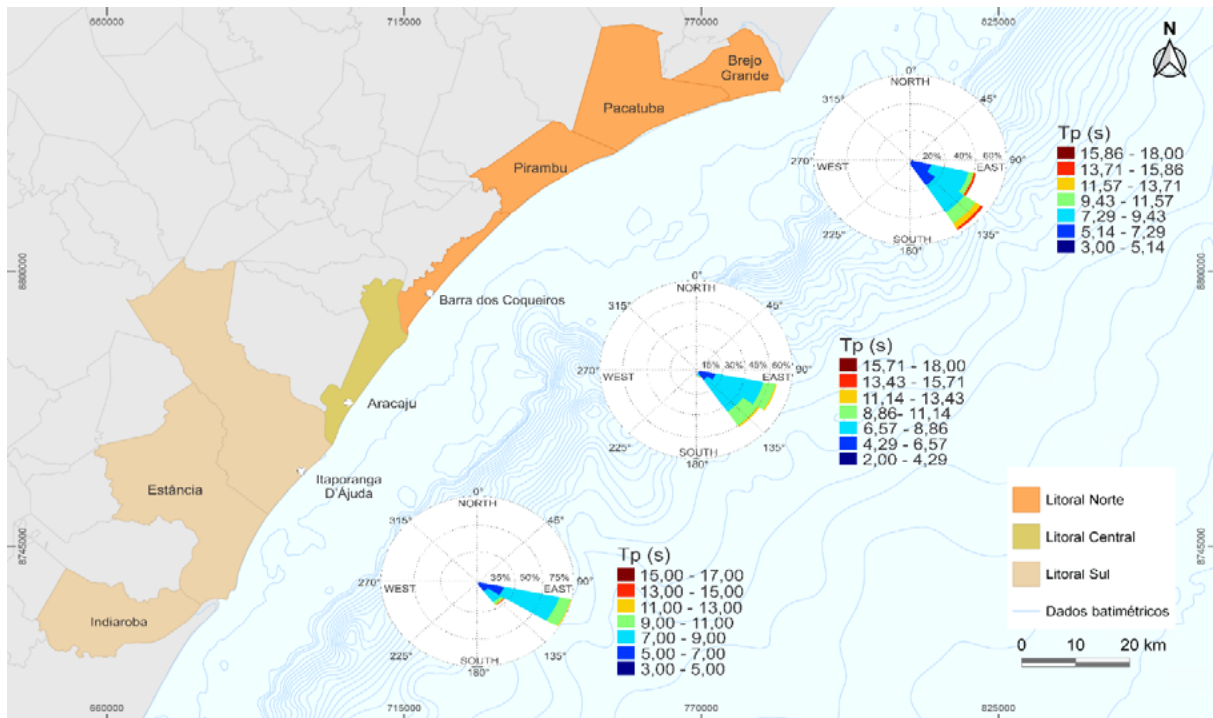


Figura 03: Caracterização do clima de ondas no ponto DOW, com período (Tp).

Áreas Vulneráveis a Erosão durante os Eventos de Maior Energia

A combinação em um evento de maior energia com maré meteorológica positiva, marés astronômicas de sizígia, e valores extremos de “run-up” de onda, pode resultar em galgamento do cordão dunar, obras de defesa costeira, avenidas e estradas. Desta forma, erosão e inundações podem ocorrer em áreas onde normalmente não ocorrem. Esses eventos trazem perdas econômicas, como o desabamento de muros, calçadas e muitas vezes destruição de bares localizados na orla da praia, além de acarretar riscos para os banhistas e moradores das residências paralelas à costa.

As áreas que estão vulneráveis a erosão e danos no litoral de Sergipe são as com o foco de ocupação, dado que elas interferem no processo de infiltração natural das águas e não respeitam o limite da faixa costeira para a construção. Já as faixas preservadas, onde ainda são mantidos os cordões de dunas e restingas, são áreas que não sofreram tanto com o processo de erosão e inundação, pois elas amortecem o impacto das ondas por conta do campo de dunas, visto que elas são uma proteção natural da retaguarda.

A partir dos dados de ondas geradas pelo SMC-Brasil conclui-se que, quando as ondas são maiores, elas têm um poder erosivo maior, o que acontece nos eventos de maior energia, como a intensidade das ondas aumenta, elas removem e transportam os sedimentos com maior facilidade, por serem finos e são carregados pela deriva litorânea. Ficando assim visíveis as feições erosivas nesse período, como é demonstrado na figura



04. Observa-se que temos imagens de trechos diferentes ao longo do litoral de Sergipe onde verifica-se as feições erosivas causadas pelos eventos de maior energia, os pontos observados e mapeados do litoral foram classificados seguindo a metodologia de Bush et al. (1999). Utilizou-se os termos erosão severa, erosão e estabilidade, para identificar a situação da zona costeira.

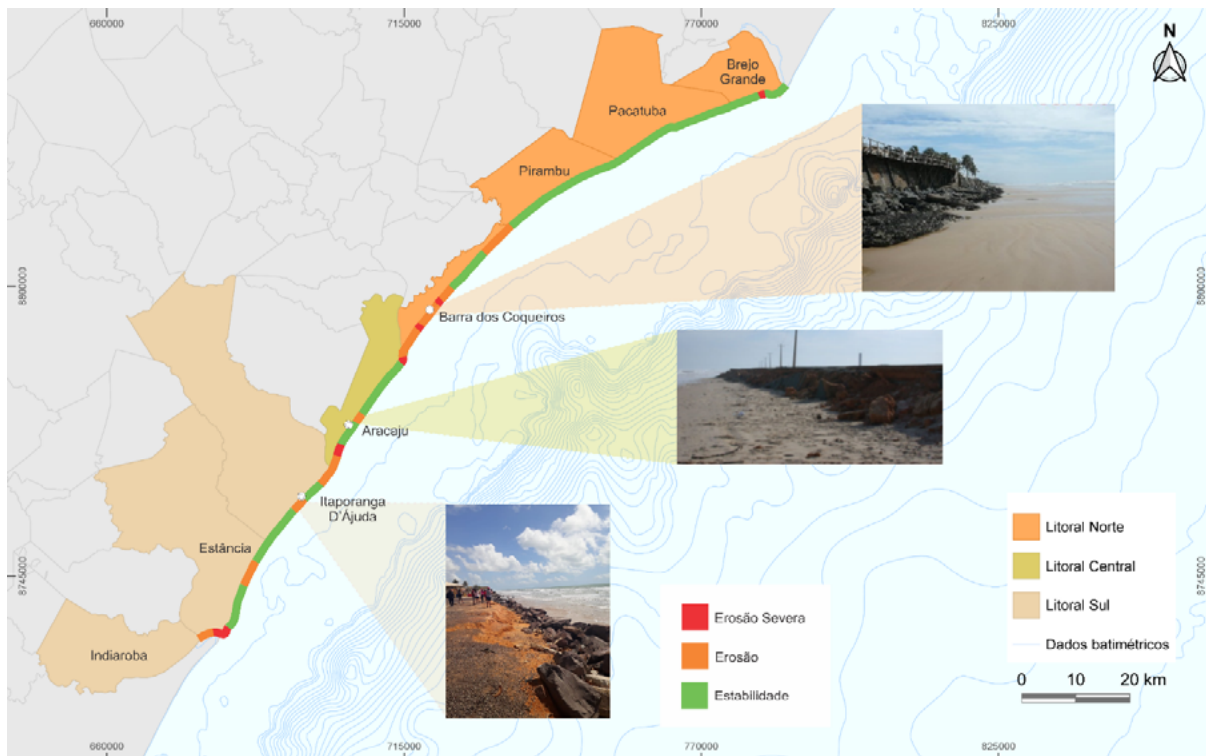


Figura 04: Mapeamento da erosão no estado de Sergipe.

De acordo com o mapa os principais focos de erosão estão nos setores urbanizados podendo acarretar prejuízo econômicos, por ter uma ocupação desordenada e sem planejamento na maioria dos locais e até sob os terraços arenosos, dificulta a infiltração e interferindo na dinâmica hídrica natural, tornando locais de risco. Muitas vezes as atividades antrópicas presentes na linha de costa exigem a construção de obras costeiras como portos e marinas que alteram profundamente o equilíbrio dos processos do transporte de sedimentos na zona litorânea. Tendo em vista que demonstra a vulnerabilidade da região, por isso é de extrema importância o planejamento e adoção de medidas de prevenção e mitigação na zona costeira.

Tais medidas visa a contenção da erosão marinha e a manutenção da linha de costa, seguindo as técnicas de proteção, recuo e acomodação, sendo que para as áreas de baixa urbanização da linha de costa considera-se o estabelecimento de faixas de recuo recomendadas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), que é a técnica mais indicada. As técnicas de proteção e acomodação devem ser implementadas nos trechos com maior



urbanização, cujo recuo é improvável. Essas são políticas de adaptação que podem ser adotadas em resposta à subida do nível do mar e a eventos de maior energia, com a finalidade de controlar erosão e possíveis inundações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na avaliação dos dados apresentados de ondas e da morfologia costeira no Litoral de Sergipe observou-se a principal direção de propagação das ondas que são a de Leste Sudeste (ESE) e Sudeste (SE) e nos períodos de tempestade as ondas tem maior alcance na zona costeira, provocando um maior poder de sobrelavagem e remoção dos sedimentos, criando um perfil intermediário, ou seja, perfis erosivos. Em períodos de calmaria de ondas menores são períodos de deposição que faz com que o perfil fique mais pra dissipativo com declividade mais suave com uma zona de espriamento extensa e bem desenvolvida

Cabe destacar também a ocupação na faixa costeira “em alguns pontos, até sobre a face de praia” muitas vezes desordenadas e sem orientação, demonstra a vulnerabilidade da região aos processos de erosão. Ocasionalmente pela subida do nível do mar ou pela intensificação dos eventos de maior energia, resultante das mudanças climáticas, e até mesmo pela interferência antrópica como ocorreu com a regulariza a vazão deste rio São Francisco pela CHESF (Companhia Hidrelétrica do São Francisco), que se alterou a sua condição hidrodinâmica, acarretando uma maior intensificação dos processos costeiros.

Rodrigues (2014) argumenta que os dados obtidos com o SMC-Brasil devem ser utilizados de maneira integrada aos instrumentos legais de ordenamento territorial, como Planos Diretores Municipais e Zoneamentos Ecológico-Econômicos (ZEE). A ausência de regulamentação clara para a ocupação da faixa costeira contribui significativamente para os danos materiais recorrentes após eventos extremos.

Devido às limitações do banco de dados de ondas, pois não é permitido a entrada de uma batimetria mais detalhada, além da calibração da direção das malhas ter que ser feita manualmente, uma vez que o programa traz a direção dos dados do local de origem do programa, podendo implicar e justificar os resultados deficientes para o trabalho de gerenciamento costeiro no litoral brasileiro.

Ademais, a análise dos dados do SMC-Brasil no litoral de Sergipe possibilita que futuramente estudos integrados em parceria com os órgãos do governo, possam ser utilizados para um planejamento ambiental do Litoral de Sergipe. Com a elaboração de estratégias de mitigação e prevenção, para que assim, os riscos sejam amenizados, tendo em vista que nos períodos de inverno e outono, as ondas apresentam maiores valores de alturas e alcance da costa, evidenciando extremos poder erosivo sobre a face de praia, colocando a praia em situação de risco.



REFERÊNCIAS

- BOMBANA, Briana; TURRA, Alexander; POLETTE, Marcus. **Gestão de praias: do conceito à prática**. [S.l.]: [s.n.], 2022. 442 p.
- BUSH, D. M.; NEAL, W. J.; YOUNG, R. S.; PILKEY, O. H. Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation. **Ocean & Coastal Management**, [S.l.], 1999.
- CALLIARI, L. J. **Aspectos sedimentológicos e ambientais na região estuarial da Lagoa dos Patos**. 1980. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1980.
- CALLIARI, L. J.; MUEHE, D.; HOEFEL, F. G.; TOLDO Jr., E. Morfodinâmica praial: uma breve revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**, São Paulo, v. 51, p. 63–78, 2003.
- CARICCHIO, C.; CAMPOS, R. H. S.; PINCHEMEL, R. Zona costeira. In: **Tema: ambientes da zona costeira**. [S.l.], 2009.
- HUANG, X.; SONG, Y.; HU, X. Deploying spatial data for coastal community resilience: a review from the managerial perspective. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [S.l.], v. 18, p. 830, 2021. DOI: 10.3390/ijerph18020830.
- JESUS, L. V.; ANDRADE, A. C. S. Parâmetros granulométricos dos sedimentos da Praia dos Artistas – Aracaju – SE. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 9, n. 5, p. 01–11, 2013.
- LIMA, W. da S. G. de. Causas e consequências da erosão costeira: diretrizes técnicas para o controle. **Revista Ciência Capital**, [S.l.], v. 1, n. 2, 2025. Disponível em: <https://revista.cienciacapital.com.br/index.php/revistacienciacapital/article/view/6>. Acesso em: 3 jul. 2025.
- LINS-DE-BARROS, F. **Risco e vulnerabilidade à erosão costeira no município de Maricá, Rio de Janeiro**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. 144 p.
- MUEHE, D. Erosion in the Brazilian coastal zone: an overview. **Journal of Coastal Research**, Special Issue, v. 39, [S.l.], 2004.
- MUEHE, D. Mudança do clima e efeitos possíveis sobre as praias. In: **Reunião Anual da SBPC**, 62., 2010, Natal. *Anais...* Natal: SBPC, 2010.
- PREVEDELLO, C. L. et al. Diâmetros médio predominantes de partículas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 676–678, 2005.
- PUGH, D. T. **Tides, surges and mean sea level**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1987. 442 p.
- RODRIGUES, T. K. **Impacto das mudanças climáticas na zona costeira do município de Aracaju-SE: estudo de caso utilizando o SMC (Sistema de Modelagem Costeira)**. 2014. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.



RUDORFF, F. M. **Geoindicadores e análise espacial na avaliação de suscetibilidade costeira a perigos associados a eventos oceanográficos e meteorológicos extremos.** 2005. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SILVA, B. M.; SILVA, I. R. Caracterização geoambiental e de ocupação das praias da Costa do Dendê, litoral sul do estado da Bahia. [S.l.], 2007.

SILVA, M. G. **Geoindicadores de erosão e acumulação das praias do município de Aracaju – Sergipe.** São Cristóvão: [s.n.], 2014.

SMC-BRASIL. **Documento síntese do seminário internacional Brasil – Espanha: apoio à gestão da costa brasileira.** [S.l.]: SMC-Brasil, 2013.

SOUSA, W. R. N. et al. Extração automática de linhas de costa aplicada ao monitoramento de processos de erosão costeira. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 17., 2017. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2017. p. 6423–6429.

STRONGE, W. B. Beaches, tourism and economic development. **Shore and Beach**, [S.l.], p. 6–8, abr. 1994.

TABAJARA, L. L.; MARTINS, L. R. Classificação textural de sedimentos praias e a relação com os processos morfogenéticos eólicos e marinhos. **Gravel**, Porto Alegre, v. 4, n. 1, p. 99–107, 2008.

TERICH, T. A. Living with the shore of Puget Sound and the Georgia Strait. In: PILKEY Jr., O. H.; NEAL, W. I. (ed.). **Living with the shore.** Durham: Duke University Press, 1984. p. 250–255.