



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Programa de Pós-Graduação em Geografia
- DOUTORADO -

GUSTAVO FERREIRA DE VASCONCELOS

**INFLUÊNCIA DE ESTRUTURAS ARTIFICIAIS NA DINÂMICA
COSTEIRA EM PRAIAS DE JOÃO PESSOA/PB**

João Pessoa – Paraíba

Dezembro de 2025

GUSTAVO FERREIRA DE VASCONCELOS

**INFLUÊNCIA DE ESTRUTURAS ARTIFICIAIS NA DINÂMICA
COSTEIRA EM PRAIAS DE JOÃO PESSOA/PB**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Richarde
Marques da Silva

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

V331i Vasconcelos, Gustavo Ferreira de.

Influência de estruturas artificiais na dinâmica
costeira em praias de João Pessoa/PB / Gustavo Ferreira
de Vasconcelos. - João Pessoa, 2025.
110 f. : il.

Orientação: Richarde Marques da Silva.
Tese (Doutorado) - UFPB/CCEN.

1. Erosão costeira. 2. Dinâmica costeira. 3. Balanço
Sedimentar. I. Silva, Richarde Marques da. II. Título.

UFPB/BC

CDU 504.121(043)

INFLUÊNCIA DE ESTRUTURAS ARTIFICIAIS NA DINÂMICA COSTEIRA EM PRAIAS DE JOÃO PESSOA/PB

Tese de Doutorado aprovada em 16/12/2025, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Geografia do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal da Paraíba.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **RICHARDE MARQUES DA SILVA**
Data: 16/12/2025 23:09:21-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Richarde Marques da Silva (Orientador)
Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Documento assinado digitalmente
 **EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA**
Data: 19/01/2026 20:47:21-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima (Membro interno)
Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Documento assinado digitalmente
 **MARIA CECILIA SILVA SOUZA**
Data: 17/12/2025 15:28:54-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. Maria Cecília Silva Souza (Membro externo)
Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Documento assinado digitalmente
 **CELSO AUGUSTO GUIMARAES SANTOS**
Data: 16/12/2025 23:33:18-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Celso Augusto Guimarães Santos (Membro externo)
Universidade Federal da Paraíba – UFPB

Documento assinado digitalmente
 **VICTOR HUGO RABELO COELHO**
Data: 17/12/2025 21:02:17-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Victor Hugo Rabelo Coelho (Membro externo)
Universidade Federal da Paraíba – UFPB

João Pessoa – PB
Dezembro de 2025

AGRADECIMENTOS

A realização desta tese representa a concretização de um projeto que só foi possível graças à contribuição, ao apoio e à presença de diversas pessoas e instituições ao longo do caminho.

Agradeço, em primeiro lugar, à **Universidade Federal da Paraíba (UFPB)** e ao **Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG)** do Centro de Ciências Exatas e da Natureza (CCEN) pela oportunidade de desenvolver este trabalho em um ambiente de constante aprendizado e troca de ideias.

A Professora **Dra. Christianne Maria da Silva Moura** com a qual comecei essa pesquisa no PPGG.

Ao servidor **Wellington da Silva**, do Laboratório de Estudos, Projetos e Pesquisa em Análise Espacial (LEPPAN), por toda sua ajuda e compromisso em relação aos trabalhos de campo dessa pesquisa, sempre muito prestativo.

Expresso minha profunda gratidão ao meu orientador e amigo, o **Prof. Dr. Richarde Marques da Silva**, por ter me aceitado como orientando, pela confiança depositada em mim, pelas valiosas contribuições que foram fundamentais para o amadurecimento desta pesquisa, e por fim, agradeço imensamente a ele pela transformação profissional e pessoal que alcancei, através dos seus conselhos.

Ao Professor **Dr. Celso Augusto Guimarães Santos**, por todo apoio, que me foi prestado, durante todas as etapas dessa pesquisa, bem como pelos conselhos que me foram passados.

Em especial, à Professora **Dra. Maria Cecilia Silva Souza**, que tanto contribuiu para a construção desta pesquisa, oferecendo amizade, apoio, inspiração e companheirismo no desenvolvimento de cada etapa dessa pesquisa.

Ao Engenheiro Ambiental **Antônio Edmilson**, que tanto me auxiliou na compreensão da aplicação das imagens de satélite no DSAS.

Aos amigos do **Laboratório de Estudos, Projetos e Pesquisa em Análise Espacial (LEPPAN)**, em especial a **Victor Hugo, Antônio Marcos (Toinho), Jennifer, Clara, Franklin, Jorge Flávio, Raquel, Jucielho e Alaine**, pela parceria cotidiana, pelas discussões construtivas no café da tarde e pela amizade que tornaram o processo de pesquisa mais leve, produtivo e inspirador.

Aos **professores e funcionários do PPGG**, pelo apoio, pela disponibilidade e pelo compromisso com a qualidade do ensino e da pesquisa.

A **minha esposa Luana, meus filhos Gabriel e Felipe, a meus pais Alcira e Valdir e meus irmãos Alexandre e Karina** por todo amor e apoio incondicional para que eu conseguisse concretizar essa pesquisa.

Aos meus **amigos pessoais e professores da educação básica, em especial aos professores Marcelo, Júnior, Igor, Israel, Wesley, Enieze, Adriana e Aline** que tanto me

incentivaram na submissão do Doutorado, pelo incentivo constante, paciência nos momentos mais difíceis e pelo suporte emocional que me sustentou ao longo desta jornada. Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que esta pesquisa se tornasse realidade, deixo meu sincero agradecimento.

RESUMO

As praias do Seixas e do Cabo Branco, localizadas na cidade de João Pessoa, no Estado da Paraíba vêm apresentando alterações na linha de costa, refletindo processos de erosão, sedimentação e estabilidade costeira que resultam da interação entre dinâmicas naturais e intervenções antrópicas. No entanto, ainda não está claramente estabelecido em que medida as estruturas artificiais rígidas na área de estudo interferem nos processos hidrodinâmicos e morfossedimentares locais, alterando o balanço sedimentar e a evolução da linha de costa. Assim, o objetivo deste estudo foi analisar as influências das estruturas artificiais rígidas nos processos hidrodinâmicos e morfossedimentares locais das praias do Seixas e Cabo Branco, em João Pessoa-PB. Para a realização deste estudo foram utilizados os seguintes procedimentos metodológicos: (1) monitoramento de quatro perfis topográficos transversais (P1 a P4) localizados ao longo das praias estudadas durante 13 meses (de 06 de Junho de 2023 a 06 de Junho de 2024) para analisarmos a dinamicidade da morfologia praial, (2) quantificação do balanço sedimentar nos quatro perfis topográficos transversais, (3) estimativa das mudanças na linha de costa a partir de uma análise multitemporal em curto prazo (2016–2024) e de longo prazo (1984–2025), e (4) análise da hidrodinâmica marinha utilizando o modelo SMC-Brasil para o período de 1948 a 2008. Os resultados obtidos mostraram que os perfis P1 (próximo ao mirante do Cabo Branco) e P2 (próximo a ponta da falésia do Cabo Branco) apresentaram discreta acreção de $3,38 \text{ m}^3/\text{m}$ e $2,06 \text{ m}^3/\text{m}$, respectivamente, provavelmente atribuída à reflexão de ondas geradas pela estrutura próxima, e pela presença de um enrocamento, enquanto o P3 (localizado no pontal arenoso da praia dos Seixas) apresentou a maior acreção ($8,60 \text{ m}^3/\text{m}$). O P4 (perfil mais ao Sul) registrou erosão acelerada de $-9,04 \text{ m}^3/\text{m}$. Com relação as mudanças na linha de costa, os resultados indicam que as áreas classificadas tendência a estabilidade/acreção (as porções norte da enseada da praia do Cabo Branco e centro-sul da praia do Seixas) tanto no período de curto prazo quanto no de longo prazo tendem a coincidir espacialmente. Em relação as áreas de erosão ou criticamente erodidas ocorreu uma maior discrepância nos resultados. As áreas sul da enseada do Cabo e Branco e Ponta do Cabo Branco apresentaram uma predominância de áreas erodidas e criticamente erodidas no curto prazo, enquanto no longo prazo essas áreas apresentaram estabilidade. Esses resultados podem ser explicados pela existência de um terraço de abrasão nessa área, que pode ter influenciado na captura das linhas de costa. Os resultados mostram que no curto prazo houve uma maior fragmentação das classes e identificação de microzonas de acréscimo e estabilidade, diferentemente das classes obtidas no longo prazo. No que tange, os resultados das taxas no transporte de sedimentos, observou-se que os maiores valores ocorrem nas estações de inverno e primavera, uma vez que as correntes marinhas, ventos e ondas tornam-se mais fortes nesse período. Os resultados do transporte/fluxos médios de sedimentos estimados pelo SMC-Brasil apresentaram um predomínio dos valores negativos de transporte de sedimentos nos perfis transversais P1, P2 e P5, excetuando-se, apenas o P4, único que ficou positivo durante todos os períodos. Diante do exposto, percebemos a complexidade desse ambiente que se altera constantemente, causando mudanças no balanço sedimentar devido a alteração natural de energia, bem como das interferências antrópicas que intensificam as perdas ou o acréscimo de sedimentos nas praias.

Palavras-chave: Dinâmica Costeira, Erosão Costeira, Balanço Sedimentar.

ABSTRACT

This study analyzes the coastal shoreline dynamics and the processes of erosion, stability, and sedimentation, establishing a connection between natural and anthropogenic aspects along Seixas and Cabo Branco beaches, in Paraíba State (Brazil). The research hypothesis assumes that the beach morphology and sediment budget of these areas are influenced by rigid artificial structures built along the shoreline. Thus, the aim of this study was to analyze the influences of rigid artificial structures on the local hydrodynamic and morphosedimentary processes of Seixas and Cabo Branco beaches in João Pessoa-PB. To achieve these goals, the following methodological procedures were adopted: (1) monitoring four transversal topographic profiles (P1 to P4) along the studied beaches over a 13-month period to observe beach morphology dynamics; (2) quantifying sediment balance during the study period across the four transversal profiles; (3) estimating shoreline changes through a multitemporal analysis (2016–2024) using the CASSIE platform; and (4) analyzing marine hydrodynamics using the SMC-Brasil model for the period from 1948 to 2008. The results showed that profile P1 (near Cabo Branco viewpoint) presented slight accretion ($3.38 \text{ m}^3/\text{m}$), probably due to wave reflection generated by the nearby structure; profile P2 (near the Cabo Branco cliff), a sector with riprap, also showed mild accretion ($2.06 \text{ m}^3/\text{m}$); profile P3 (located on the sandy point of Seixas beach) recorded higher accretion ($8.60 \text{ m}^3/\text{m}$); whereas profile P4 (the southernmost profile) exhibited accelerated erosion ($-9.04 \text{ m}^3/\text{m}$). Regarding shoreline changes, the northern portion of Cabo Branco beach (transects 9 to 50) was characterized by stability or accretion, while transects 51 to 105 (southern portion) showed a predominant erosive trend. Transects 115 to 117 (the sandy point at the northern part of Seixas beach) displayed a tendency toward accretion. In contrast, transects 106 to 114 and 118 to 147 (central and southern portions of Seixas beach) were predominantly stable to accretion. As for marine hydrodynamics, the results indicate that during periods of higher meteorological energy, such as winter and spring, currents, winds, and waves become more effective, producing higher sediment transport rates. However, the mean transport/flow outputs generated by the SMC model revealed predominantly negative sediment transport values across four of the five transversal profiles, except for profile 4, which remained positive throughout all analyzed periods. In summary, the findings highlight the complexity of this coastal environment, which is constantly changing depending on natural energy variations, as well as anthropogenic interferences that restrict natural sediment mobility, thereby generating or intensifying several environmental problems in the area.

Keywords: Coastal Dynamics, Coastal Erosion, Sediment Balance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo e delimitação dos segmentos de praia analisados.	21
Figura 2. Nomenclatura e limites do sistema praial.	28
Figura 3. Zonas de alta e baixa energia de acordo com a morfologia praial.	30
Figura 4. Procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa.	35
Figura 5. Divisão da área de estudo em segmentos baseados em características geográficas e localização dos Procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa.	36
Figura 6. Fotos das estruturas rígidas artificiais nas proximidades dos pontos de monitoramento dos perfis.	39
Figura 7. Fotos dos instrumentos topográficos utilizados na pesquisa: (a) estação total ruide 820r3, (b) haste do prisma, e (c) prisma circular.	39
Figura 8. Vista parcial do perfil topográfico transversal P1.	40
Figura 9. Vista parcial do perfil transversal P2.	41
Figura 10. Vista parcial do perfil transversal P3.	42
Figura 11. Vista parcial do perfil transversal P4.	43
Figura 12. Fórmula utilizada para interpolar a coordenada Y, igualando todos os perfis mensais	44
Figura 13. Fórmula para calcular a área em volume linear dos perfis.	45
Figura 14. Gráficos da altura significativa e direção das ondas por períodos do ano em relação ao ponto DOW.	53
Figura 15. Ilustração hipotética do comportamento morfológico dos recifes de corais.	54

Figura 16. Altura das ondas que chegam na área batida do recife do Seixas e atravessam o ambiente recifal, chegando na linha da praia.	55
Figura 17. Mapa da magnitude e sentido das correntes estimadas pelo SMC-Brasil para a área do estudo.	56
Figura 18. Localização dos perfis topográficos e perfis perpendiculares usados para simular o transporte de sedimentos médio na área de estudo.	58
Figura 19. Localização dos perfis topográficos e perfis perpendiculares usados para estimar o transporte de sedimentos médio sazonal.	59
Figura 20. Perfis topográficos praias mensais com as alturas e extensões de faixa de areia para o P1.	62
Figura 21. Perfis das curvas trimestrais médias para o P1.	64
Figura 22. Comparativo entre perfis do primeiro e último mês pesquisados para o P1.....	64
Figura 23. Perfis topográficos praias mensais com as alturas e extensões de faixa de areia para o P2.	66
Figura 24. Perfis das curvas trimestrais médias para o P2.	66
Figura 25. Comparativo entre perfis do primeiro e último mês pesquisados para o P2.....	67
Figura 26. Perfis topográficos praias mensais com as alturas e extensões de faixa de areia para o P3.	69
Figura 27. Perfis das curvas das médias trimestrais dos meses pesquisados no P3.	69
Figura 28. Comparativo entre perfis do primeiro e último mês pesquisados para o P3.....	70
Figura 29. Perfis de todos os meses pesquisados no P4.	71
Figura 30. Perfis das curvas das médias trimestrais dos meses pesquisados no P4.	72
Figura 31. Comparativo entre perfis do primeiro e último mês pesquisados para o P4.....	73
Figura 32. Balanço sedimentar dos meses pesquisados no P1.	75

Figura 33. Valores do balanço sedimentar dos meses pesquisados no P2.	78
Figura 34. Valores do balanço sedimentar dos meses pesquisados no P3.	80
Figura 35. Balanço sedimentar dos meses pesquisados no P4.	82
Figura 36. Mapa com as tendências dos transectos representando o deslocamento da linha de costa entre 2016 e 2024.	84
Figura 37. Variabilidade da linha de costa baseada nos transectos entre os anos de 1984 a 2025.	87
Figura 38. Mapa mostra um comparativo entre os transectos dos dois mapas gerados com imagens de diferentes satélites Sentinel (2016 a 2024) e Landsat (2016 a 2024).	89
Figura 39. Comparação entre a localização dos perfis topográficos e a variabilidade da linha de costa para os anos de 2016 e 2024.	90
Figura 40. (a) Imagem de satélite evidenciando o processo erosivo natural de solapamento da base da falésia do Cabo Branco e os sedimentos em suspensão em maio de 2018, e (b) imagem de satélite após a obra do enrocamento em junho de 2025.	92
Figura 41. (a) Vista parcial da obra do Mirante na praia do Cabo Branco, localizado ao sul do P1, e (b) vista parcial da sedimentação verificada no P1 em março de 2024.	94
Figura 42. (a) Vista parcial do setor localizado entre as obras do enrocamento do Mirante na praia do Cabo Branco onde verifica-se uma perda de sedimentos, e (b) área com presença de acúmulo de sedimentos advindos do setor onde ocorre a perda de sedimentos (Figura 41a), devido a reflexão das ondas ao atingirem o muro do Mirante em março de 2024.	94
Figura 43. (a) Obra na Praia do Seixas que vem barrando o transporte de sedimentos, acarretando uma sedimentação na direção norte em julho de 2025, e (b) vista do processo de acumulação de sedimentos ao norte da obra em março de 2024.	94
Figura 44. (a) Localização geográfica da obra do enrocamento na base da falésia do Cabo Branco em julho de 2025, e (b) vista de cima da falésia do Cabo Branco de parte do enrocamento, barrando a ação das ondas em julho de 2025.	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Informações sobre as marés, datas e horários dos trabalhos de campo nos dias do monitoramento dos perfis praiais.	38
Tabela 2. Estimativa e balanço do transporte de sedimentos médio sazonal.	61
Tabela 3. Meses da pesquisa e suas respectivas declividades do P1.	62
Tabela 4. Declividades medidas para cada mês monitorado para o P2.	65
Tabela 5. Meses da pesquisa e suas respectivas declividades do P3.	68
Tabela 6. Meses da pesquisa e suas respectivas declividades do P4.	71
Tabela 7. Movimento mensal e acumulado de sedimentos nos meses pesquisados.	74
Tabela 8. Movimento de sedimentos mensal e acumulado nos meses pesquisados.	77
Tabela 9. Movimento de sedimentos mensal e acumulado no período da pesquisa.	80
Tabela 10. Movimento de sedimentos mensal e acumulado durante os meses da pesquisa.	82

LISTA DE SIGLAS

CASSIE – Coastal Analysis from Satellite Imagery Engine

DSAS – Digital Shoreline Analysis System

SMC – Sistemas de Monitoramento Costeiro

GEE – Google Earth Engine

MMA – Ministério do Meio Ambiente do Brasil

DOW – Downscaled Ocean Waves

NDWI –Índice de Água por Diferença Normalizada

OLUCA – Modelo parabólico de propagação de onda (monocromático e espectral).

COPLA –Modelo de Correntes em praias induzidas pela arrebentação das ondas espectrais.

BACO – Modelo de Batimetrias e cartas náuticas da costa.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.2 Hipótese	19
2. OBJETIVOS	20
2.1 Objetivo geral	20
2.2 Objetivos específicos	20
3. ÁREA DO ESTUDO	21
3.1 Localização e descrição da área de estudo	21
3.2 Aspectos geoambientais	22
3.3 Aspectos marinhos.....	24
3.3.1 Regime de maré	24
3.3.2 Ondas	24
3.3.3 Correntes costeiras	25
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	27
5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	35
5.1 Identificação e caracterização de feições geomorfológicas e antrópicas	36
5.2 Monitoramento da morfodinâmica dos perfis topográficos transversais praias	37
5.2.1 O perfil transversal P1	40
5.2.2 O perfil transversal P2	40
5.2.3 O perfil transversal P3	41
5.2.4 O perfil transversal P4	42
5.3 Estimativa do balanço do volume sedimentar no período de curto prazo.....	43
5.4 Caracterização da hidrodinâmica das praias	45
5.5 Identificação dos setores com tendências erosivas/deposicionais e o comportamento da linha de costa	47

5.5.1 Utilização da Plataforma CASSIE para a geração das linhas de costa (2016 a 2024)	47
5.4.2 Detecção das linhas de costa (1984 a 2025)	48
6. RESULTADOS E ANÁLISES	52
6.1 Análise da hidrodinâmica costeira	52
6.1.1 Clima de ondas.....	52
6.1.2 Transporte de sedimentos	56
6.2 Análise dos perfis topográficos transversais.....	61
6.2.1 Perfil topográfico transversal P1.....	61
6.2.2 Perfil topográfico transversal P2.....	65
6.2.3 Perfil topográfico transversal no P3.....	67
6.2.4 Perfil topográfico transversal no P4.....	70
6.3 Balanço sedimentar mensal.....	73
6.3.1 Balanço sedimentar mensal no P1	73
6.3.2 Balanço sedimentar mensal no P2	76
6.3.3 Balanço sedimentar mensal no P3	79
6.3.4 Balanço sedimentar mensal no P4	81
6.4 Análise do deslocamento da linha de costa	83
6.4.1 Análise da linha de costa a curto prazo 2016 a 2024.....	83
6.4.2 Análise da linha de costa a longo prazo 1984 a 2025	85
6.4.3 Comparativo entre os deslocamentos de linha de costa de curto prazo para diferentes produtos.....	88
7. DISCUSSÃO	91
7.1 Considerações sobre estruturas artificiais rígidas na área de estudo e sua influência nos processos hidrodinâmicos e morfossedimentares locais.....	91
7.2 Restrições e limitações do estudo	98
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	100
9. REFERÊNCIAS	103

1. INTRODUÇÃO

As praias do Seixas e do Cabo Branco, situadas no município de João Pessoa vêm apresentando alterações significativas em sua linha de costa, refletindo processos de erosão, sedimentação e estabilidade que resultam da interação entre dinâmicas naturais e intervenções antrópicas. Contudo, ainda não está claramente definido em que medida as estruturas artificiais rígidas existentes na área de estudo interferem nos processos hidrodinâmicos e morfossedimentares locais, modificando o balanço sedimentar e a evolução da linha de costa. A erosão costeira é um processo natural complexo, influenciado por uma variedade de fatores, incluindo mudanças climáticas, atividades humanas e características geológicas (Souza et al., 2024). Portanto, refere-se ao processo de desgaste e remoção de materiais da costa, devido à ação combinada de fatores naturais e antropogênicos.

Para estudarmos a morfologia praial, o balanço sedimentar e o deslocamento da linha de costa nas praias do Seixas e Cabo Branco, precisamos entender os processos costeiros que controlam a dinâmica sedimentar, como a ação das ondas, marés, correntes litorâneas e ventos, bem como as interferências antrópicas que modificam o equilíbrio natural do sistema praial. As zonas costeiras possuem elevada dinamicidade, fornecendo proteção contra eventos naturais costeiros, absorvendo fluxos de energia, além de abrigar uma ampla gama de biosistemas marinhos (Raffaelli e Hawkins, 1999; Arkema et al., 2013). Entretanto, os fatores antropogênicos, ocasionam mudanças, na dinâmica natural, gerando efeitos colaterais imprevisíveis nessas áreas, uma vez que, a consequente degradação desses ambientes aumenta a vulnerabilidade das costas à atividade das ondas e a eventos extremos Mentaschi et al. (2018).

O processo crescente de urbanização nas cidades costeiras vem transformando em um sério problema que atinge várias cidades na zona litorânea (Rocha et al., 2024). No município de João Pessoa, localizado no Estado da Paraíba, esse fenômeno vem ocorrendo em alguns setores da costa, no entanto, ainda são poucos os estudos que discutem essa problemática (Silva et al., 2022). Nesse sentido torna-se imprescindível estudar os agentes costeiros envolvidos (marés, correntes, ondas) e atmosféricos (vento). Esses agentes costeiros interagem entre si para modelar a linha de costa, a morfologia praial, e o balanço sedimentar (Jana, 2022). A linha de costa, segundo Muehe (2014), é definida pela interseção

entre o nível do mar e a terra firme, ou seja, pode ser entendida como a fronteira entre a terra e o mar, representando uma zona de transição dinâmica e complexa, que sofre influência tanto de fatores naturais quanto antropogênicos. De acordo com Mishra et al. (2023), a influência de obras costeiras e a dinâmica marinha devem ser mais bem estudadas, a fim de ampliar a compreensão dos fenômenos da dinâmica costeira, para subsidiar a gestão ambiental e a tomada de decisões pelo setor público. Já

Estudos como os de Wright & Short, 1984; Suguio, 2003; Bird, 2008 evidenciam que naturalmente, ocorre um balanço sedimentar em uma praia, existem variações na relação entre as perdas e os ganhos de sedimentos, assim, quando as perdas de sedimentos forem superiores aos ganhos o balanço será negativo acarretando a erosão, entretanto, quando os ganhos de sedimentos forem superiores as perdas, ocorrerá a sedimentação. Ainda na perspectiva dos autores, a influências de intervenções antrópicas sobre a face da praia pode resultar em mudanças na dinâmica costeira.

De acordo com Dolan et al. (1980) e Mörner (1996), para analisarmos a erosão e o deslocamento da linha de costa, devemos levar em consideração diversos fatores relevantes, tais como: (a) as alterações do nível do mar devido ao aquecimento dos oceanos; (b) as modificações naturais e antrópicas na morfologia costeira, e os processos erosivos e deposicionais locais; e (c) as variações nos processos de interação terra-mar, como a amplitude das marés, a velocidade e direção dos ventos, a energia das ondas, além dos movimentos verticais do nível dos continentes (tectonismo). Uma das maneiras de compreender a erosão costeira e o deslocamento da linha de costa é através de estudos sobre as variações no balanço sedimentar dos perfis praias (Muehe, 2014).

De acordo com Luijendijk et al. (2018), aproximadamente 32% das linhas costeiras protegidas são arenosas, desse total, cerca de 37% estão sofrendo erosão a uma taxa superior a 0,5 m/ano, enquanto 32% se caracterizam pelo acúmulo de sedimentos. Para Bird (1996) e Pontee (2013), as linhas de costas arenosas são altamente dinâmicas no espaço e no tempo, e quando elas estão localizadas em áreas urbanizadas e densamente povoadas, há uma intensificação nos processos de erosão.

De acordo com Muehe (2018), que cita o segundo relatório Panorama da Erosão Costeira no Brasil, nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, o impacto da erosão costeira é ainda maior, ficando entre 60% e 65%. A erosão costeira e a dinâmica da linha de costa são fenômenos intrinsecamente ligados que desempenham um papel crucial na modelagem das paisagens costeiras em todo o mundo (Bird, 1996). De acordo com Sousa (2013), um balanço

sedimentar negativo provoca a erosão e pode também resultar no avanço da linha de costa em direção ao continente.

No que tange, o aumento do nível do mar, para o relatório do IPCC (2023), a ação antrópica está impactando o clima do planeta. Isso resultará em um aumento da temperatura global e, conseqüentemente, em um aumento do volume dos oceanos devido ao derretimento das geleiras. Nesse contexto, o relatório apresenta algumas projeções, que preveem o aumento do nível do oceano de 0,28 a 1,01 m até 2100 a depender do cenário de emissões dos gases de efeito estufa. Isso resultará, em um aumento dos processos de erosão e no deslocamento da linha de costa para dentro do continente. Corroborando com o relatório do IPCC, diversos autores, como por exemplo, Church (2001) e Rahmstorf (2007) destacam que, o processo acelerado de elevação tem influência direta na dinâmica costeira ao redor do mundo, devido a retrogradação da linha de costa sobre o continente. Outros autores como Pilkey (2004) e Nicholls et al. (2010) ressaltam que, a elevação do nível do mar contribui para a erosão costeira, aumentando a exposição a outros fatores da morfodinâmica, sobretudo em áreas planas.

Em relação aos principais agentes naturais, que influenciam na morfologia e na dinâmica de uma praia pode-se evidenciar: a ação contínua das ondas, das correntes oceânicas e dos ventos que desempenham um papel fundamental na erosão costeira, contribuindo para a erosão das falésias, a remoção de sedimentos das praias e a formação de formas de relevo costeiras distintas, como enseadas, pontais e cordões litorâneos (Rossetti, 2008). Assim, a ação conjunta de ondas, correntes e ventos transportam os sedimentos, alterando a linha de costa em diferentes escalas temporais (Vieira e Silva, 2022; Masselink e Russell, 2023).

As correntes oceânicas, principalmente as ocorrentes ao longo do litoral, são as responsáveis majoritárias pelo transporte sedimentar nas praias, gerando erosão em alguns locais e sedimentação em outros (Bozzeda et al., 2023). Já as ondas, por exemplo, incidem nas praias e redistribuem os sedimentos tanto perpendicular quanto longitudinalmente, definindo assim, a forma final da praia (Brasil, 2018). Em relação aos ventos, devido a redistribuição eólica dos sedimentos, podem intensificar os processos de erosão e acreção em setores específicos de uma praia (Vieira e Silva, 2022).

Essa interação entre os processos deposicionais e erosivos, relacionados com a ação das ondas, das correntes de maré e litorâneas, dos ventos e dos fluxos sedimentares advindos dos sistemas fluviais, além das atividades antrópicas que podem alcançar proporções

significativas nesses ambientes, é extremamente importante para a compreensão da dinamicidade da linha de costa (Rossetti, 2008).

Além dos fatores naturais, as ações antrópicas também agem intensivamente nas alterações hidrodinâmicas e na morfologia praial. Em relação às mudanças ocasionadas pelas modificações antrópicas, pode-se destacar que as edificações (casas, bares e obras de contenção na linha de costa), sejam elas aderentes ao continente ou não (como muros de proteção, diques, quebra-mares, gabiões e outras técnicas de contenção) geram problemas no ambiente praial, pois interferem no transporte de sedimentos (Oliveira e Nicolodi, 2012; Prudêncio et al., 2019; e Barros et al., 2020 e Santos et al., 2021). Embora construídas para resolver problemas locais, as estruturas artificiais rígidas imobilizam as praias, podendo acarretar erosão em áreas próximas (Morais, 2009).

Outros autores como, Gopikrishna e Deo (2018) e Mishra et al. (2023) destacam que, algumas obras costeiras podem interromper o transporte natural de sedimentos pelas correntes litorâneas, ou deslocar problemas como a erosão para áreas vizinhas, devido à alteração no fluxo natural de sedimentos. Isso, possivelmente, acarretaria mudanças nos processos naturais de erosão e sedimentação, intensificando-os. Ainda sobre a ação antrópica, pode-se afirmar que a intensa urbanização em direção à linha de costa vem causando alterações no litoral brasileiro, sobretudo pelo seu deslocamento sobre o ambiente praial. O principal efeito observado é o desequilíbrio desse ambiente, com aumento nas taxas de erosão ao longo da costa, evidenciando a perda de espaço físico para o desenvolvimento de atividades econômicas e sociais (Brasil, 2018). Esse desequilíbrio é decorrente de uma elevada concentração populacional na zona costeira no Brasil. De acordo com o (IBGE, 2022), aproximadamente 25% da população brasileira reside em municípios litorâneos. Assim, as áreas litorâneas tendem a concentrar uma significativa parcela da população brasileira, tornando-se essencial a concretização de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento urbano e sustentável nessas áreas (Coutinho e Souza, 2024).

No estado da Paraíba, a situação não é diferente, dado que uma significativa parte de seus habitantes reside nas cidades litorâneas. Nas praias de João Pessoa/PB a gestão municipal tem acumulado obras de contenção para combater o avanço do mar em alguns trechos de praia dentro da área deste estudo, como tentativa de proteção contra as grandes marés. No entanto, essas intervenções muitas vezes impactam negativamente a dinâmica natural e demonstram pouca ou nenhuma eficiência a longo prazo. Assim, este trabalho propõe analisar as variações na linha de costa e a morfodinâmica das praias do Seixas e do

Cabo Branco, a fim de contribuir para o entendimento da dinâmica costeira de João Pessoa/PB.

Dessa forma, de acordo com Muehe (2006), um diagnóstico específico para cada situação deve ser realizado, a fim de identificar as causas geradoras e apontar possíveis soluções, para que medidas mitigadoras possam ser tomadas, melhorando o gerenciamento costeiro de uma área. Compreender a dinâmica da linha de costa e os processos ligados a morfodinâmica de uma praia, são essenciais para a gestão sustentável das áreas costeiras. Assim, tornam-se necessárias, de acordo com o IPCC (2022), estratégias integradas de adaptação e mitigação, que incluam medidas de proteção costeira, restauração de ecossistemas costeiros, zoneamento adequado do uso do solo e políticas de planejamento urbano, são fundamentais para enfrentar os desafios impostos pela erosão costeira e garantir a sustentabilidade das regiões costeiras a longo prazo.

Diante do exposto, há uma necessidade da realização de estudos costeiros, nas praias do Seixas e de Cabo Branco, visando contribuições para o entendimento da dinâmica costeira de João Pessoa. O processo de erosão das estruturas naturais presentes na área é um tema urgente que demanda abordagens técnicas interdisciplinares. Portanto, o desafio reside em lidar com as alterações nas diversas feições litorâneas extremamente dinâmicas representadas nessa faixa de praia.

Portanto, a temática é extremamente relevante para a ciência geográfica, pois estabelece uma conexão entre os aspectos naturais e sociais do ambiente litorâneo. Isso inclui desde o aumento do nível dos oceanos, relacionado ao aquecimento global, até a crescente urbanização que frequentemente ignora a complexidade desse ambiente. Essa pesquisa é imprescindível para o desenvolvimento de um planejamento mais coerente, que adequadamente considere a complexidade do local estudado.

1.2 Hipótese

A hipótese deste estudo é que tanto a morfologia praial, quanto o balanço sedimentar nas praias do Seixas e Cabo Branco estão sofrendo interferências das estruturas artificiais rígidas construídas ao longo da linha de praia, resultando em diferentes processos de sedimentação, erosão e deslocamento da linha de costa.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo foi analisar as influências das estruturas artificiais rígidas nos processos hidrodinâmicos e morfossedimentares locais das praias do Seixas e Cabo Branco.

2.2 Objetivos específicos

1. Entender a hidrodinâmica costeira das praias do Seixas e Cabo Branco.
2. Analisar a morfologia praial das praias do Seixas e Cabo Branco.
3. Estimar o balanço no volume de sedimentos e identificar os setores com tendências erosivas ou deposicionais nas praias do Seixas e Cabo Branco.
4. Determinar o deslocamento da linha de costa em longo prazo (1984 a 2025) e curto prazo (2016 a 2024).

3. ÁREA DO ESTUDO

3.1 Localização e descrição da área de estudo

A área de estudo dessa pesquisa compreende a região formada pelas praias do Seixas e Cabo Branco, com uma área de aproximadamente 7 km de extensão, localizada entre as coordenadas geográficas 7°09'46.0" S de latitude e 34°47'42.2" W de longitude (divisa das praias da Penha e Seixas), 7°07'10.1" S de latitude e 34°49'22.0" W de longitude (divisa das praias do Cabo Branco e Tambaú, mais especificamente no Busto de Tamandaré) (Figura 1).

As praias em questão são retilíneas (parte da praia do Seixas), possuem pontais e enseadas abertas (maior parte da praia do Cabo Branco), estão submetidas ao regime de mesomaré (Souza e Furrier, 2015). Possuem uma corrente de deriva litorânea predominantemente de Sul para Norte, e estão localizadas totalmente em trecho urbano. A área de estudo possui praias estreitas, arenosas e protegidas por ambientes recifais ao longo de grande parte de sua extensão, com exceção da área localizada na enseada aberta.

Figura 1. Localização da área de estudo e delimitação dos segmentos de praia analisados.



Fonte: IBGE (2022); Google Satélite (2024).

3.2 Aspectos geoambientais

A área de estudo apresenta clima, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o bioclima do tipo 3dth (Tropical chuvoso – classe A), e clima As' (clima quente e úmido) (Souza et al., 2016). A maior concentração de chuvas, ocorre entre os meses de maio e julho, com precipitação anual média de 1.800 mm, temperaturas médias diárias variando entre 30 °C e 21 °C e umidade relativa do ar entre 73% e 82% (Santos et al., 2021).

Em relação aos ventos atuantes no litoral de João Pessoa/PB, existe uma predominância dos ventos úmidos denominados de alísios de sudeste, entretanto o seu sentido é alterado para leste e/ou nordeste dependendo da época do ano (Santos, 2011). De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), na zona costeira pessoense os ventos alísios são formados devido à presença constante da Massa Tropical Atlântica que ocorre na América do Sul e do anticiclone do Atlântico Sul. Assim, o sentido que predomina na maior parte do ano é o de sudeste, porém, vale ressaltar que, no período de verão, os ventos alísios são mais significativos entre os sentidos Leste e Nordeste.

Para Reis (2008), os ventos exercem um papel fundamental na dinâmica costeira, pois condicionam o sistema de ondas, uma vez que são responsáveis pela geração das ondas oblíquas que atingem a costa e geram uma corrente de deriva de sentido preferencial S-N (Carvalho et al., 2007). Segundo Monteiro (1989), os meses com maior intensidade e força dos ventos na região são de agosto a outubro.

Em relação a geomorfologia da área estudada, pode-se destacar a presença de dois domínios geomorfológicos distintos, os Baixos Planaltos Costeiros ou Tabuleiros e a Baixada Litorânea ou Planície Costeira (Souza e Furrier, 2015). Os Baixos Planaltos Costeiros representam as áreas mais elevadas da área do estudo e são formados pelos sedimentos areno-argilosos mal consolidados da Formação Barreiras. Em linhas gerais, possui superfície aplainada e suavemente inclinadas para leste, sendo abruptamente interrompidos pelos entalhes fluviais e pelas falésias marinhas (Barbosa, 2013). As falésias, por sua vez, podem ser vivas (ativas), que são esculpidas por processos marinhos atuais, ou mortas (paleofalésias), onde os processos marinhos de esculturação não ocorrem mais, entretanto, evidenciam importantes informações sobre a evolução do clima e dos processos naturais ocorridos outrora, nas crostas continental e oceânica (Maia, 2022). Para Maia (2022), a ocorrência dos pontais rochosos de falésias vivas no litoral nordestino influenciou na dinâmica natural dando origem a construção das planícies costeiras. Estes pontais escarpados, quando submetidos aos eventos passados de oscilação do mar, reconfiguraram

os materiais da deriva litorânea e eólica. Assim, as falésias vivas delimitam setores de maior resistentes aos ataques das ondas, revelando também, reentrâncias e pequenas baías nos trechos delimitados por paleofalésias, Maia (2022).

Na área estudada existe uma parte de falésia viva, na ponta da praia do Cabo Branco, porém em direção ao Norte (enseada do Cabo Branco) e ao Sul (Praia do Seixas), as falésias se afastam progressivamente para oeste, fazendo surgir à jusante delas as Planícies Costeiras que correspondem aos terrenos planos de baixa altitude, onde estão localizadas as praias em questão. De acordo com Vasconcelos (2010), as falésias por serem alvo de maior instabilidade, são frequentes o desenvolvimento de processos geomorfológicos. Durante a estação chuvosa, o excesso de água provoca a supersaturação nos sedimentos da Formação Barreiras. A grande diversidade faciológica dessa formação, associada ao excesso hídrico, multiplica as fontes e os pontos de instabilidade. Como consequência, inúmeros processos morfogenéticos desenvolvem-se ao longo dessas falésias, tais como: deslizamento, rastejamento, fluxo de lama, etc. para Vasconcelos (2010), em média, as altitudes dessas áreas são de 30 m, ou seja, a porção superior dessas encostas é bastante vertical. Da média para baixa encosta, rampas com declividade geralmente inferiores a 30% são elaboradas a partir do material desmoronado da porção superior. Nessas rampas, sobretudo em sua porção mais superior, resquícios de vegetação natural recobrem e simultaneamente estabilizam essas encostas.

Na base dessas falésias é comum ocorrer sedimentos de óxido-hidróxido de ferro e alumínio. Tais concentrações formam níveis de ferricretes duros em vários patamares. Os ferricretes por apresentarem maior resistência à erosão formam terraços marinhos de abrasão e bancos rochosos, testemunhos do recuo das mesmas (Furrier, 2007).

Já em relação as planícies costeiras da área estudada, de acordo com Neves (2003), o Quaternário é conhecido como o período das grandes oscilações climáticas e do nível do mar. Essas oscilações ocasionaram no litoral paraibano, o surgimento de níveis sedimentares diversos que atualmente constituem na costa brasileira o compartimento geomorfológico denominado de Planície Costeira. A Planície Costeira é constituída por depósitos arenosos com baixa altitude e declividade suave em direção ao oceano, formados pela última transgressão marinha (Rufino et al., 2021). Sobre esta unidade, inúmeros outros ambientes e feições morfológicos podem ser encontrados, tais como: praias, restingas, estuários, dunas, etc.

Em linhas gerais, as diversas feições morfológicas da zona costeira do município de João Pessoa correspondem a uma repetição em escala reduzida das do litoral paraibano. Essas feições são caracterizadas, no geral, pela existência de praias estreitas, arenosas, e que às vezes formam enseadas abertas, interrompidas ou não pelo avanço dos tabuleiros até o mar.

3.3 Aspectos marinhos

3.3.1 Regime de maré

As marés são mudanças periódicas na altura da superfície oceânica, provocadas pela combinação da força gravitacional da lua, do sol e da terra. A influência da Lua é bastante superior, pois embora a sua massa seja muito menor que a do Sol, esse fato é compensado pela menor distância em relação à Terra.

Segundo Rossetti (2008), no litoral do Brasil, as micromarés, com amplitudes inferiores a 2 m, ocorrem na porção sul da área de estudo, as macromarés, com amplitudes superiores a 4 m, que ocorrem na porção norte da área de estudo e as mesomarés com amplitude variando entre 2 m e 4 m, ocorrem na porção nordeste. Nesse sentido, as praias do litoral de João Pessoa encontram-se submetidas ao regime de mesomarés. De acordo com DHN (2017), o regime de marés do litoral da Paraíba é do tipo semi-diurno (período de 12,42 horas), com duas preamares e duas baixa-mares. apresentando altura média de sigízia de 2,18 m e altura média de quadratura de 1,04 m, com marés de sizígias oscilando entre 2,8 m e 0,0 m (DHN, 2017).

3.3.2 Ondas

A compreensão do funcionamento de um regime de ondas de uma determinada área, torna-se também imprescindível para a elaboração de estudos sobre a dinâmica costeira. Segundo Reis (2008), as ondas são importantes agentes de energia mecânica, podendo representar a principal causa de erosão em determinados ambientes, além disso, podem gerar diversos tipos de correntes e formas diferenciadas nos padrões de transporte sedimentar

Segundo Tessler e Mahiques (2000), as arrebentações podem ser ascendentes, quando ocorrem em fundos de alta declividade, mergulhante quando ocorrem em fundos com a declividade média quando as cristas das ondas formam enrolamento em espiral e ainda deslizantes quando são formadas nas regiões com o fundo marinho mais suave fazendo com

que a onda quebre sobre uma grande distância. Na área em questão percebe-se uma predominância do tipo de arrebentação deslizante.

No litoral de João Pessoa, a distribuição da energia das ondas está relacionada com os padrões de convergência e divergência das frentes de onda, em decorrência do processo de refração, isso resultando na concentração e dispersão de energia dos padrões de onda (Furrier, 2007). Acredita-se que esses padrões das ondas associados a outros elementos como a composição do material ao longo da costa e a presença ou ausência de recifes são muito importantes para compreender o processo de erosão mecânica nas praias analisadas. No entanto, em função da presença de enseadas e de pontais no litoral de João Pessoa, onde se encontra a nossa área de estudo, ocorre além do processo de refração, o de difração e o de reflexão, assim, estabelecendo os padrões específicos de circulação das ondas nesse local (Vasconcelos, 2010).

Em relação as características das ondas, segundo Bittencourt (2005) João Pessoa, encontra-se em uma área influenciada por ondas de leste e sudeste, formando uma onda oblíqua a costa, com alturas médias entre 1,0 e 2,5 m, e períodos de 6 a 10 segundos, predominantes na maior parte do ano. No entanto, de acordo com Reis (2001), que aferiu altura e o período médio das ondas entre as Praias do Cabo Branco e Penha, foi observado que tanto a altura média máxima 0,79 m quanto o período médio mínimo de 5,1 s, ocorreram no inverno, já a altura média mínima de 0,22 m e o período médio máximo de 14,2 s, ocorreram no verão.

3.3.3 Correntes costeiras

O entendimento das correntes costeiras é imprescindível para esse estudo, pois a velocidade, direção e sentido dos sedimentos transportados por ela paralelamente à praia, tanto na zona de surfe como na face de praia, quando é interrompido em função de alguma construção de estrutura fixa, pode ocasionar um desequilíbrio no fluxo dos sedimentos litorâneos, retendo-os a montante do obstáculo e, em decorrência disso, causando um déficit à jusante (Muehe, 1995).

Em João Pessoa, essas correntes ao longo da costa são influenciadas pelo sentido e intensidade dos ventos (Neves, 2003). Além disso, para Rossetti (2008), o impacto de ondas que se deslocam de forma oblíqua à costa, geram correntes de retorno que transportam os sedimentos na direção do mergulho da face de praia. Assim, sucessivamente, as ondas em

um padrão de zig-zag transportam o sedimento na costa pessoense, paralelamente à linha de costa de Sul para Norte, pois, de acordo com Neves (2003), Reis (2001) Reis (2008), Silva (2009), e Vasconcelos (2010), as praias no litoral de João Pessoa, apresentam uma corrente predominante, paralela à costa com uma deriva litorânea orientada no sentido sul-norte (direção predominante).

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 O ambiente praial

Os efeitos das atividades econômicas incorporam um valor a natureza e provocam uma sobrecarga nos diferentes ecossistemas. No ambiente praial, não seria diferente, já que ele é muito valorizado economicamente, além de ser muito frágil e influenciável pelas ações naturais e humanas, onde as mudanças na sua forma são muito rápidas, desta forma, para um melhor entendimento deste meio é importante que contemplemos alguns estudos relevantes ligados a essa temática.

Segundo Suertegaray (2021), para compreender ambiente na ciência geográfica deve-se considerar a relação sociedade/natureza como uma união complexa e conflituosa que se origina no processo de socialização da natureza pelo homem, ou em outras palavras, o ambiente seria a natureza transfigurada. Nesse sentido, o conceito de ambiente permite compreender a problemática na interface do espaço geográfico, assim, esse conceito admite outras maneiras de pensar a questão ambiental, tenta compreendê-la em uma dimensão capaz de ser analisada nos movimentos da natureza, da sociedade e do conhecimento.

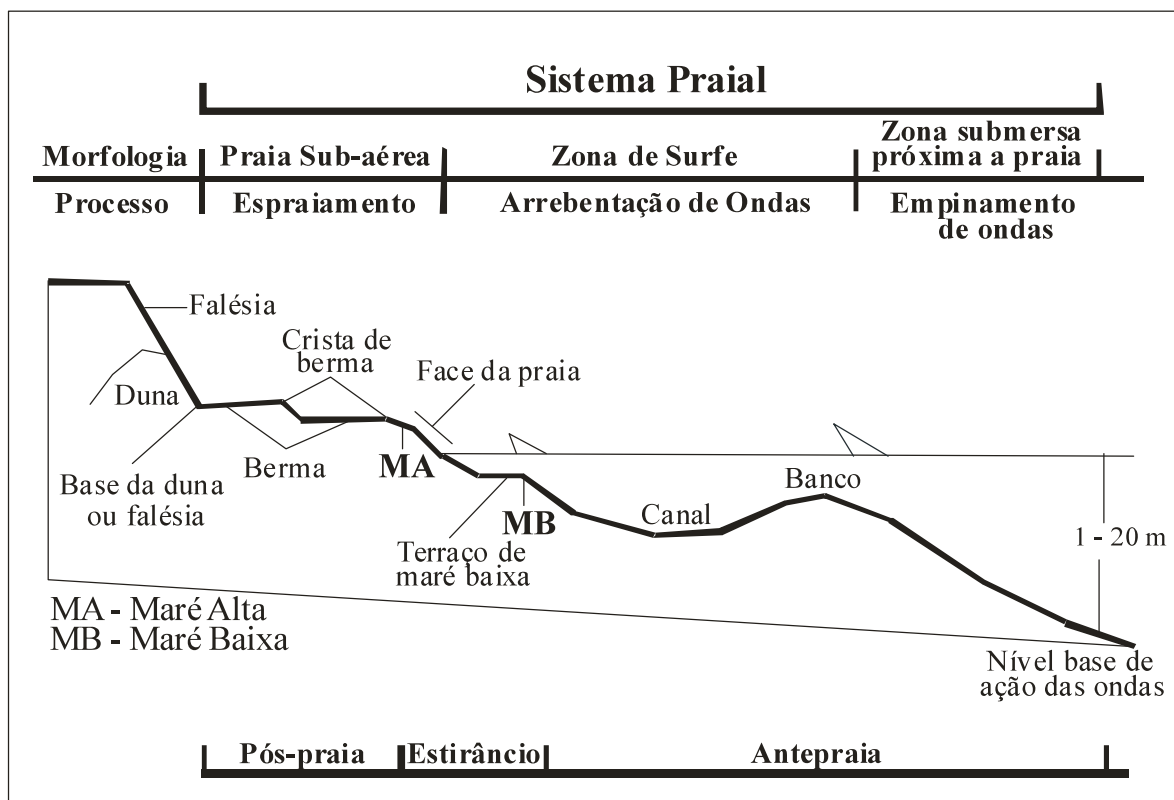
Desde o período colonial o litoral brasileiro foi intensamente povoado transformando-se em um verdadeiro arquipélago demográfico, onde podemos identificar zonas de adensamento, como é o caso do litoral oriental da zona da mata nordestina (Moraes,1999). Contudo, com uma maior urbanização e valorização turística desse ambiente, ocorrente nas últimas décadas, observa-se que as praias do Seixas e a do Cabo Branco, vêm se alterando mais rapidamente nas últimas décadas devido, principalmente, a falta de um planejamento adequado que priorize tanto os interesses públicos, quanto os processos naturais existentes na área.

Segundo Muehe (1995), a morfologia desse ambiente pode ser alterada como produto de uma atividade construtiva ou destrutiva. Nas feições costeiras, esta instabilidade decorre tanto de fenômenos naturais quanto de ações antrópicas que resultam em alterações na distribuição dos sedimentos, no clima de ondas e na altura do nível relativo do mar. Ainda para o mesmo autor, o ambiente praial é formado por depósitos de sedimentos, mais comumente arenosos, acumulados por ação de ondas que, por apresentar mobilidade, se ajustam às condições de ondas e marés. Para Muehe (1995), as praias se destacam também por representarem um importante elemento de proteção do litoral.

Assim, as praias podem ser conceituadas como a zona perimetral de um corpo aquoso, composta de material inconsolidado, na maioria dos casos arenoso, ou menos comumente composta de cascalhos, conchas, etc. que se estendem desde o nível de baixa-mar médio para cima até a linha de vegetação permanente, ou onde há mudanças na fisiografia, como zona de dunas ou de falésias marinhas (Suguio, 1998).

Para um melhor entendimento do ambiente das praias em questão, foi necessário adotarmos a divisão em compartimentos e as nomenclaturas propostas por (Short, 1999; Chaves, 2005), conforme pode-se observar na Figura 2.

Figura 2. Nomenclatura e limites do sistema praial.



Fonte: Chaves (2005).

4.2 Morfodinâmica praial e hidrodinâmica costeira

Morfodinâmica praial é um procedimento metodológico de análise gerado por observações morfológicas e dinâmicas sistemáticas que resultam numa descrição mais ampla e consistente da praia e da zona de arrebentação (antepraia) (Calliari et al., 2003). Para

Wright e Thom (1977), o termo morfodinâmica costeira é definida como sendo uma relação mútua entre a topografia e o transporte de sedimentos de uma determinada área.

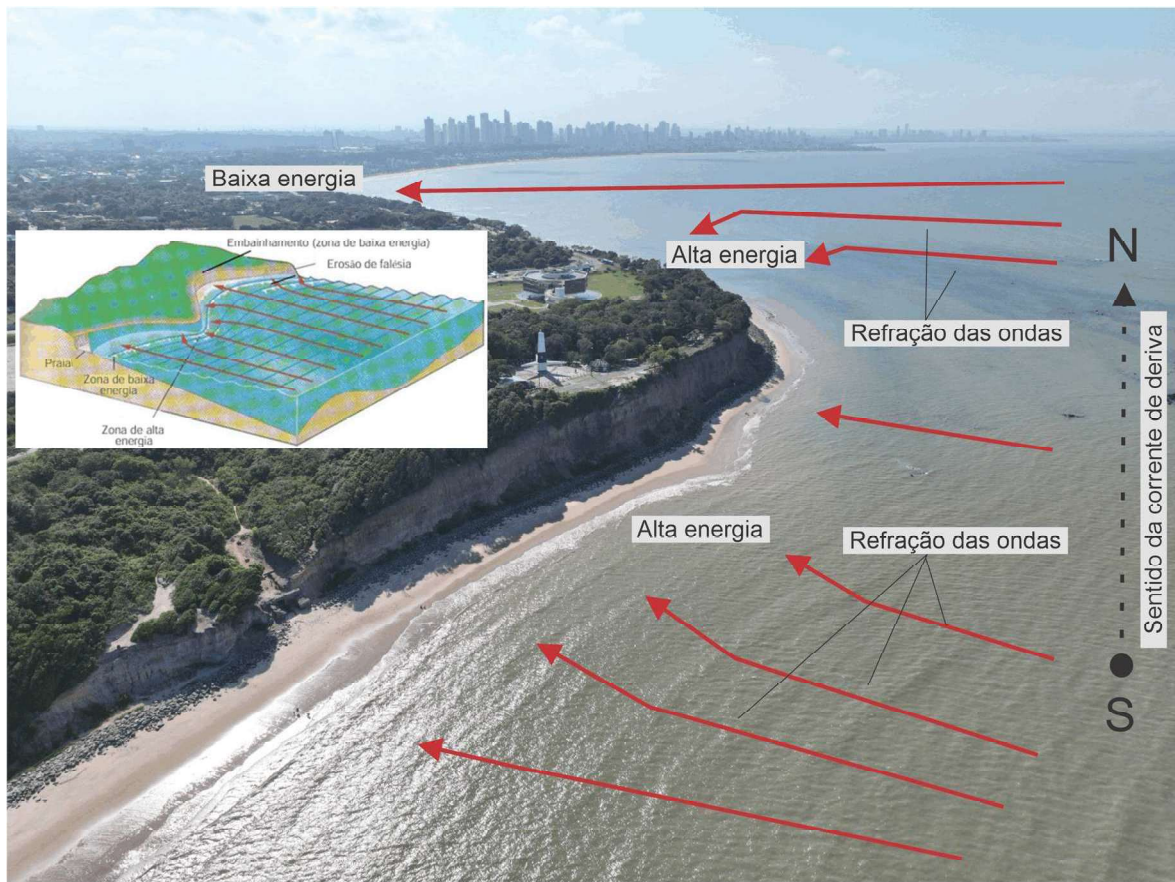
Para Komar (1977) e Short (1999), cada morfologia de uma praia gera uma resposta diferente diante de um clima de ondas específico e isso, seria a condicionante principal dos processos influenciadores da dinâmica litorânea, formando, assim, uma das principais perspectivas de análise da geomorfologia costeira.

Parte das modificações ocorridas na praia são causadas pela troca bidirecional de sedimentos entre a zona de antepraia e a face de praia, por meio da zona de arrebentação. Entretanto o regime de arrebentação, é gerado pelo clima de ondas e pelo grau de modificação topográfico desde as águas profundas até o ponto de quebra em águas mais rasas do local (Calliari et al., 2003).

Segundo Wright e Short (1985), a hidrodinâmica de uma praia é o resultado da interação de ondas incidentes, refletidas ou parcialmente refletidas da face da praia. Essas massas de água geradas por ondas e marés, exercem atrito sobre os sedimentos móveis de uma determinada praia, causando gradientes espaciais e temporais em seu transporte.

A morfodinâmica e a hidrodinâmica de uma praia estão intrinsicamente relacionadas, pois, de acordo com Calliari et al. (2003), são esses gradientes de transporte de sedimentos que geram as mudanças na morfologia praial e essas mudanças resultam em alterações no padrão hidrodinâmico. Nesse sentido, à medida que, a hidrodinâmica determina morfologias de uma praia, essas formas modificam a hidrodinâmica dela. De acordo com Segar e Segar (1998), as formas geomorfológicas que constituem uma praia, também influenciam nos processos morfológicos e hidrodinâmicos atuantes, uma vez que, proporcionam zonas com maior ou menor energia (Figura 3).

Figura 3. Zonas de alta e baixa energia de acordo com a morfologia praial.



Fonte: Adaptado de Segar e Segar (1998).

Outro fator relevante em relação a morfodinâmica de uma praia é a ciclicidade dos processos costeiros. Assim, de acordo com Klumb-Oliveira et al. (2015), os processos sazonais de deposição e erosão se intercalam ao longo da escala de tempo. Isso é descrito por Dean (1977; 1991) ao propor um modelo de erosão vertical no qual, de acordo com ele, uma praia possui respostas frente a processos de maior amplitude de energia, isso pode gerar, ainda que temporariamente, uma reorganização sedimentar, por meio de uma troca entre a face da praia (pós-praia e zona de estirâncio) e a zona de antepraia. Nesse sentido, percebemos em nossos perfis topográficos que, a depender da energia dos elementos hidrodinâmicos nos períodos do ano, os perfis de uma praia podem aumentar ou diminuir o seu volume.

Segundo Bascom (1951) e Sonu e Van Beek (1971), nos períodos com predomínio de sistemas meteorológicos de maior energia, ocorre a transferência de energia para as ondas. Assim, as praias tendem a passar por processos erosivos de aplainamento (diminuição da declividade) da face de praia dos seus perfis e a transferência de sedimentos para outras

regiões como a antepraia, formando barras submersas. Já nos períodos, com sistemas meteorológicos de baixa energia ocorrem ondas com o tamanho e a intensidade menores. Assim, as faces de praia dos perfis tendem a ser mais íngremes, com o retorno dos sedimentos advindos das regiões submersas.

Entretanto, de acordo com Klumb-Oliveira et al. (2015) é importante frisar que, o ambiente praial se altera diuturnamente, muitas vezes, com pequenas variações meteorológicas locais, uma vez que influenciam no clima de ondas, ocasionando um possível ganho ou perda rápida nos sedimentos de um perfil.

Para melhor compreender a hidrodinâmica, os modelos numéricos computacionais têm sido desenvolvidos e aprimorados ao longo das últimas décadas, principalmente com o aumento de técnicas que transformam dados e variáveis contínuas em valores de categorias discretas que compõe o sistema (Tolman, 2009).

Nesse contexto, o Sistema de Modelagem Costeira do Brasil (SMC-Brasil) apresenta-se como uma ferramenta indispensável para análise ambiental no campo da dinâmica costeira, devido ao seu conjunto de aplicações, bancos de dados (batimetria, ondas e níveis) e modelos numéricos estruturados de acordo com as escalas espaciais e temporais das várias dinâmicas que afetam a morfologia de uma praia.

No Brasil, diversos estudos têm sido desenvolvidos visando a ratificação e teste da ferramenta SMC-Brasil para estudos do litoral. No nordeste do Brasil destacam-se: Gomes e Silva (2014), Almeida (2018), Araújo et al. (2018), Oliveira et al. (2018), e Silva et al. (2018). O SMC contém uma base de dados do clima de ondas para a costa brasileira, com séries temporais de 60 anos (1948-2008), usada para as suas simulações numéricas, que foi concebida com modelagem numérica, porém sabe-se que a calibração com dados coletados *in situ* são de grande importância para se conseguir uma melhor precisão nas simulações numéricas (Reguero et al., 2012).

4.3 A erosão costeira

O entendimento sobre o balanço sedimentar de uma determinada praia é primordial, para compreender se ela está passando por um processo erosivo permanente, ou se é apenas um processo erosivo cíclico ou pontual. Assim, o balanço sedimentar de uma praia seria a diferença entre o volume de sedimentos que entra e sai do sistema praial, durante um certo tempo, Rosati (2005). Os transportes longitudinais, e perpendiculares de sedimentos na

costa, a descarga fluvial e a ação eólica são condicionantes desses processos de ganho e perda de sedimentos em uma praia (Bose, 2019).

Para Lima et al. (2021), o déficit de sedimentos no sistema costeiro resulta, não apenas no recuo da linha de costa, mas também na redução da largura da praia e perda de território, ocasionando a erosão costeira. Segundo Cardoso et al. (2020), a erosão costeira não é um desastre natural e não gera danos às praias, apenas modifica a posição com a retração de suas linhas de costa, fenômeno esse que é previsto. No entanto, destacam que os processos erosivos se tornam problemas quando há, na orla marítima, a interferência das atividades humanas relacionadas a construção de estruturas artificiais nas praias, quer seja para fazer áreas de natureza recreacional e turística, quer seja para solucionar problemas no entorno da região costeira.

Para Brasil (2018), o litoral da Paraíba, está situado em uma região do Brasil caracterizada por uma tendência de longo prazo para erosão da linha de costa. A quase ausência de terraços marinhos do Holoceno e do Pleistoceno ao longo da zona costeira é apontada como principal evidência para esta tendência de longo prazo para a erosão.

Embora a costa da Paraíba tenha características oriundas de sua evolução ao longo do tempo geológico, é importante destacar outros fatores que podem intensificar o processo erosivo. Entre eles chamamos atenção para a concentração de energia de ondas devido ao fenômeno de refração em feições morfológicas submersas; a ocupação desordenada da zona costeira, e a retenção de sedimentos fluviais devido à construção de barragens, que devem ser igualmente considerados ao se analisar as causas da erosão costeira do litoral da Paraíba.

Sobre a ampliação das áreas urbanas e construção de estruturas rígidas na linha de costa, para Moraes (2009), o ambiente costeiro vem enfrentando significativas mudanças na morfologia praial e na dinâmica costeira, contribuindo para difundir impactos relevantes como a erosão costeira ao meio natural. De acordo com Muehe (2018), a previsão é que até 2025, 75% da população viverá próximo da costa. Na Paraíba, nas últimas décadas, o litoral apresentou um crescimento populacional significativo, com consequente crescimento imobiliário, decorrente do desenvolvimento do turismo e abertura de novas estradas, possibilitando o acesso a áreas antes pouco habitadas. Esses fatos de certo modo potencializam ainda mais o desaparecimento das praias no Brasil, pois a ocupação e/ou instalação de estruturas fixas rígidas em locais inadequados, sem a observância dos limites de oscilação do perfil praial, e o enrijecimento das falésias vivas (fonte de sedimentos para

as praias) por obras de engenharia costeira, contribuem para o agravamento da erosão costeira natural.

Diniz (2002) ressalta que, os processos costeiros são fortemente influenciados por vários agentes dinâmicos atuantes, de forma que o conhecimento detalhado desses agentes é muito importante para o estudo dos fenômenos existentes e a compreensão da evolução geológica e geomorfológica das áreas costeiras, tanto em curto prazo, como a médio e longo prazo. Portanto, a influência das obras de “proteção” costeira construídas na pós-praia e na praia acabam alterando a dinâmica sedimentar, prejudicando as atividades recreacionais e o potencial turístico dessas áreas, gerando, portanto, um problema. Estas obras são instaladas visando estabilizar o “problema” da erosão costeira, no entanto, podem intensificar ou até transferir ou ampliar o problema para outras praias adjacentes.

Na verdade, as soluções para esta problemática, deveriam convergir para formar um leque de alternativas que englobassem não somente obras de proteção costeira, mas também medidas de reordenamento da orla e planejamento em médio e longo prazos (Brasil, 2018). No entanto a prefeitura municipal de João Pessoa, com a finalidade de proteção da falésia do Cabo Branco instalou a frente do sopé da mesma um enrocamento que reduziu visivelmente a erosão das ondas por solapamento, no entanto, essa obra pode interferir no transporte natural de sedimentos.

4.4 Deslocamento da linha de costa

Para analisarmos o deslocamento da linha de costa ao longo do tempo, faz-se necessário compreendermos algumas técnicas do SIG. Para isso, utilizaremos autores que já trabalharam com imagens do satélite Landsat. Luijendijk et al. (2018) analisaram imagens de satélites Landsat entre 1984 e 2016, para calcular os deslocamentos da linha de costa por todo o mundo através de processamento digital de imagens. Os autores detectaram a posição da linha de costa durante o período supracitado e geraram transectos espaçados a cada 500 metros. Através destes, foi possível acompanhar e quantificar por meio de taxas o deslocamento da posição da linha de costa, calculando, assim, as tendências de progradação e erosão.

Nos trabalhos de Santos et al. (2021), as imagens de satélite, como por exemplo, as do Landsat são valiosas para análises multitemporais devido às suas características de dados sinóticos e repetidos, resoluções multiespectrais e espaciais, além do seu potencial para medir e diferenciar a interface terra e mar, as características geofísicas e para distinguir

mudanças costeiras. Ainda para esses autores o uso do Digital Shoreline Analysis System (DSAS) em conjunto com software GIS e fontes de dados abertas mostrou-se eficaz para monitorar e analisar as mudanças na linha costeira da cidade de João Pessoa/PB.

Para Silva et al. (2023) foi através dessas imagens que eles criaram uma base de dados com 18 cenas de imagens de sensores orbitais todos originários dos satélites Landsat 5 e 8, dos sensores TM e OLI, respectivamente. Posteriormente, eles realizaram a vetorização manual da linha de costa de todas as cenas por meio da interpretação visual entre as áreas emersas e submersas. E por fim, eles aplicaram técnicas de quantificação para avaliar o deslocamento da linha de costa mediante a aplicação do DSAS. Nesse contexto, podemos destacar a importância dessas imagens para os estudos que abordam o deslocamento da linha de costa.

De acordo com Almeida et al. (2021) e Souza (2023), a utilização da ferramenta CASSIE integrada à plataforma GEE foi capaz de proporcionar, um acesso direto a imagens de satélites como o Landsat e o Sentinel, para a obtenção de uma análise da linha de costa de maneira espacial e temporal, nesse sentido a ferramenta também se mostrou eficaz para a analisar o deslocamento de linha de costa.

Contudo, vale salientar que, a utilização do contato seco e úmido da face da praia em imagens aéreas para fins de reconstituir a evolução da linha de costa deve ser interpretada com cuidado, principalmente quando se empregam apenas poucas imagens como indicação de tendência. Isto porque a variabilidade morfodinâmica da praia pode implicar em variação de sua largura na ordem de dezenas de metros (Muehe, 2014).

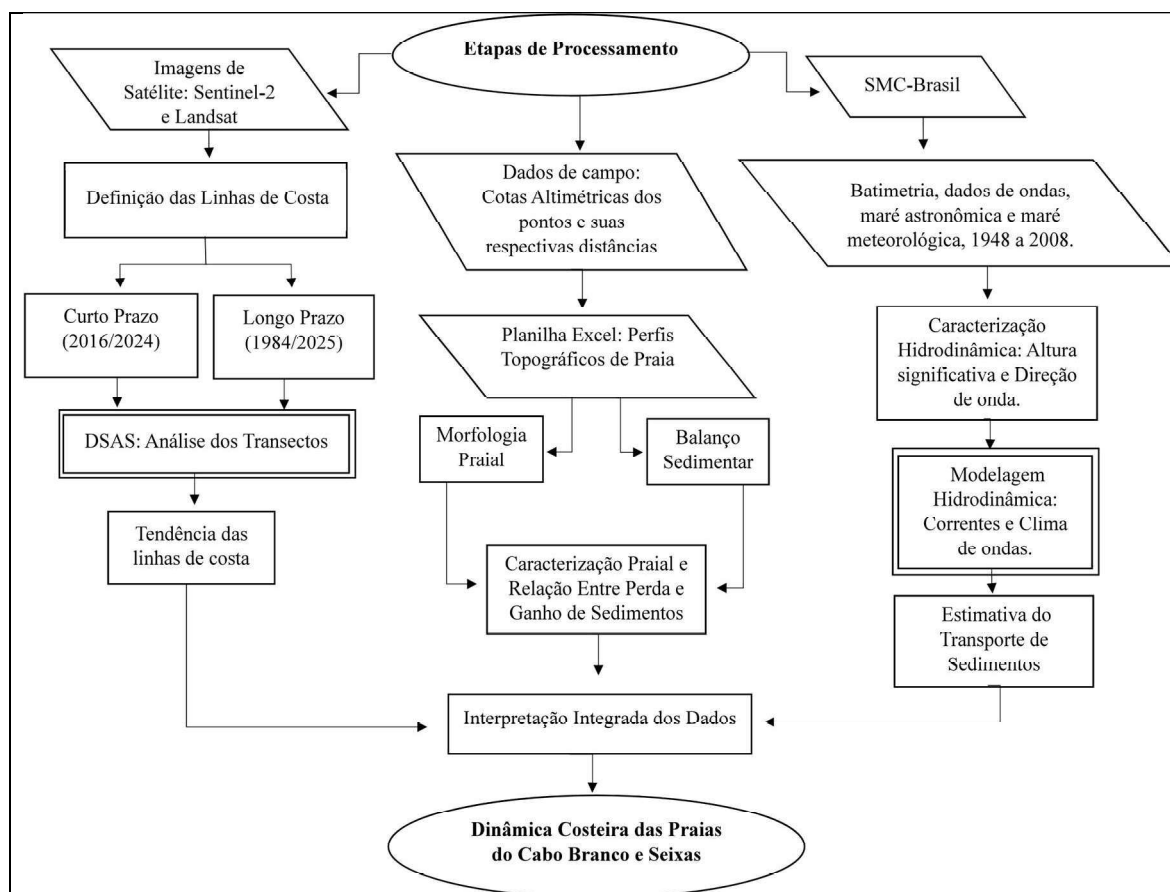
Uma solução para reduzir os erros potenciais de interpretação é ampliar o número de imagens e ainda levar em conta o tipo morfodinâmico da praia em estudo e a maré de cada imagem. Ainda segundo Muehe (2014), a comparação de imagens históricas pode servir para uma confirmação da tendência encontrada. Já para o monitoramento, em campo, da evolução da orla, o ideal será uma combinação de perfis topográficos com levantamento do limite da pós-praia.

Assim, ressaltamos a importância da utilização de geotecnologias na comparação de imagens de satélites que, podem mostrar a tendência do comportamento da linha de costa em curto, médio e longo prazo. Porém, cabe ressaltar que a precisão dos satélites disponíveis de maneira gratuita e a quantidade de nuvens existentes nas zonas costeiras, seriam uma limitante, para uma melhor precisão dos dados nesses estudos.

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos abordados nessa pesquisa, foram escolhidos com a finalidade de subsidiar uma abordagem mais coerente sobre a dinâmica costeira existente nas praias do Cabo Branco e Seixas. Assim, dividimos essa pesquisa em: (1) Identificação e caracterização de feições geomorfológicas e antrópicas, (2) monitoramento da morfodinâmica dos perfis topográficos transversais praias, (3) quantificação do balanço sedimentar no período estudado nos quatro perfis topográficos transversais, (3) estimativa das mudanças na linha de costa a partir de uma análise multitemporal (2016–2024) usando a plataforma CASSIE, e (4) análise da hidrodinâmica marinha utilizando o modelo SMC-Brasil para o período de 1948 a 2008. A Figura 4 apresenta os procedimentos metodológicos utilizados neste estudo.

Figura 4. Procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa.



5.1 Identificação e caracterização de feições geomorfológicas e antrópicas

A identificação e caracterização de feições geomorfológicas e antrópicas foram realizadas com base em observações in loco. Nesses trabalhos de campo foram fotografadas e anotadas as seguintes características: as feições naturais e as antropogênicas presentes no ambiente das praias do Seixas e Cabo Branco. Através dessas visitas exploratórias em campo, partindo sempre do Norte para o Sul da área de estudo, pudemos dividir a área de estudo em quatro trechos (segmentos), baseados em características geográficas particulares, como mostrado na Figura 5.

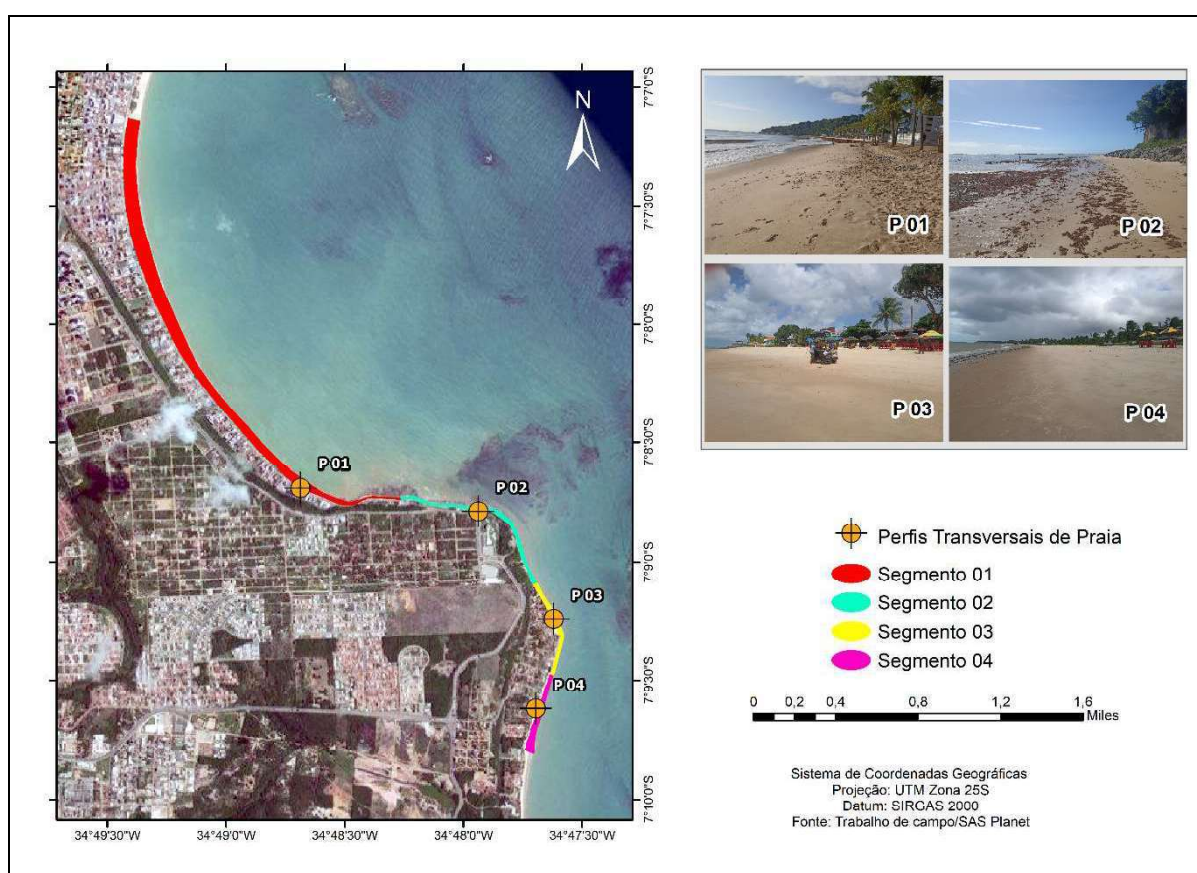


Figura 5. Divisão da área de estudo em segmentos baseados em características geográficas e localização dos Procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa.

1. **Segmento 1 (S1):** Este trecho estende-se por toda a porção Sul da Enseada do Cabo Branco (com extensão aproximada de 3,6 km), que compreende o trecho que vai do Busto de Tamandaré (Limite entre as praias de Tambaú e Cabo Branco) até o início das Falésias vivas. Esse segmento encontra-se inserido na planície costeira densamente ocupada por prédios, casas e hotéis.

2. **Segmento 2 (S2):** Este trecho estende-se por toda a ponta das falésias vivas (com extensão aproximada de 1,8 km) compreendendo todo o trecho onde as falésias vivas da praia do Cabo Branco entram em contato com a zona de estirâncio da praia. Nesse segmento, que é abrigado por um ambiente recifal, não existe a pós-praia e foi feito um enrocamento em toda sua extensão com o objetivo de frear a erosão no sopé das falésias.
3. **Segmento 3 (S3):** Este trecho estende-se por todo pontal arenoso do Seixas (com extensão aproximada de 0,8 km), englobando o trecho na praia dos Seixas, que vai desde o início das falésias mortas até as proximidades do Hotel e Pousada Villa Imperador (limite Sul). Nesse segmento, que também é abrigado por um ambiente recifal, volta a surgir uma planície costeira com a presença de falésias mortas para dentro do continente, originando a parte mais estreita do bairro do Seixas., nele a pós-praia foi densamente ocupada por bares e casas.
4. **Segmento 4 (S4):** Este trecho estende-se por toda porção sul da praia do Seixas (com extensão aproximada de 0,7 km), que vai desde o Hotel e Pousada Villa Imperador, até a desembocadura do Rio Cabelo (Limite com a praia da Penha). Compreende o trecho mais retilíneo de praia ocupado por casas um pouco mais recuadas para o continente, onde volta a surgir uma discreta pós-praia.

5.2 Monitoramento da morfodinâmica dos perfis topográficos transversais praias

Nesta etapa, foram realizados 13 trabalhos de campo que consistiram em idas *in loco* a área de estudo mensalmente de junho de 2023 a junho de 2024, durante as marés de sizíguas mais baixas de cada mês. Neles foram medidas as cotas altimétricas e suas respectivas distancias nos quatro perfis de praia, além disso, foram realizados nesses pontos, fotografias e aferições das declividades de praia. As medições para o monitoramento da morfodinâmica dos perfis topográficos transversais praias foram realizadas (Tabela 1). Esse monitoramento contínuo no período permitiu o fechamento de um ciclo anual e a construção de perfis transversais mensais das praias nesses pontos observados.

Para analisar a morfodinâmica praial foram monitorados quatro perfis praias instalados, que foram definidos com base na proximidade da presença de estruturas artificiais rígidas na área do estudo, conforme a Figura 6. Cada perfil foi escolhido para representar cada um dos quatro segmentos de praia propostos nesse estudo. Nesses perfis foram realizadas medições de declividade (com o clinômetro de uma bússola geológica do Tipo Brunton) e as cotas altimétricas com suas respectivas distâncias (com o auxílio de uma estação total e uma mira falante com um prisma).

Esses perfis partem sempre de um ponto fixo (cota 0 m) e imutável, a partir dessa primeira leitura são fincados piquetes, perpendicularmente ao longo das praias, em locais mais representativos para o desenho do modelado do relevo praial. Com o auxílio de uma haste e de um prisma circular, foram aferidas em cada piquete, as leituras das cotas altimétricas e as distâncias entre elas, utilizando-se de uma estação total Ruide 820R3, ver Figura 7.

Tabela 1. Informações sobre as marés, datas e horários dos trabalhos de campo nos dias do monitoramento dos perfis praias.

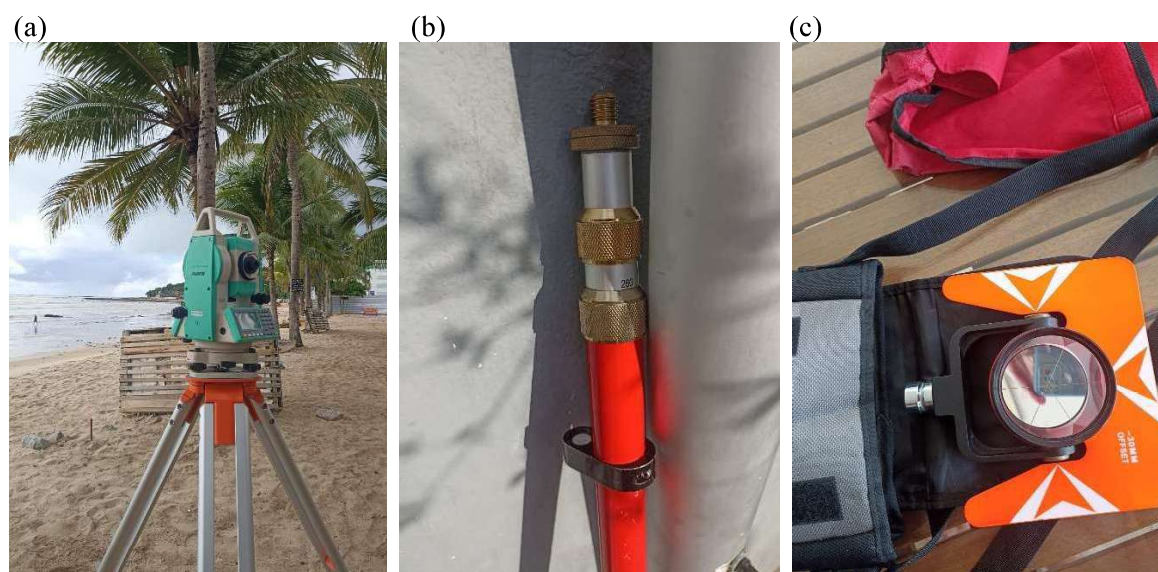
	2023							2024					
	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Dia	06	31	30	29	27	27	12	26	09	11	09	09	06
Hora	12:00	09:13	09:51	10:08	09:02	09:58	09:38	10:34	09:56	11:00	10:41	11:06	10:08
Maré	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,3	0,4	0,5	0,2	0,0	0,0	0,1	0,2

Fonte: Marinha do Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Tábua de Maré: Porto de Cabedelo/PB – 2024. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>.

Figura 6. Fotos das estruturas rígidas artificiais nas proximidades dos pontos de monitoramento dos perfis.



Figura 7. Fotos dos instrumentos topográficos utilizados na pesquisa: (a) estação total ruide 820r3, (b) haste do prisma, e (c) prisma circular.



5.2.1 O perfil transversal P1

O perfil P1 está localizado em frente ao prédio Impéria Suítes, número 4532 na orla do Cabo Branco, na coordenada UTM 299953,48 mE e 9209851,64 mN. O perfil topográfico transversal P1 (Figura 8) foi escolhido por estar no início da porção Sul da enseada da praia do Cabo Branco (área que vem constantemente sendo transformada pela ação do mar), na qual a prefeitura municipal de João Pessoa vem acumulando estruturas artificiais rígidas, como tentativa de frear o processo erosivo.

A primeira medição parte da porção superior da calçadinha, ao lado de um coqueiro. O acompanhamento dessa declividade é importante, pois, de acordo com Bascom (1951), Sonu e Van Beek (1971) a declividade da zona de estirâncio de uma praia, mudará significativamente ao passar por processos de erosão ou sedimentação.

Figura 8. Vista parcial do perfil topográfico transversal P1.



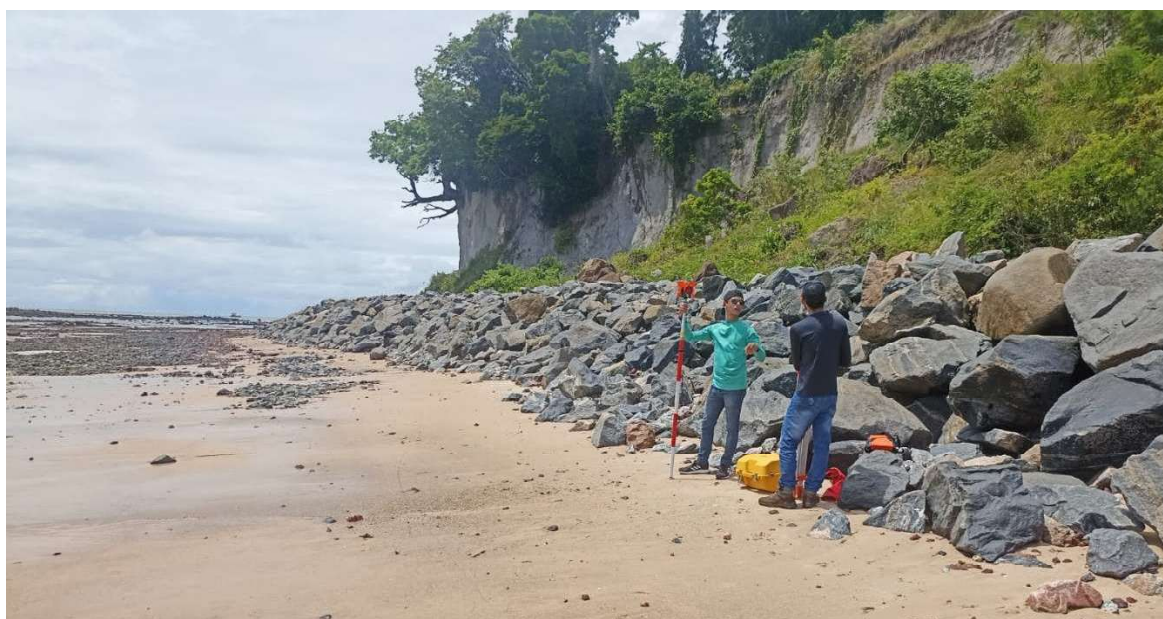
Fonte: Autor (2024).

5.2.2 O perfil transversal P2

Este ponto de monitoramento está localizado no sopé da ponta da falésia viva da praia do Cabo Branco (Figura 9), mais precisamente na coordenada UTM 301333,44 mE e 9209677,75 mN. Esse ponto foi escolhido por estar inserido em meio a uma zona de falésias

vivas que estava sendo constantemente trabalhada pela ação das ondas, até a construção do enrocamento feita pela prefeitura de João Pessoa (que apresenta uma extensão de 1.750 m, margeando a barreira do Cabo Branco das proximidades da Praça de Iemanjá até o início da Praia do Seixas). A primeira medição parte do topo de um piquete abrigado entre a base da falésia e o enrocamento. Com o intuito de preservar e manter invariável a cota altimétrica inicial, o piquete de partida foi fincado entre o sopé da falésia e o início do enrocamento (área abrigada contra a ação das ondas).

Figura 9. Vista parcial do perfil transversal P2.



Fonte: Autor (2024).

5.2.3 O perfil transversal P3

Este ponto de monitoramento está localizado no pontal arenoso (extremo leste da Paraíba) da Praia do Seixas (Figura 10), mais precisamente na coordenada UTM 301920,45 mE e 9208839,37 mN. Sua primeira medição parte da porção superior da raiz de uma árvore localizada ao lado da escada de acesso à praia construída por um bar denominado de Palhoça Lucas e Luana. O local do P3 foi escolhido por estar na ponta arenosa da planície costeira do Seixas, local abrigado pelo ambiente recifal. Nas proximidades Sul do ponto de monitoramento existem muros de arrimo construídos por diversos bares na antepraia. Com o intuito de preservar e manter invariável a cota altimétrica inicial, o piquete de partida está localizado na parte superior da raiz de uma grande árvore localizada ao lado da escada de acesso a praia construída por um bar local.

Figura 10. Vista parcial do perfil transversal P3.



Fonte: Autor (2024).

5.2.4 O perfil transversal P4

O ponto P4 está localizado ao norte da desembocadura do Rio Cabelo (divisa das praias da Penha e Seixas) em frente ao Bar Peixada Sabor do Mar, na porção Sul da praia do Seixas (Figura 11), mais precisamente na coordenada UTM 301784,48 mE e 9208141,99 mN. A escolha do P4 foi realizada com base na sua localização, em uma porção mais retilínea de praia, na qual existe uma pós-praia mais preservada que os demais pontos. Com o intuito de preservar e manter invariável a cota altimétrica inicial, o piquete de partida é representado pela parte superior da calçada do bar. A primeira medição parte da ponta sudeste da calçada construída pelo bar.

Figura 11. Vista parcial do perfil transversal P4.

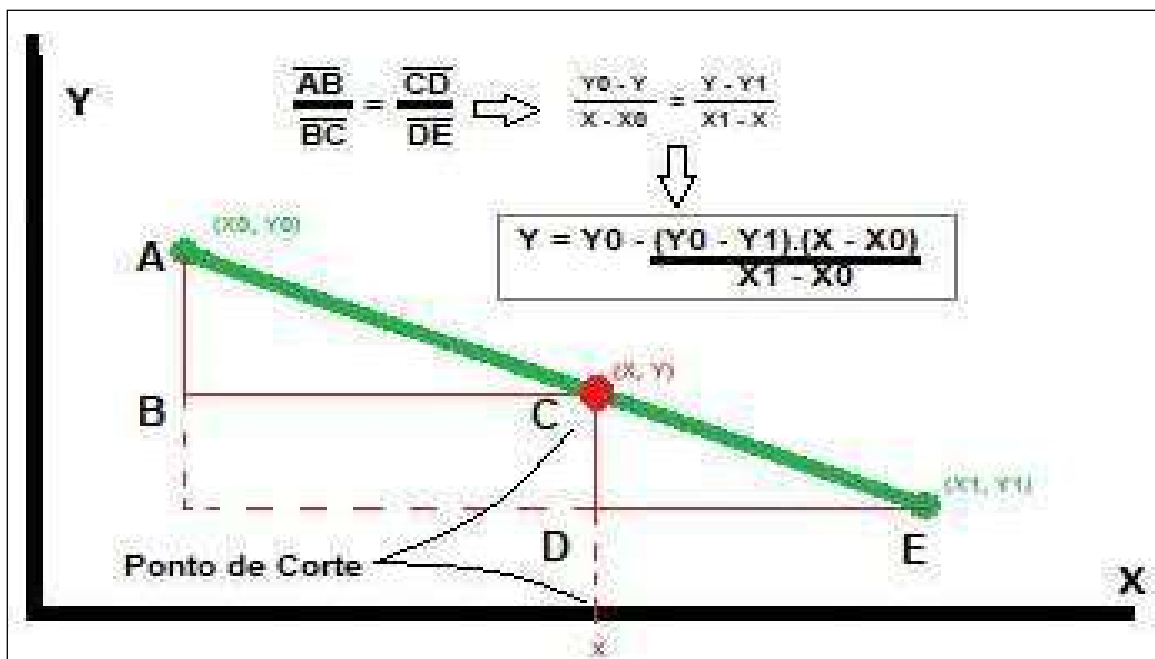


Fonte: Autor (2024)

5.3 Estimativa do balanço do volume sedimentar no período de curto prazo

Para estimar o balanço mensal do volume de sedimentos no período pesquisado, foram necessários ajustes, devido a extensão diferente dos perfis mensais, foram cortados os perfis mais extensos, pelo perfil de menor comprimento para uniformizar as extensões de todos os perfis praias (P1 – 116,33 m, P2 – 111,06 m, P3 – 86,45 m, e P4 – 63,99 m). Para realizar o corte de todos os perfis com base a menor coordenada X, foi necessário determinar as coordenadas cartesianas do ponto de corte sobre cada perfil. Como este ponto de corte sempre estará sobre uma reta que liga dois pontos consecutivos de coordenadas conhecidas (X_0 , Y_0) e (X_1 , Y_1). Assim, foi interpolada esta reta para determinar a coordenada Y correspondente à coordenada X de corte (Figura 12). Por semelhança de triângulos foi mantida a proporção entre os catetos dos dois triângulos retângulos. Finalmente, foi realizado o tratamento algébrico para isolamento da incógnita Y, resultando na fórmula para definição da extensão do perfil.

Figura 12. Fórmula utilizada para interpolar a coordenada Y, igualando todos os perfis mensais

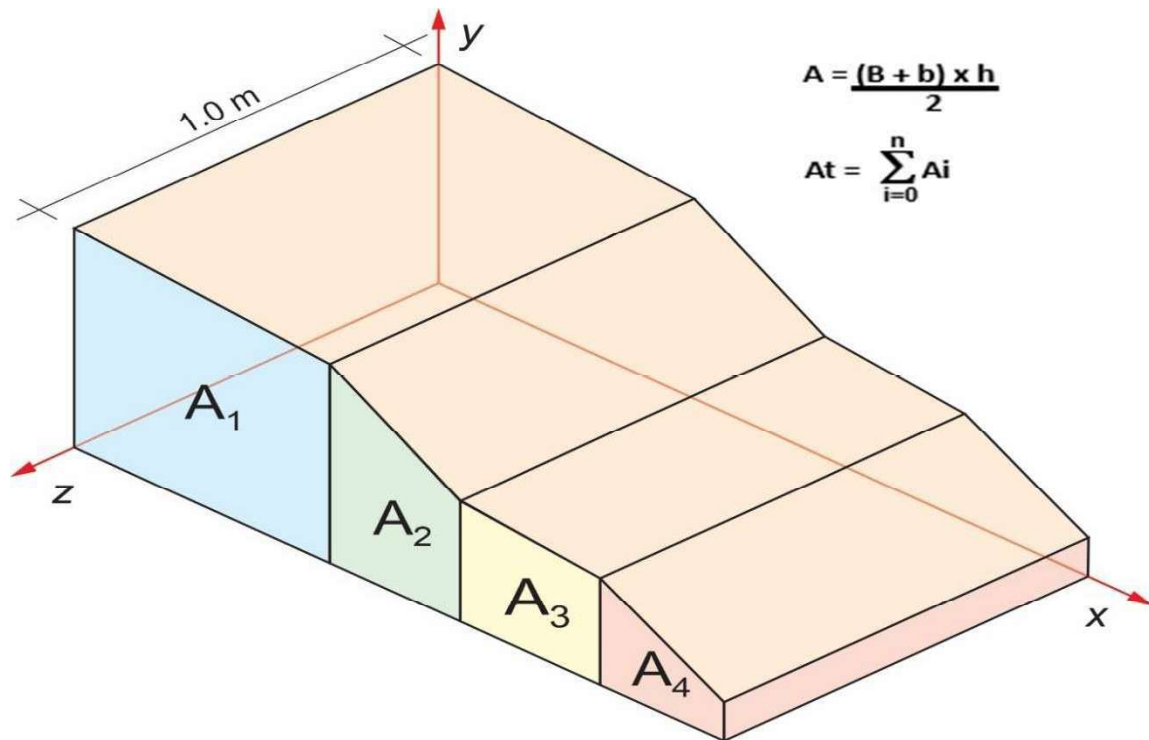


Fonte: Elaborado pelo autor.

Posteriormente, para calcular a área abaixo da curva (perfil mensal), foi necessário realizar o somatório de cada área de trapézio formado abaixo do segmento de reta que liga uma cota a outra, conforme a Figura 13. Foi considerada a cota altimétrica inicial da coordenada Y de cada um dos quatro perfis, a aferida no mês com maior diferença altimétrica, portanto a do mês que possui a cota mínima, assim, a altitude inicial da primeira cota de cada mês, partiu sempre de um mesmo ponto e não ficou negativa em relação ao eixo X, para fins de comparação coerentes entre os volumes de movimentações de materiais nos diversos perfis mensais.

Ainda de acordo com a Figura 13, as coordenadas Y formam, portanto, as bases maiores e menores do trapézio. Já as diferenças de coordenadas X entre uma cota e sua subsequente foram consideradas como as alturas dos trapézios. Posteriormente, com a finalidade de medir o volume em metros cúbicos de sedimentos por metro de praia, foi multiplicada a área total por um metro.

Figura 13. Fórmula para calcular a área em volume linear dos perfis.



Depois de todo esse processamento, os dados necessários para a confecção dos perfis de praia com seus respectivos volumes, foram calculadas as cotas e distâncias com o auxílio de software específico de planilha eletrônica que gerou tabelas e gráficos que representam os perfis topográficos das praias, além do balanço sedimentar mensal relativo (comparando o mês anterior ao mês posterior) e absoluto (comparando o primeiro mês ao último).

5.4 Caracterização da hidrodinâmica das praias

A caracterização da hidrodinâmica das praias neste estudo foi analisada utilizando o programa chamado Sistema de Modelagem Costeira do Brasil (SMC-Brasil), desenvolvido pelo Instituto de Hidráulica Ambiental (IH-Cantabria, 2013), da Universidade da Cantabria, Espanha. Essa ferramenta foi adaptada e transferida para o Brasil através do projeto intitulado “Transferência de metodologias e ferramentas de apoio à gestão do litoral brasileiro”, com a colaboração do Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), entre outros (IH-Cantabria, 2013). O SMC-Brasil é uma ferramenta desenvolvida para análise, simulação e gestão integrada da dinâmica

costeira. Seu propósito principal é avaliar e prever a evolução do litoral brasileiro, considerando processos como ondas, correntes, transporte de sedimentos e variações na linha de costa.

Nesta pesquisa, essa ferramenta foi uma alternativa confiável devido à escassez de dados na área, para a caracterização e análise ambiental das praias estudadas, devido a utilização do seu banco de dados atmosféricos, do clima de ondas, batimetria e níveis do mar, com séries temporais utilizadas para esse estudo de 60 anos (1948 a 2008). Assim, foi possível gerar os gráficos e mapas com características do comportamento hidrodinâmico, tais como: o clima de ondas, as correntes e o transporte de sedimentos das praias do Cabo Branco e Seixas.

O SMC-Brasil integra uma série de modelos numéricos, os quais se encontram estruturados de acordo com as escalas temporais e espaciais dos processos a serem modelados, sendo dividido em dois módulos: (a) o IH-DATA, que reúne um banco de dados da costa brasileira com dados de batimetria, ondas e nível para o período de 1948 a 2008, e (b) o IH-AMEVA, que realiza análises matemáticas e estatísticas para avaliação da dinâmica costeira.

Para a aplicação do SMC-Brasil, inicialmente foi selecionado um ponto Downscaled Ocean Waves (DOW). O DOW é um banco de dados e ferramenta de modelagem que fornece informações detalhadas sobre o clima de ondas, ou seja, ele faz o *downscaling* (refinamento espacial e temporal) das condições oceânicas globais para regiões costeiras específicas. O DOW transforma dados de modelos globais de ondas (como o WAVEWATCH III) em séries temporais de alta resolução próximas à costa, ajustadas às condições locais de batimetria e orientação da linha de costa.

As principais funções do ponto DOW no SMC são: (a) fornecer dados de entrada refinados para os modelos hidrodinâmicos e sedimentares do SMC-Brasil, (b) caracterizar o clima de ondas costeiro, com parâmetros como altura significativa, direção e período das ondas, (c) simular cenários de longo prazo, permitindo avaliar tendências erosivas, transporte litorâneo e impacto de eventos extremos, e (d) auxiliar em estudos de engenharia costeira e gestão ambiental, ao representar com maior realismo a energia das ondas que chegam à costa (Camus et al., 2014).

Neste estudo, o ponto DOW foi escolhido em uma profundidade de 13,5 m (águas intermediárias), devido a uma menor influência do fundo marinho. A partir das características da ondulação da área de estudo, foi determinada a direção das malhas de

cálculo, sendo levada em consideração a direção principal das ondas. As malhas escolhidas para esse estudo, foram de Leste, Nordeste e Sudeste, para cada uma dessas posições, foram criadas duas malhas, uma geral e uma de detalhe.

O DOW escolhido é usado como dado de entrada no modelo de propagação de ondas OLUCA, que é um modelo combinado de refração-difração, junto com o COPLA, que é um modelo numérico que resolve as equações de fluxo dentro da zona de arrebentação. Esses dois modelos trabalham sucessivamente para calcular as correntes. E deve estar inserido dentro de ambas as malhas.

Nesse estudo foram utilizados dados batimétricos obtidos através de cartas náuticas do litoral brasileiro da Marinha do Brasil e do Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH), disponíveis na base de dados BACO, que é uma base de pré-processamento integrado ao SMC-Tools e composto por informações relacionadas às batimetrias, linhas costeiras e imagens de satélite. Porém para uma maior precisão do estudo foi incluída uma batimetria de detalhe realizada no estudo de Massei (2020).

Posteriormente foram selecionados e propagados 100 casos obtidos através do algoritmo de máxima dissimilaridade (MaxDiss) que filtrou os casos mais significativos gerando uma melhor representatividade dos estados do mar. Cada um desses casos foi propagado em situação de maré baixa (0.0 m) e na maré alta (2,8 m). Depois foi realizada pelo modelo OLUCA uma interpolação dos dados dos 60 anos.

Neste estudo foi aplicado o submódulo de Pós-processo – Transporte/Fluxos médios, do módulo IH-DYNAMICS, inserido no SMC-Tools que é uma das ferramentas principais do SMC, esse módulo realiza a propagação da série temporal das ondas a partir de um ponto DOW até o ponto de quebra de onda em um perfil de praia. Assim foi possível avaliar o transporte litorâneo de sedimento, a direção do fluxo e a energia das ondas próximo a costa, desse modo, foi possível obter essas características de cada um dos cinco perfis perpendiculares a linha da costa obtidos a partir da propagação de casos sobre uma malha da área do presente estudo.

5.5 Identificação dos setores com tendências erosivas/deposicionais e o comportamento da linha de costa

5.5.1 Utilização da Plataforma CASSIE para a geração das linhas de costa (2016 a 2024)

Para uma melhor compreensão a respeito dos processos costeiros existentes na área do estudo foi utilizada a plataforma Coastal Analysis from Satellite Imagery Engine (CASSIE). Conforme proposto por Almeida et al. (2021), essa plataforma consiste numa ferramenta web de código aberto para mapeamento e análise automática do litoral usando imagens de satélite. A plataforma CASSIE foi construída em JavaScript, usando a API do Google Earth Engine (GEE), e pode ser aplicada a qualquer região costeira onde existe um limite entre água e terra. O CASSIE usa imagens de satélite Landsat e Sentinel-2, que estão disponíveis na plataforma GEE.

Nessa pesquisa, a temporalidade de curto período adotada foi de 2016 a 2024, pois não existem, imagens elaboradas a partir do Sentinel-2 antes de 2016, já a escolha do satélite, foi devido a sua resolução espacial de 10 m com uma captura a cada 5 dias, proporcionando uma maior quantidade de imagens.

A aplicação da CASSIE utiliza a autenticação da Google para identificar seus usuários e permitir o uso do GEE, que busca em seu banco de dados as diversas imagens e auxilia na análise de linhas de costa. Neste estudo, realizamos automaticamente o filtro por percentual de nuvens igual a 2,5%. No CASSIE, a detecção automática de cada linha de costa (separação entre a linha de costa e o mar) é realizada pela aplicação do Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI). Ainda sobre esse índice, Mishra et al. (2020) destacam que ele alcança melhores resultados do que outros métodos sendo também o mais apropriado para a detecção de linhas costeiras.

Para determinar o deslocamento na linha de costa, foi criada uma linha de costa que serve como linha base para todas as análises dos transectos gerados pela plataforma. Essa linha foi digitalizada manualmente a partir de uma imagem Landsat de 2004 extraída do GEE, obtendo como referência a linha da vegetação em lugares que não possuem construções, além das mesmas, quando existentes. Posteriormente ela foi transformada em um arquivo .kml, sendo acrescentada a plataforma. A partir dessa linha base foram definidas as linhas de costa para cada ano.

5.4.2 Detecção das linhas de costa (1984 a 2025)

Para essa análise, foram baixadas no sítio eletrônico do Earthdata <<https://www.earthdata.nasa.gov>> todas as imagens de satélite Landsat 5, 7 e 8 de (1984 a 2025) no formato TIF. As imagens escolhidas foram selecionadas sem a utilização do filtro para nuvens, e em seguida foi feito um polígono da área de estudo. As imagens utilizadas

passaram inicialmente por um processo de limpeza automatizado em Python, por meio de uma rede neural treinada para identificar e substituir áreas com cobertura de nuvens. Esse procedimento consiste em buscar pixels equivalentes em imagens temporais próximas, sem interferência de nuvens, a fim de reconstruir as regiões afetadas e aprimorar a qualidade visual e espectral dos dados.

Em seguida, foi aplicado o algoritmo Canny para detecção de bordas da linha de costa, substituindo o uso tradicional do NDWI. Esse método baseia-se no contraste entre pixels para delimitar de forma mais precisa a transição entre os ambientes terrestre e marinho. Foram adotados limiares duplos de detecção, definidos em 3 (superior) e 1 (inferior), a fim de otimizar a sensibilidade do algoritmo às variações de borda.

Para a seleção temporal das imagens, utilizou-se o código DEEPWATERMAP, desenvolvido pela Universidade do Texas. Esse algoritmo identifica o mês com maior recorrência de imagens de boa qualidade em cada ano, priorizando consistência temporal e acurácia espacial. No presente estudo, o código indicou o mês de maio como o mais representativo, com 36 das 42 imagens disponíveis. Para os casos em que não havia imagens adequadas nesse mês, foram selecionadas aquelas de melhor qualidade no mês mais próximo.

As imagens de baixa qualidade no mês 05, foram as dos seguintes anos: 1991, 2004, 2009, 2014, 2016, 2017, 2019 que foram substituídas pelo mês 04. Já as de baixa qualidade dos anos de 2012, 2020, 2021 devido à ausência de imagens de boa qualidade mais próximas foram escolhidas para essa substituição as dos meses: 02, 09 e 03 respectivamente.

Uma vez construídas as linhas de costa, transformamos os arquivos matriciais das 42 imagens em vetores. Em seguida foram realizadas correções nesses arquivos vetoriais, como fechamento manual de sombras de nuvens e suavização de ângulos de linhas de costa, que permaneceram em algumas imagens.

Utilizamos nesse estudo como linha base (linha vetorial criada paralelamente à costa e dentro do continente, que é utilizada para a geração dos transectos) a do ano de 2025, devido a qualidade da imagem, sendo em seguida posicionada (recuada 100 m no sentido do continente), para não tocar nas outras linhas de costa. A baseline na tabela de atributos teve que possuir os IDs dos seguimentos que a constituíram, ela teve também que, seguir a direção padrão da linha base de costa que foi de Norte para Sul.

Já em relação as linhas de costa, elas devem estar em uma projeção métrica, preferencialmente UTM, assim, todos os dados foram colocados no sistema de coordenadas

de base métrica SIRGAS 2000 hemisfério Sul zona 25S. Os requisitos da linha de costa foram: a tabela de atributo, na qual contém um campo de data no formato mês, dia e ano (mm/dd/yyyy) e o *uncert* (campo de incerteza), que é um campo numérico adotado nesse estudo. Ele foi atribuído a definição do pixel da imagem landsat, ou seja, de 30 metros. Posteriormente, todos os dados foram convertidos para o formato *geojson* e o ID foi do tipo numérico longo e inteiro.

5.4.3 A análise estatística da linha de costa

Nessa etapa, o conjunto de linhas de costa geradas pela plataforma CASSIE (curto prazo) e pelo Canny (Longo prazo), foram adicionadas ao DSAS (Himmelstoss et al., 2018). Essa ferramenta, desenvolvida pela U.S. Geological Survey (USGS) permite quantificar alterações espaciais e temporais da linha de costa com base em séries históricas de posicionamento obtidas por imagens de satélite ou levantamentos topográficos. O DSAS é uma importante ferramenta, para análises de erosão, avanço costeiro, impacto climático, mudanças sazonais. No entanto, devemos nos atentar que, uma boa preparação dos *shapefiles*, uma atenção aos parâmetros estatísticos, além de uma interpretação cautelosa das taxas são imprescindíveis.

Para utilizar esta ferramenta, foram fornecidas as linhas de costa (*shorelines*) datadas e escolhidas, para ambos os períodos e definidas para cada período uma linha de base (baseline). Em seguida, foram adotados os mesmos parâmetros de distância de 50m entre os transectos e o comprimento dos transectos (distância que vai da linha de base em direção à ao mar) de 500m.

Os requisitos da linha de costa foram: a tabela de atributo, na qual contém um campo de data no formato mês, dia e ano (mm/dd/yyyy) e o *uncert* (campo de incerteza), que é um campo numérico que foi adotado nesse estudo, assim, foi atribuído a ele a definição do pixel de ambas as imagens escolhidas, em curto prazo a do Sentinel, que foi de 10 metros, já em relação as imagens de longo prazo do Landsat foi a de 30 metros.

Em seguida, foi calculado o intervalo de confiança, que define o grau de confiança estatística para os cálculos, como a Taxa de Regressão Linear – Linear Regression Rate (LRR), ao calcular a taxa de mudança, a ferramenta fornecerá também a margem de erro (intervalo de confiança), o utilizado nessa análise foi o padrão de 95%.

Em seguida, a fim de tornar os dados mais robustos, foi escolhido no (Shoreline Intersection Threshold) o número 49 como mínimo de linhas de costa que um transecto

precisa intersectar para ser considerado, a mesma quantidade de linhas geradas pelo CASSIE. Posteriormente, foram calculadas as estatísticas do deslocamento da linha de costa por meio do módulo DSAS. Foram estimadas as principais métricas de variação costeira, como o End Point Rate (EPR) e o Linear Regression Rate (LRR). O EPR representa a taxa média de recuo ou avanço da linha de costa calculada a partir da diferença entre as posições mais antigas e mais recentes dividida pelo intervalo de tempo entre elas. Já o LRR é determinado a partir da reta de regressão linear ajustada aos múltiplos posicionamentos da linha de costa ao longo do tempo, permitindo identificar tendências de longo prazo e reduzir o efeito de variações pontuais. Além das taxas de variação, o DSAS também calcula os intervalos de confiança (95%) associados a cada transecto, o que possibilita avaliar a significância estatística e a precisão das tendências de erosão ou acreção detectadas. Esses resultados servem de base para interpretar a dinâmica morfossedimentar das praias do Seixas e Cabo Branco e compreender os efeitos combinados de processos naturais e intervenções antrópicas sobre a estabilidade da linha de costa.

Essas informações, foram gravadas diretamente na tabela de atributos dos transectos. Posteriormente, as informações geradas subsidiaram a elaboração do mapa utilizando-se de um software SIG, que mostre os 158 transectos gerados com suas respectivas tendências a longo prazo (acreção, estável, erodida e criticamente erodida), proposta por Esteves e Finkl (1998).

6. RESULTADOS E ANÁLISES

6.1 Análise da hidrodinâmica costeira

6.1.1 Clima de ondas

Em relação aos elementos oceanográficos imprescindíveis para a compreensão da área podemos citar: as ondas, as correntes, os ventos e as marés, como importantes modeladores nas zonas costeiras, qualquer alteração desses agentes naturais, podem trazer impactos relevantes nas praias estudadas. Nesse sentido, o entendimento dos padrões de ondas, correntes e marés são fundamentais para esse estudo. Contudo, vale ressaltar que o período analisado pelo SMC foi de 01 de fevereiro de 1948 a 31 de dezembro de 2008 (60 anos) e a profundidade do ponto DOW foi de 13,6 m.

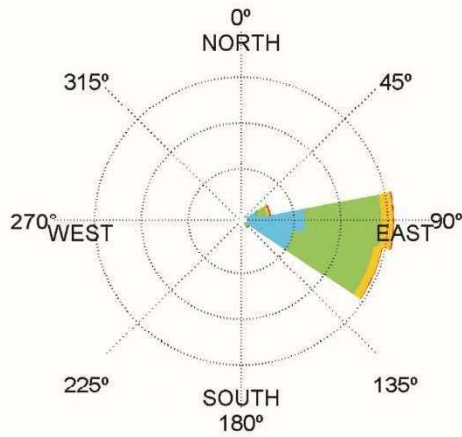
A Figura 14 mostra os resultados da altura significativa e direção das ondas por períodos do ano em relação ao ponto DOW. Assim, ao analisarmos os gráficos das alturas significativas e direções predominantes das ondas da área por períodos/estações do ano, percebe-se que de maneira geral, a altura significativa de ondas predominante varia entre 1,29 m a 1,71 m. Já em relação a direção predominante, observa-se que no período de dezembro a fevereiro (verão) ocorre uma maior variação (Sudeste, Leste-Sudeste, Leste e Leste-Nordeste), bem como uma intensidade maior de ondas nas direções Leste e Leste Nordeste.

Em relação ao período de março a maio (outono) essa variação diminui em relação ao verão e a direção e intensidade predominante das ondas fica entre Leste e Sudeste. No entanto, ao observarmos o período de junho a agosto (inverno), percebe-se que, tanto a direção das ondas predominantes é de Leste-Sudeste, quanto há um aumento na altura significativa das ondas. Entre o período de setembro a novembro (primavera) observa-se um pequeno aumento na direção Leste, porém a direção e intensidade predominante continua sendo Leste-Sudeste.

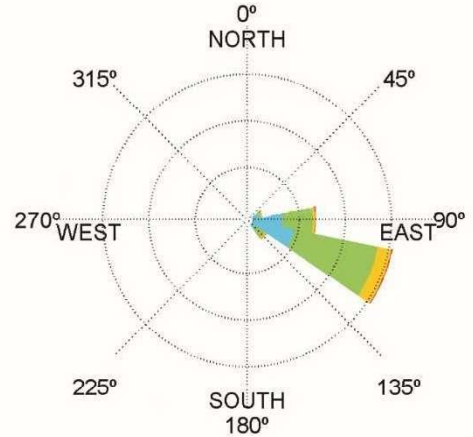
Nota-se que de uma maneira mais ampla, existe uma maior variação durante o ano em relação à altura, intensidade e direção das ondas entre os períodos de verão, que coincide com a estação seca, e o inverno, que coincide com a estação chuvosa. É principalmente na estação seca que ocorre a chegada dos ventos alísios de leste-nordeste e a altura significativa das ondas fica menor que as do período chuvoso, já no período chuvoso, tanto a direção predominante das ondas passa a ser leste-sudeste, quanto a altura significativa das ondas passa a ser maior.

Figura 14. Gráficos da altura significativa e direção das ondas por períodos do ano em relação ao ponto DOW.

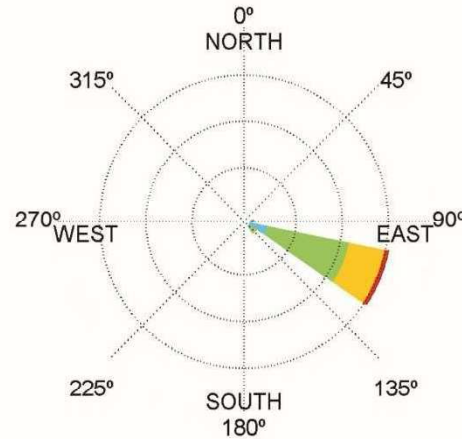
Rosas direcional de Hs (DJF)



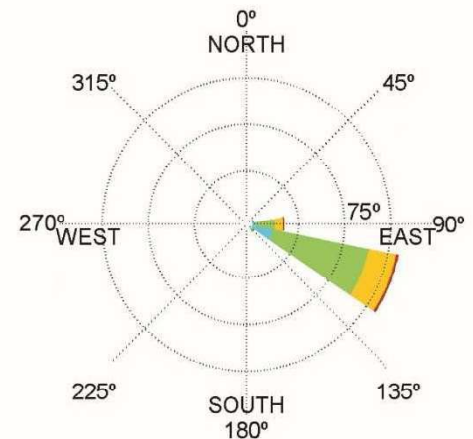
Rosas direcional de Hs (MAM)



Rosas direcional de Hs (JJA)



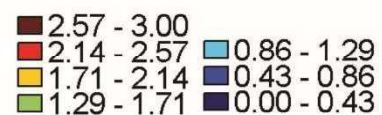
Rosas direcional de Hs (SON)



Trimestres

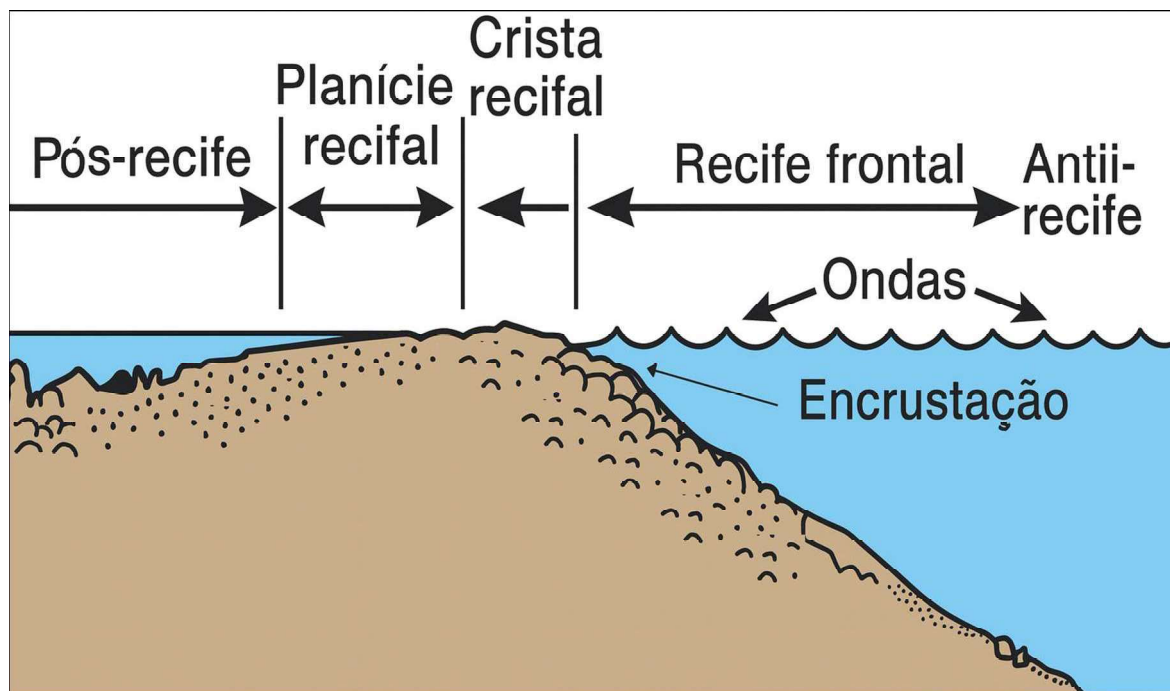
Dezembro, Janeiro e Fevereiro (**DJF**)
 Março, Abril e Maio (**MAM**)
 Junho, Julho e Agosto (**JJA**)
 Setembro, Outubro e Novembro (**SON**)

Hs



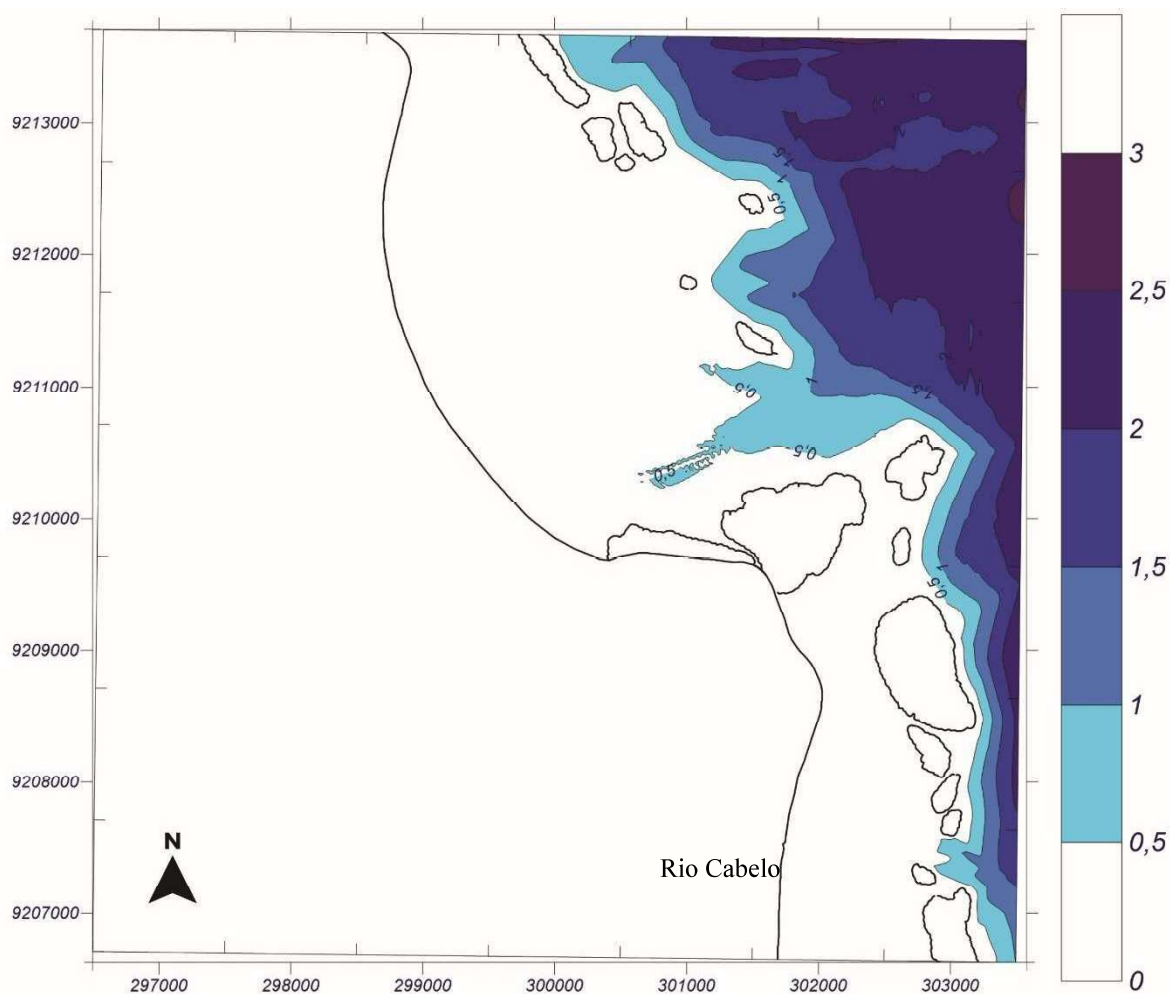
Vale ressaltar que, a representação da altura significativa de onda em relação ao ponto DOW inicial não representa as alturas das ondas que atingem a linha de costa, pois o ambiente recifal cria uma barreira que dissipa a energia das vagas, diminuindo significativamente a altura das ondas no pós-recife. A Figura 15 mostra um exemplo hipotético do comportamento morfológico dos recifes de corais.

Figura 15. Ilustração hipotética do comportamento morfológico dos recifes de corais.



A Figura 16 mostra o mapa da altura das ondas que chegam na área batida e atravessam o ambiente recifal, chegando na linha da praia. De acordo com essa figura, as ondas que conseguem sobrepor os recifes e chegarem à praia atingem uma altura que variam entre 0,5 m e 1 m. Isso corrobora com o que foi aferido por Silva (2009), na desembocadura do rio Cabelo (porção sul da Figura 16), próximo a praia do Seixas, que apresentou uma variação entre 0,2 cm e 0,4 cm na altura de ondas.

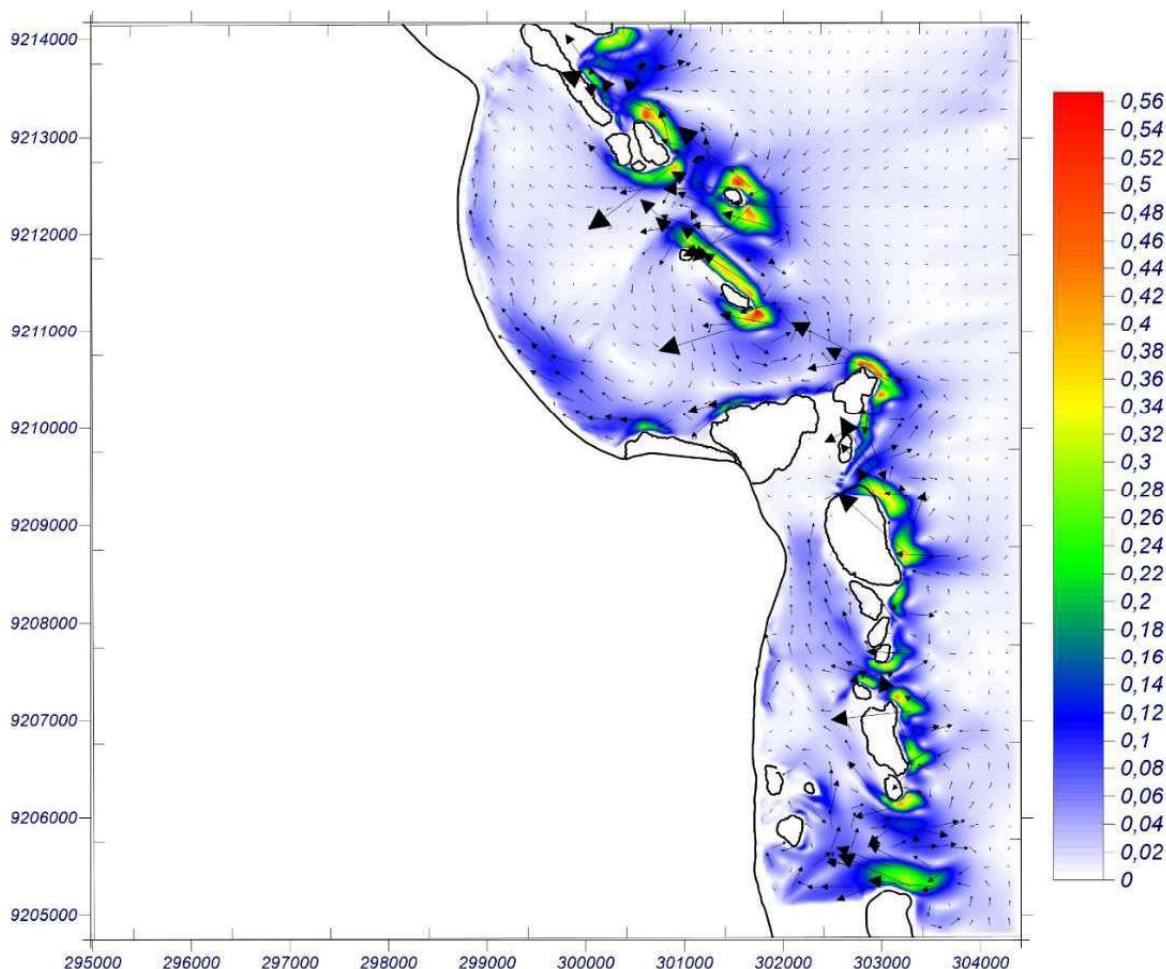
Figura 16. Altura das ondas que chegam na área batida do Recife do Seixas e atravessam o ambiente recifal, chegando na linha da praia.



A Figura 17 mostra o sentido das correntes e suas respectivas magnitudes, é possível indagar que, ocorrem mudanças significativas nas correntes ao atingirem o ambiente recifal, diminuindo a sua magnitude e mudando o seu sentido. Outro fator relevante para o entendimento da dinâmica costeira em qualquer área estudada é a direção e magnitude das correntes. Contudo, é possível observar que a direção predominante da corrente de deriva litorânea da área é de Sul para Norte. Isso provavelmente está ligado a direção predominante dos ventos e das ondas da área. Essa predominância pode ser confirmada em outros trabalhos que já foram realizados no litoral de João Pessoa, como os de Furrier (2007), Reis (2008), e Vasconcelos (2010). Vale ressaltar que, tanto a direção das ondas, quanto o sentido da corrente de deriva litorânea, vão influenciar diretamente no transporte dos sedimentos local,

gerando setores de praia com maior tendência erosiva e outros com maior tendência a sedimentação.

Figura 17. Mapa da magnitude e sentido das correntes estimadas pelo SMC-Brasil para a área do estudo.



6.1.2 Transporte de sedimentos

A Figura 18 apresenta a localização dos perfis perpendiculares, que determinam o transporte médio de sedimentos. Com relação aos resultados de transporte anual de sedimento dos cinco perfis perpendiculares, foi possível afirmar que de acordo com os dados gerados e indicados pela seta preta, o transporte médio bruto de sedimentos ocorre majoritariamente no sentido de sul para norte, isso indica o sentido predominante da corrente de deriva litorânea. Contudo, em relação ao transporte médio positivo demonstrado pela seta azul, percebemos que tanto os perfis 1 e 2 na enseada da praia do Cabo Branco, quanto o perfil 5 da praia dos Seixas ocorrem em um sentido divergente em relação a corrente de

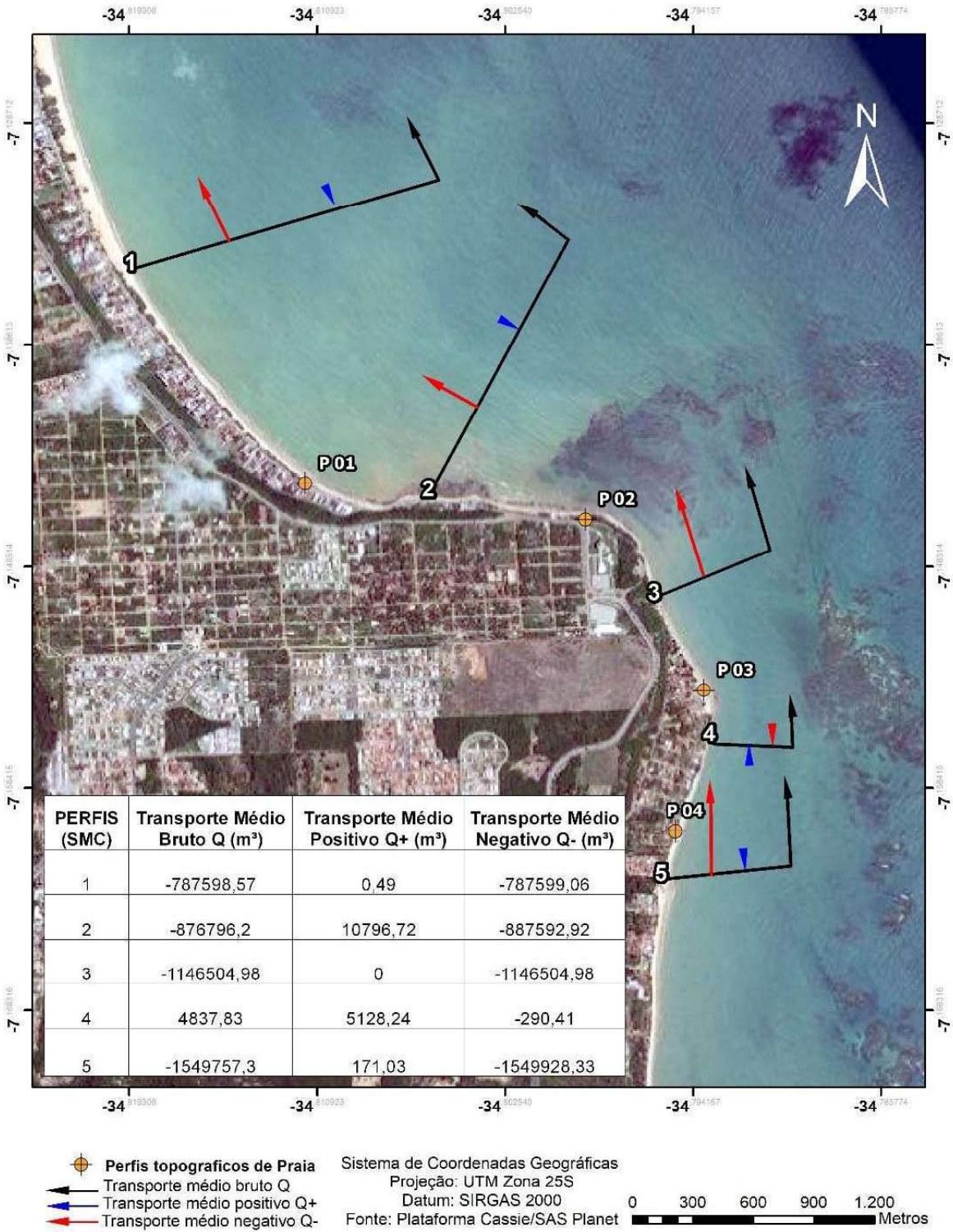
deriva litorânea, ou seja, sentido sul. Entretanto, no perfil 4 da praia dos Seixas, esse transporte positivo ocorre no sentido da corrente de deriva. Isso demonstra uma possível saída dos sedimentos para o Sul do P5 (praia da Penha) e para o Norte do P4 (pontal arenoso do Seixas), corroborando tanto, com o ganho no volume de sedimentos no P3 quanto, com a diminuição do volume de sedimentos no P4. Já em relação ao transporte médio negativo, representado pela seta vermelha, o sentido de transporte obedece ao mesmo sentido da corrente predominante, de sul para norte, excetuando-se novamente o perfil 4, isso, indicaria uma possível área estável entre os perfis 3 e o perfil 4, validando os transectos criado pela plataforma CASSIE e o P3.

Tudo isso demonstra a complexidade na dinâmica costeira da referida área, principalmente quando comparamos os perfis 3 e 5, devido à existência do ambiente recifal que protege a área de ondas maiores, bem como, aos processos de difração e refração gerados por esse ambiente, a hidrodinâmica atuante é bastante complexa, influenciando no transporte de sedimentos desse local.

Assim, quando comparamos, mesmo que em períodos distintos, os perfis transversais gerados no SMC-Brasil, que mostram uma tendência a longo prazo (1948 a 2008), com os quatro perfis transversais de praia, posicionados entre eles e obtidos em campo no período de junho de 2023 a junho de 2024, percebemos que o perfil 5 do SMC (localizado ao Sul do perfil topográfico de praia P4) obteve um transporte médio bruto negativo, isso pode justificar a perda no volume de sedimentos do perfil de praia P4. Em relação a área entre os perfis 3 e 4 do SMC (localizados ao Norte e ao Sul do perfil anual de praia P3), percebemos a mesma lógica pois, tanto os perfis gerados pelo SMC, quanto o perfil anual de volume de sedimentos, sugerem uma sedimentação.

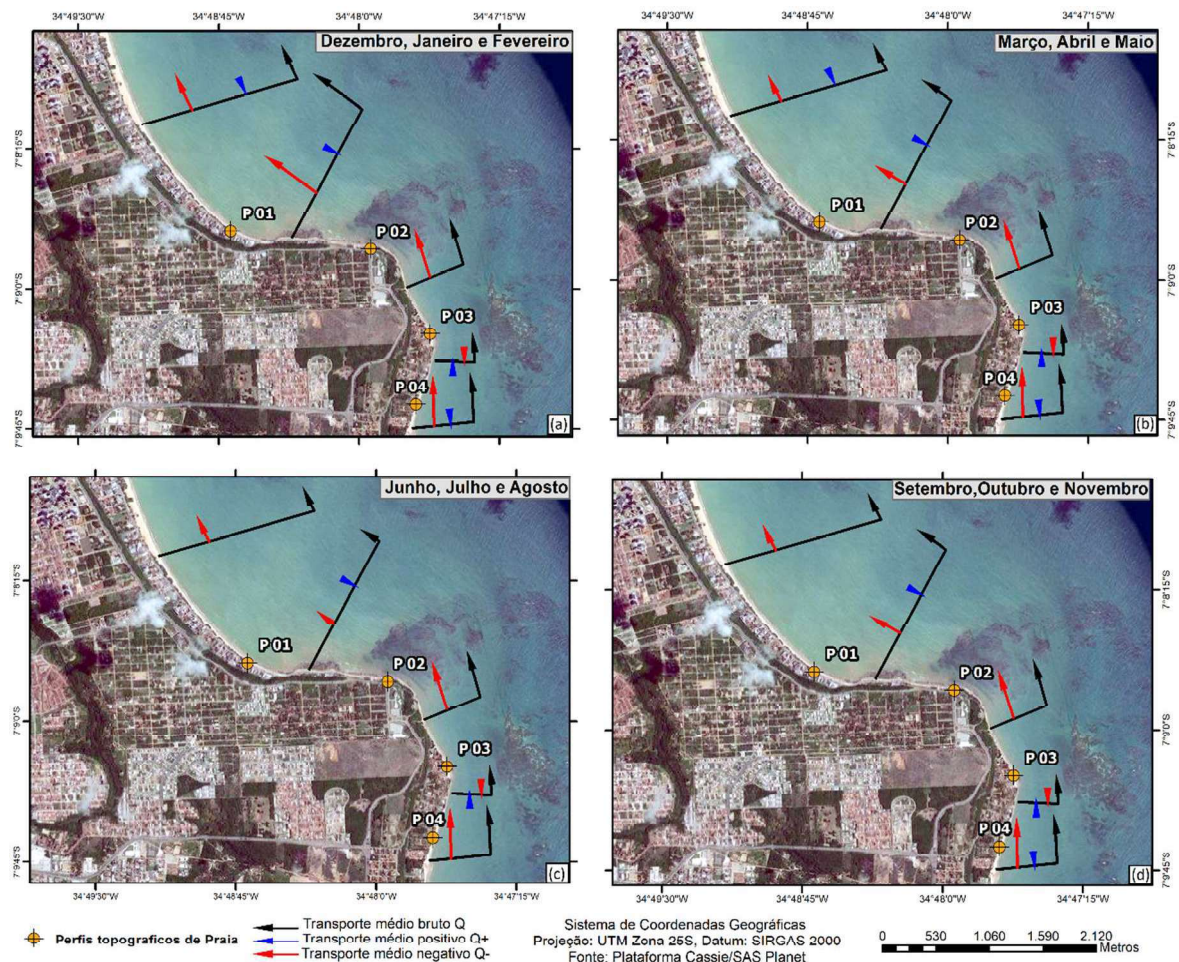
Entretanto, em relação aos perfis 3 e 2 do SMC (localizados ao Sul dos perfis anuais de praia P2 e P1, respectivamente), houve uma contradição em relação ao balanço sedimentar. Em ambas as situações, os perfis gerados no SMC ficaram negativos, enquanto os medidos na praia, ficaram levemente positivos.

Figura 18. Localização dos perfis topográficos e perfis perpendiculares usados para simular o transporte de sedimentos médio na área de estudo.



As Figuras 19a–d apresentam os mapas de transporte de sedimentos médio sazonal (SON, DJF, MAM, e JJA) da área de estudo para cinco perfis. Os resultados da Figura 19a para o período do verão (dezembro, janeiro e fevereiro) indicam que nos perfis 1 e 2 (enseada do Cabo Branco), e 4 e 5 (parte mais retilínea da praia do Seixas), o transporte foi predominantemente negativo, ou seja, houve uma maior perda de sedimentos e uma pequena quantidade de transporte positivo de sedimentos, enquanto no perfil 3 houve apenas transporte negativo de sedimentos. Os resultados do transporte de sedimentos médio para o período de outono (março, abril e maio) mostram que o comportamento foi similar na área de estudo no período de verão (Figura 19b).

Figura 19. Localização dos perfis topográficos e perfis perpendiculares usados para estimar o transporte de sedimentos médio sazonal.



Os resultados da Figura 19c mostram que no período de inverno (junho, julho e agosto) não ocorreu transporte positivo de sedimentos nos perfis 1, 3 e 5, e nos perfis 2 e 4 houve uma maior predominância do transporte negativo em relação ao positivo. Os resultados do transporte de sedimentos médio para o período de primavera (setembro, outubro e novembro), mostrado na Figura 19d mostram que os perfis 1 e 3 no período de primavera (setembro, outubro e novembro) apresentaram apenas transporte negativo, enquanto nos perfis 2, 4 e 5, o transporte negativo superou o positivo.

Os resultados indicam que todos os perfis apresentaram um maior fluxo médio de transporte sedimentar negativo, com direção predominante Norte–Sul. Especificamente, o perfil 3 não apresentou transporte positivo em nenhum período analisado. Esse comportamento do fluxo médio de transporte de sedimentos está possivelmente associado a direção predominante dos ventos e correntes costeiras, que influenciam no transporte longitudinal de sedimentos na região.

Na praia do Seixas (trecho retilíneo) em quase todos os meses, excetuando-se os meses de junho a agosto ocorreu, tanto um fluxo médio positivo no sentido Norte (perfil 4), quanto no sentido Sul (perfil 5), já entre junho e agosto esse transporte ocorreu apenas no sentido Sul-Norte (perfil 4). Em relação ao transporte médio negativo e ao transporte médio bruto, em todos os meses do ano, ocorreram a predominância desses fluxos no sentido Sul-Norte (predominante da corrente de deriva) com maior magnitude em relação ao transporte médio positivo. Vale salientar que em todos os meses do ano o transporte só foi positivo no perfil 3, gerado pelo SMC-Brasil

A Tabela 2 apresenta a estimativa do transporte de sedimentos médio sazonal. Os resultados mostram que o período trimestral (estação do ano) foi aquele com maior transporte médio bruto e também o com maior transporte médio negativo durante a primavera e o inverno. Já nos períodos do verão e outono tanto o transporte médio bruto, quanto o transporte médio negativo foram menores, apesar de serem ainda maiores que o transporte médio positivo. Em relação ao transporte positivo, observamos que o inverno e o outono os valores foram superiores aos dos outros períodos, ainda que menores em relação aos valores negativos. Já nos períodos da primavera e do verão, esse transporte médio positivo, foi menor, com o período de verão obtendo o menor valor.

Tabela 2. Estimativa e balanço do transporte de sedimentos médio sazonal.

Estações	Trimestres do ano	Balanço do transporte de sedimentos (m ³)	Transporte médio positivo (m ³)	Transporte médio negativo (m ³)
Verão	DJF	-203.368	361	203.729
Outono	MAM	-211.138	889	212.027
Inverno	JJA	-230.758	1.293	232.051
Primavera	SON	-235.994	751	236.745

Acreditamos que, o sentido do transporte médio positivo (Sul), esteja relacionado aos ventos e ondas de leste e nordeste majoritários, na estação seca. Percebemos que, de uma maneira mais ampla, as menores taxas do transporte médio bruto ocorreram de dezembro a maio (verão e outono), ficando as maiores taxas entre os meses de junho a novembro (inverno e primavera).

6.2 Análise dos perfis topográficos transversais

A realização de perfis topográficos transversais são fundamentais para a compreensão detalhada das variações de relevo ao longo de uma seção perpendicular a uma feição natural ou antrópica. Esse tipo de análise permite identificar desníveis, inclinações, formas de relevo e áreas de acúmulo ou erosão, sendo essencial para o planejamento territorial, obras de engenharia e conservação ambiental. Ao representar com fidelidade a variação da altitude em pequena escala, esse perfil permite uma leitura clara da morfologia do terreno, sendo um recurso valioso para decisões técnicas e científicas fundamentadas. A seguir são apresentados os resultados dos quatro perfis topográficos transversais monitorados neste estudo

6.2.1 Perfil topográfico transversal P1

Para analisar um perfil topográfico, inicialmente precisamos entender a variação das declividades de um ponto geográfico. A Tabela 3 mostra os valores das declividades mensais monitoradas para o P1. A Variação total (máxima - mínima) mostra que a máxima declividade foi de 9,5°, a mínima declividade foi de 3°, variação total de 6,5°, e 6,15° de desvio padrão. Em relação a declividade da zona de estirâncio nesse ponto da praia, de acordo com a Tabela 3, observamos que as maiores declividades, variando entre 5° e 9,5° ocorreram entre junho e novembro de 2023 e entre fevereiro e junho de 2024 variando entre

4° e 8°. Já os meses de dezembro de 2023 e janeiro de 2024 obtiveram as menores declividades 3,5° e 3°.

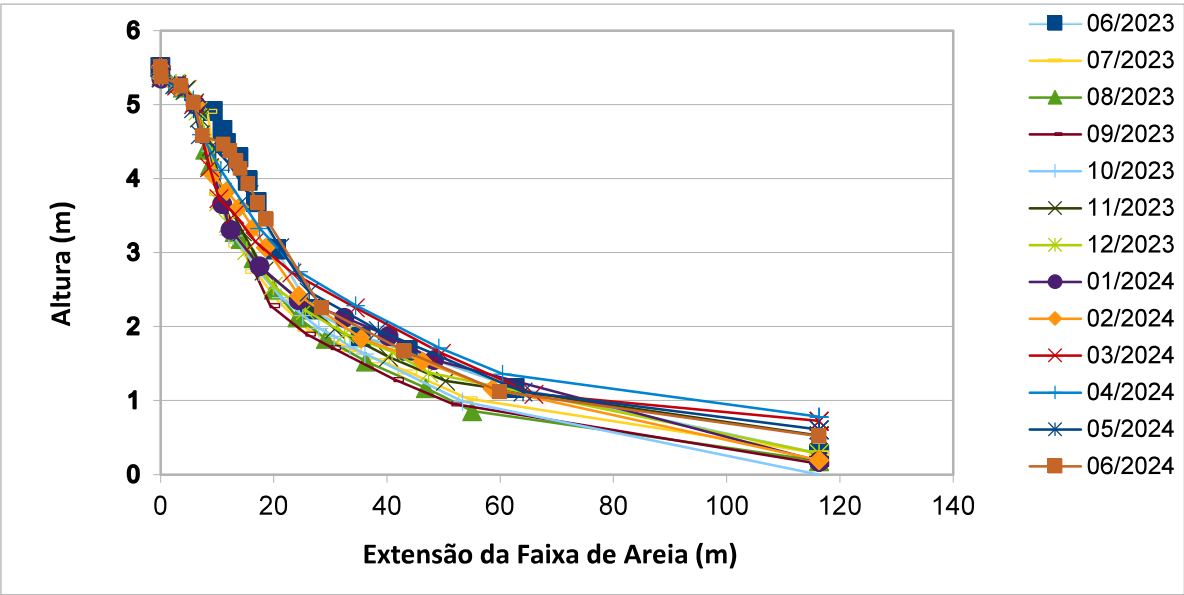
Tabela 3. Meses da pesquisa e suas respectivas declividades do P1.

Jun/ 23	Jul/ 23	Ago/ 23	Set/ 23	Out/ 23	Nov/ 23	Dez/ 23	Jan/ 24	Fev/ 24	Mar/ 24	Abr/ 24	Mai/ 24	Jun/ 24
9,5°	8°	7°	7°	5°	8°	3,5°	3°	7°	5°	4°	8°	5°

Fonte: Elaborada pelo autor com base nas declividades da zona de estirâncio coletadas.

A Figura 20 apresenta os perfis topográficos praiais mensais com as alturas e extensões de faixa de areia para o P1. Nesse ponto, ocorreu uma variação durante o período estudado entre 47 m (12/23) e 66 m (03/24) aproximadamente, na largura da faixa de praia (beira da calçada até a linha da água). Percebemos que houve, uma variação considerável na zona de estirâncio fazendo a berma da praia ora recuar em direção a uma pequena pós-praia de aproximadamente 10m de comprimento ora desaparecendo, ficando o trecho desprovido de uma pós-praia. Observamos também que no período de perda de sedimento na zona de estirâncio, houve um surgimento de um banco arenoso na antepraia, sedimentando assim, essa zona, ver na Figura 20. Isto evidencia a grande mobilidade sazonal além da interação entre as zonas do perfil praiaral nesse trecho.

Figura 20. Perfis topográficos praiais mensais com as alturas e extensões de faixa de areia para o P1.

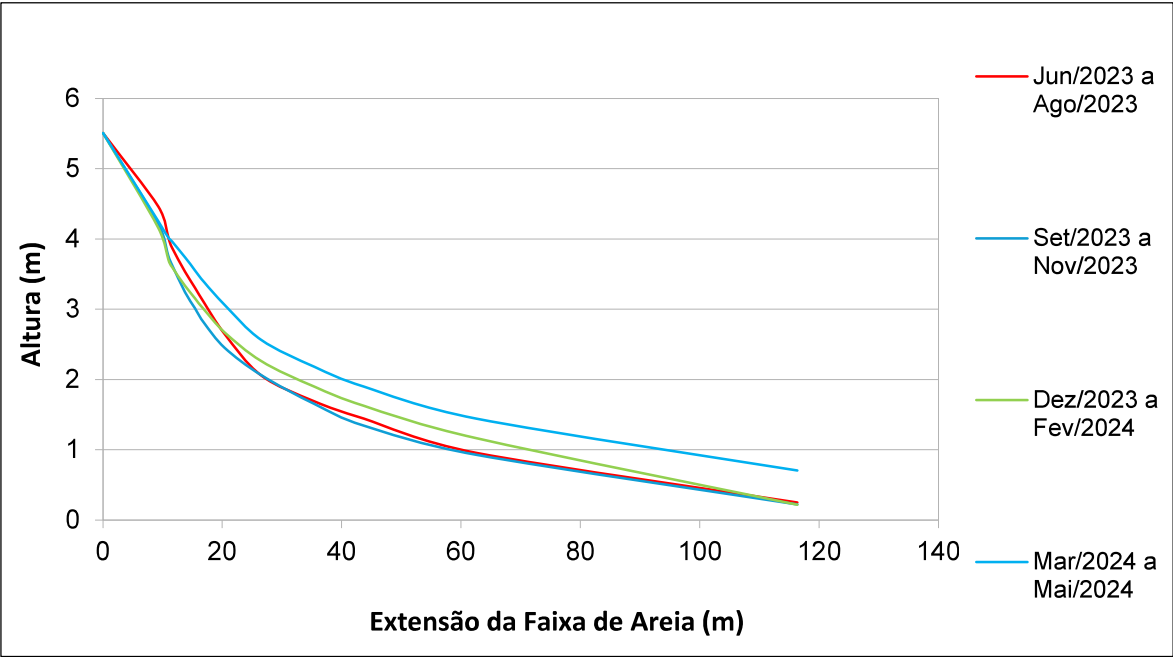


Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados coletados em campo.

Ao analisarmos este ponto através de curvas de médias trimestrais presentes na (Figura 21), podemos compreender um pouco melhor a mobilidade praial da área. Por meio dessa figura, percebemos que houve uma pequena variação entre os trimestres de junho/agosto de 2023 e setembro/novembro de 2023, apenas ocorrendo um pequeno recuo da Berma e uma leve perda de sedimentos na zona de antepraia. Porém, quando comparamos o trimestre de setembro/novembro ao trimestre dezembro a fevereiro, nota-se que ocorreu um aumento de sedimento na zona de estirâncio. Este aumento, também foi perceptível quando comparamos o trimestre que vai de dezembro de 2023 a fevereiro de 2024 com o de março/maio de 2024. Porém, na comparação entre os dois últimos trimestres, percebemos também, uma perda de sedimentos na pós-praia além de um aumento de sedimentos na zona de antepraia. Isso corrobora com o que foi expresso por Bascom (1951) e Sonu e Van Beek (1971), que em períodos de muita energia a morfologia de uma praia responde com a transferência de sedimentos para outras áreas do perfil como a antepraia. Já nos períodos, com sistemas meteorológicos de baixa energia ocorre um retorno dos sedimentos advindos das regiões submersas. Percebemos nesse ponto que, no período de inverno e primavera (maior energia), a zona da pós-praia apresentou uma pequena berma e um rebaixamento da zona de estirâncio. Durante as estações de verão e outono (período de menor energia) houve um aplainamento entre a zona da pós-praia e a zona do estirâncio (sem a presença de berma). Além disso, percebe-se que ocorreu um aumento topográfico na zona de estirâncio, indicando uma recuperação dos sedimentos outrora migrados para outra região.

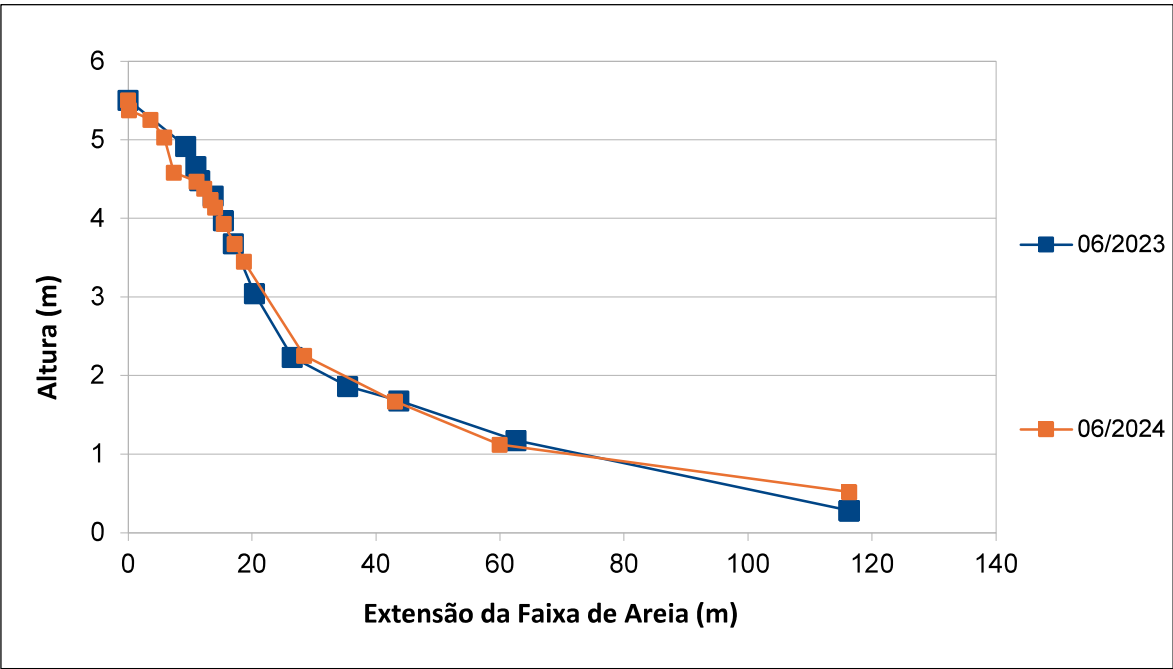
A Figura 22 apresenta um comparativo entre os perfis do primeiro e último mês pesquisados para o P1. Quando comparamos todo o período analisado (junho de 2023 a junho de 2024), destacamos que houve uma pequena variação na zona de estirâncio médio e inferior, ocorrendo apenas, uma perda nos sedimentos da berma, além de um pequeno acréscimo de sedimentos na zona de estirâncio superior, bem como na zona de antepraia.

Figura 21. Perfis das curvas trimestrais médias para o P1.



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados coletados em campo.

Figura 22. Comparativo entre perfis do primeiro e último mês pesquisados para o P1.



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados coletados em campo.

6.2.2 Perfil topográfico transversal P2

A Tabela 4 apresenta as declividades medidas para cada mês monitorado para o P2. Os resultados obtidos mostram que a variação total foi de 5°, a média foi de 5,08° e o desvio padrão foi de $\approx 1,58^\circ$. Em relação a declividade da zona de estirâncio nesse ponto da praia, de acordo com a Tabela 4, observamos que as maiores declividades ocorreram nos meses de agosto de 2023, setembro de 2023, setembro de 2023, março de 2024 e maio de 2024. Já as menores declividades ocorreram entre junho e julho de 2023, outubro e novembro de 2023, dezembro de 2023 e janeiro, fevereiro e abril de 2024.

Tabela 4. Declividades medidas para cada mês monitorado para o P2.

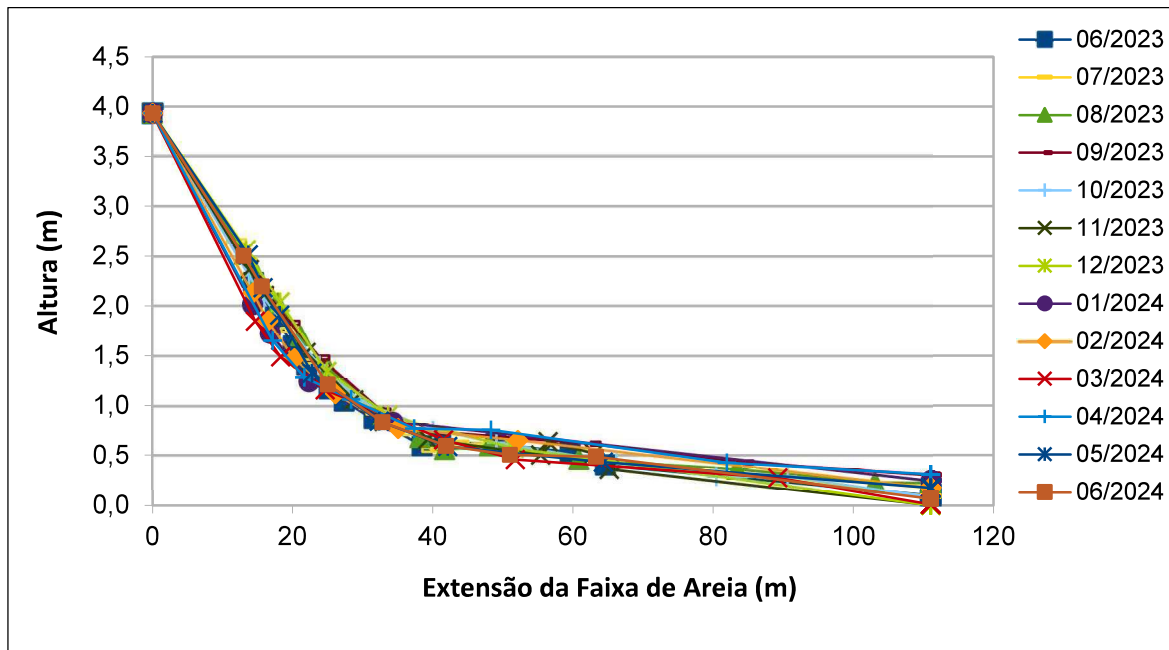
Jun/ 23	Jul/ 23	Ago/ 23	Set/ 23	Out/ 23	Nov/ 23	Dez/ 23	Jan/ 24	Fev/ 24	Mar/ 24	Abr/ 24	Mai/ 24	Jun/ 24
4,5°	5°	8°	7,5°	3°	3°	4°	3°	4°	6°	5°	8°	5°

Fonte: Elaborada pelo autor com base nas declividades da zona de estirâncio coletadas.

A Figura 23 apresenta os perfis topográficos praias mensais com as alturas e extensões de faixa de areia para o P2. Nesse ponto ocorreu uma variação na largura da faixa de praia (sopé da falésia até a linha da água) durante o período de 34 m (01/24) a 90 m (10/23). Em relação a dinâmica do perfil nesse ponto, que não possui uma pós-praia, observa-se na Figura 23, que ocorreu uma pequena variação nas zonas de estirâncio e de antepraia, ambas provavelmente correlacionadas, ou seja, quando a quantidade de sedimentos diminuía na zona de estirâncio aumentava na zona de antepraia.

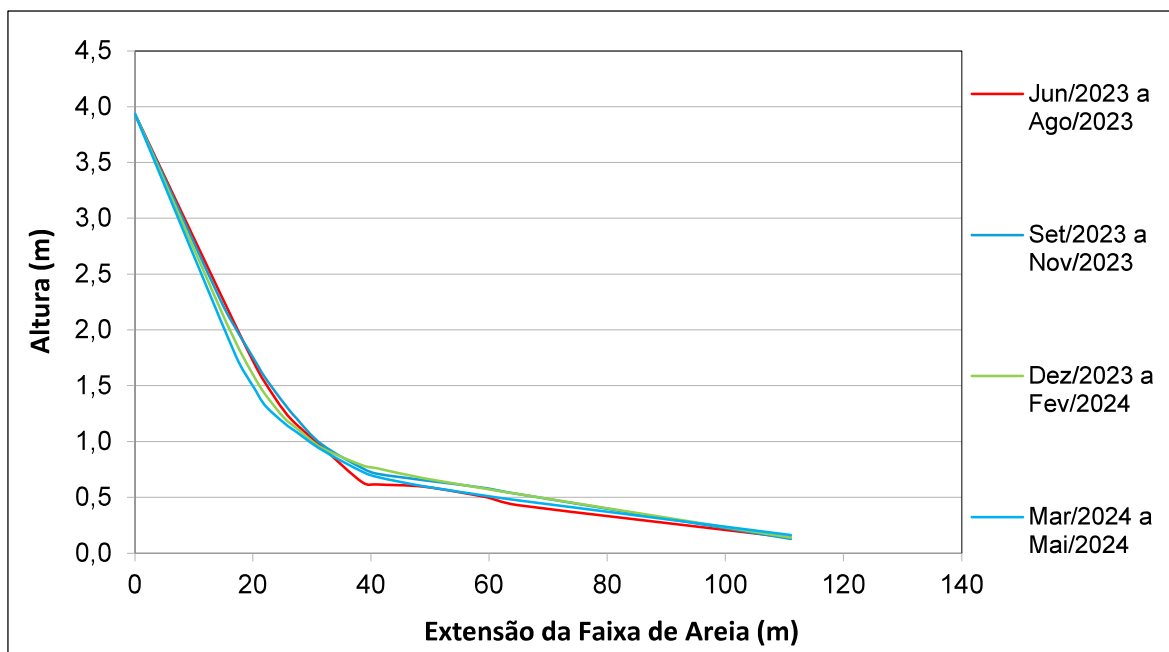
A Figura 24 mostra os perfis das curvas dos perfis praias trimestrais médias para o P2. Ao observarmos essa figura, percebe-se que entre o trimestre de junho a agosto e o de setembro a novembro, houve uma suave perda de sedimentos na zona de estirâncio. Esses resultados apontam que o P2 apresenta um suave ganho de sedimentos na zona de antepraia, evidenciando a dinâmica entre as zonas de uma praia. Esse processo se repetiu nos outros trimestres, até o de março a maio. Podemos destacar que, de acordo com os resultados obtidos, o P2 apresentou uma estabilidade no balanço sedimentar, durante o período da pesquisa.

Figura 23. Perfis topográficos praias mensais com as alturas e extensões de faixa de areia para o P2.



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados coletados em campo.

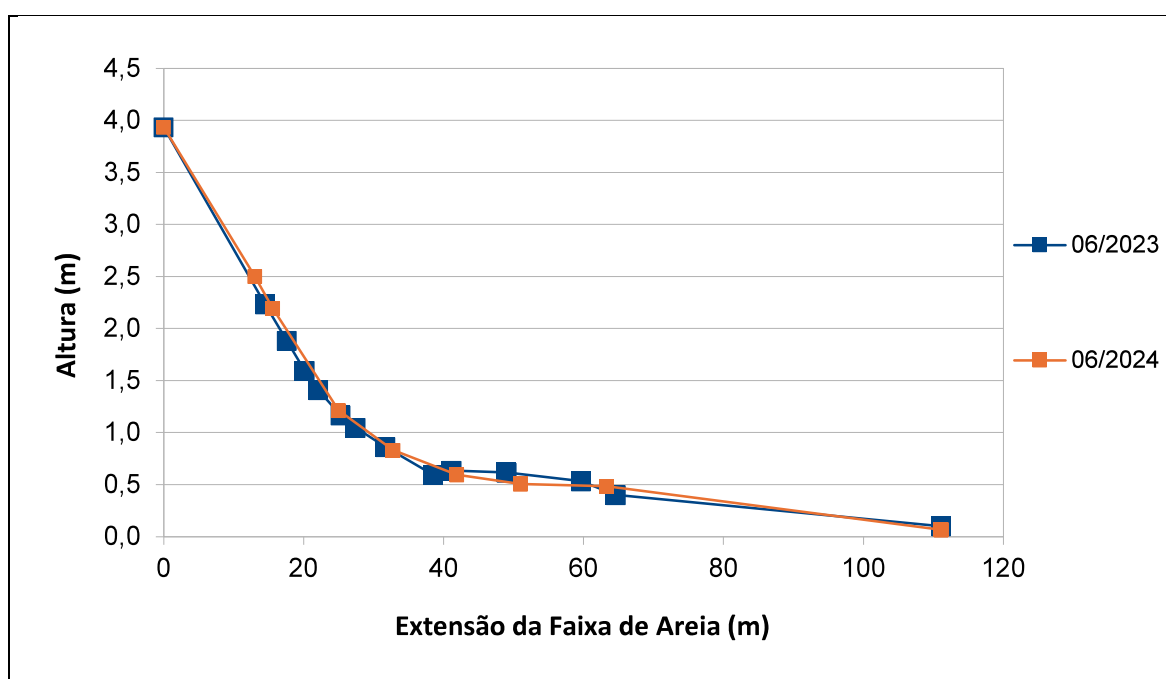
Figura 24. Perfis das curvas trimestrais médias para o P2.



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados coletados em campo.

A Figura 25 apresenta o comparativo entre os perfis topográficos do ponto P2 nos meses de junho de 2023 e junho de 2024. Observa-se que o perfil manteve padrão morfológico semelhante entre os períodos analisados, indicando estabilidade relativa da faixa praial. Pequenas variações na altura da superfície sugerem processos sutis de redistribuição sedimentar, possivelmente relacionados à dinâmica de ondas e marés sazonais. De modo geral, não há indícios significativos de erosão ou acreção no setor analisado.

Figura 25. Comparativo entre perfis do primeiro e último mês pesquisados para o P2.



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados coletados em campo.

6.2.3 Perfil topográfico transversal no P3

A Tabela 5 mostra os valores das declividades medidas em campo em cada mês monitorado para o P3. Os resultados obtidos mostram que a variação total foi de $5,5^\circ$, a média foi de $5,23^\circ$ e o desvio padrão foi de $\approx 1,52^\circ$. Em relação a declividade da zona de estirâncio nesse ponto da praia, de acordo com a Tabela 5, observamos que as maiores declividades ocorreram nos meses de junho, setembro outubro de 2023, bem como nos meses de abril e maio de 2024. Já as menores declividades ocorreram em agosto, novembro e dezembro de 2023, além de fevereiro, março e junho de 2024.

Tabela 5. Meses da pesquisa e suas respectivas declividades do P3.

Jun/ 23	Jul/ 23	Ago/ 23	Set/ 23	Out/ 23	Nov/ 23	Dez/ 23	Jan/ 24	Fev/ 24	Mar/ 24	Abr/ 24	Mai/ 24	Jun/ 24
8,5°	5°	5°	7°	7°	4°	3°	5°	3°	4°	6,5°	6°	4°

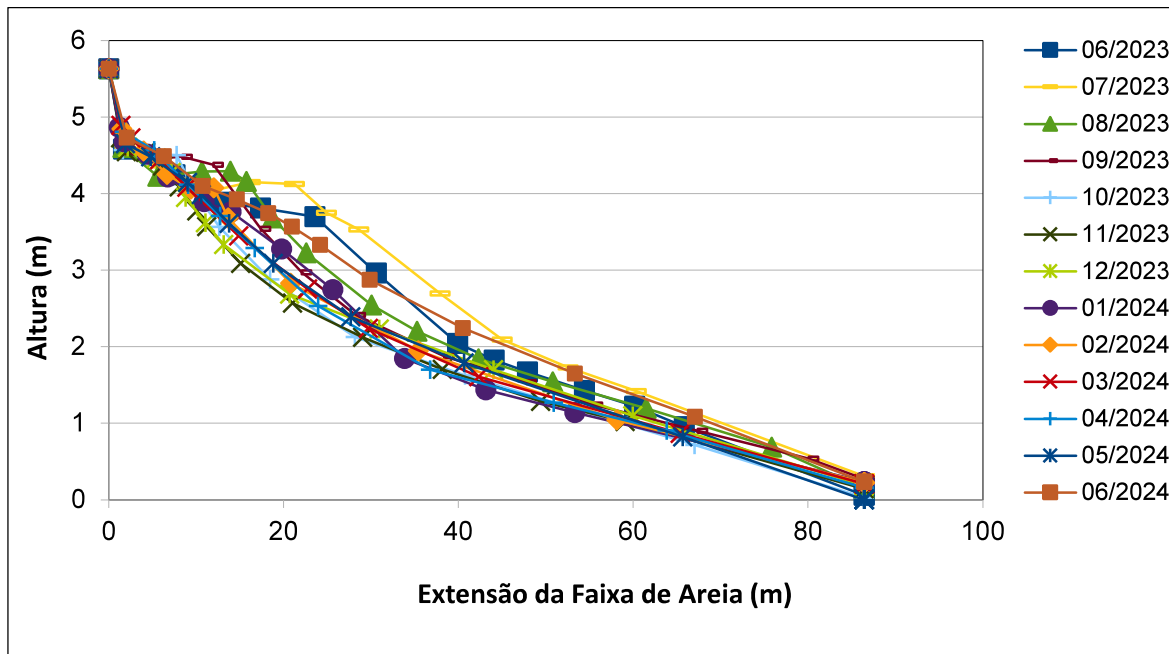
Fonte: Elaborada pelo autor com base nas declividades da zona de estirâncio coletadas.

A Figura 26 apresenta os perfis topográficos praias mensais com as alturas e extensões de faixa de areia para o P3. Nesse ponto ocorreu uma variação na largura da faixa de praia durante o período estudado entre 53 m (01/24) e 80 m (09/23). Em relação a dinâmica do perfil de praia, durante o período pesquisado, percebemos que houve uma variação considerável na zona de estirâncio fazendo a berma da praia, recuar durante alguns meses, em direção a uma pequena pós-praia, assim, ocorrendo uma variação da pós-praia de inexistente até 20 m de comprimento. Observa-se ainda, que essa variação ocorrida da zona de estirâncio, foi seguida, em menor proporção, pela zona de antepraia nesse local.

A Figura 27 mostra os perfis das curvas das médias trimestrais dos meses pesquisados no P3. Ao observarmos essa figura, percebemos que entre o trimestre de junho a agosto de 2023 e o trimestre de setembro a novembro de 2023, houve uma considerável perda de sedimentos, tanto na zona de estirâncio, quanto, em menor, proporção na zona de antepraia. Todavia, do trimestre de setembro a novembro de 2023, até o último trimestre de março a maio de 2024, percebe-se, que não ocorreu uma variação considerável, mantendo-se equilibrado. No entanto, vale ressaltar que no mês de Junho de 2024, houve uma recuperação no volume sedimentar.

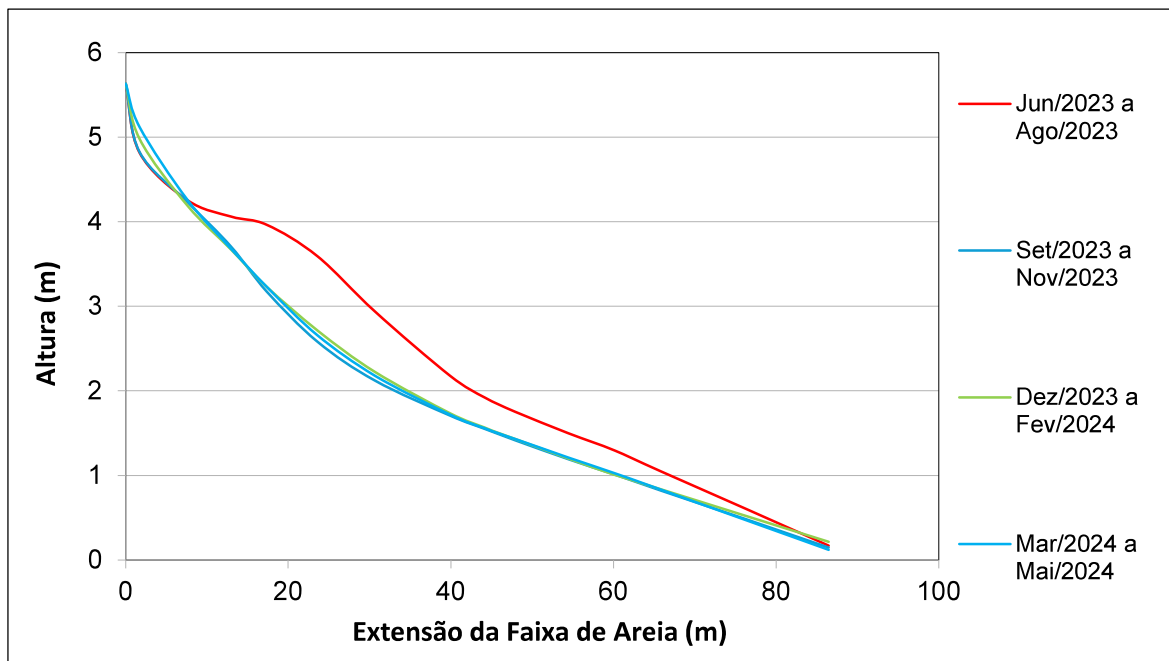
A Figura 28 apresenta o comparativo entre perfis do primeiro e último mês pesquisados para o P3. Analisando essa figura, percebemos que, apesar de ter havido uma perda sedimentar na zona de estirâncio, houve um ligeiro ganho sedimentar na antepraia desse ponto. Assim, observa-se que apesar de em quase todos os meses terem ocorrido uma perda de sedimentos, ao final (Junho de 2024), ocorreu um ganho, estabilizando e gerando um acréscimo ao final.

Figura 26. Perfis topográficos praias mensais com as alturas e extensões de faixa de areia para o P3.



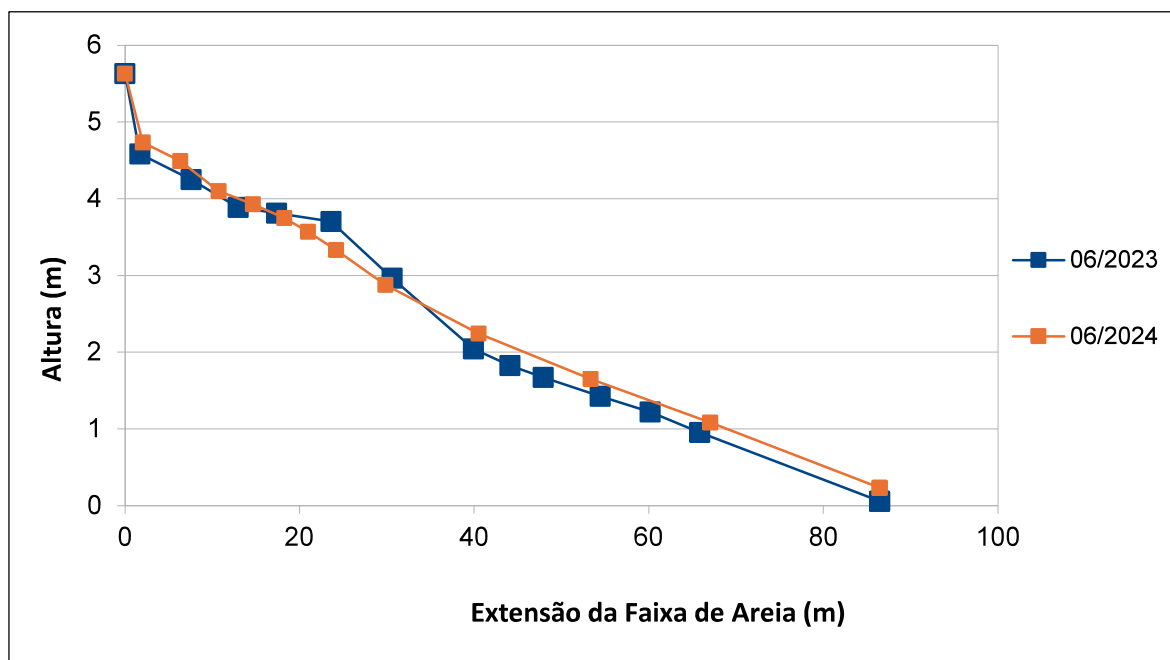
Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados coletados em campo.

Figura 27. Perfis das curvas das médias trimestrais dos meses pesquisados no P3.



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados coletados em campo.

Figura 28. Comparativo entre perfis do primeiro e último mês pesquisados para o P3.



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados coletados em campo.

6.2.4 Perfil topográfico transversal no P4

A Tabela 6 mostra os valores das declividades medidas em campo em cada mês monitorado para o P4. Os resultados obtidos mostram que esse ponto foi aquele com a maior declividade (variação total de 5° , média de $7,12^\circ$ e desvio padrão $\approx 1,51^\circ$). A declividade da zona de estirâncio nesse ponto da praia, de acordo com a Tabela 6, é maior nos meses de junho e outubro de 2023, bem como no período de março a junho de 2024. Já no período de novembro de 2023 a fevereiro de 2024 as declividades foram intermediárias (entre 6° e 7°). Em relação as menores declividades, ocorreram no período de julho a setembro de 2023.

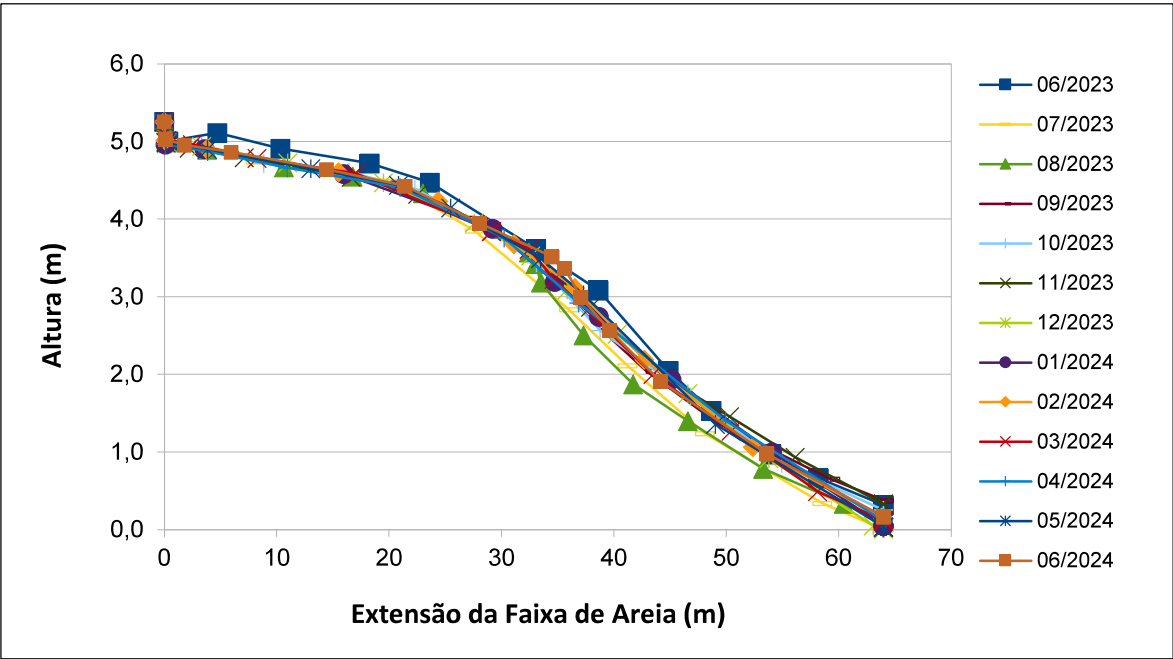
A Figura 29 apresenta os perfis topográficos praias mensais com as alturas e extensões de faixa de areia para o P4. Nesse ponto ocorreu uma variação durante o período estudado entre 49 m (05/24) e 60 m (08/23) aproximadamente, na largura da faixa de praia (calçada do bar até a linha da água). Nele houve uma pequena variação nas zonas de pós-praia e de estirâncio fazendo a berma da praia recuar em alguns meses, em relação ao continente. Nesse sentido, ocorreu uma variação na extensão da pós-praia entre 30 e 40 metros.

Tabela 6. Meses da pesquisa e suas respectivas declividades do P4.

Jun/ 23	Jul/ 23	Ago/ 23	Set/ 23	Out/ 23	Nov/ 23	Dez/ 23	Jan/ 24	Fev/ 24	Mar/ 24	Abr/ 24	Mai/ 24	Jun/ 24
10°	6°	5°	5°	9°	6,5°	6°	7°	6°	8°	8°	9°	7°

Fonte: Elaborada pelo autor com base nas declividades da zona de estirâncio coletadas.

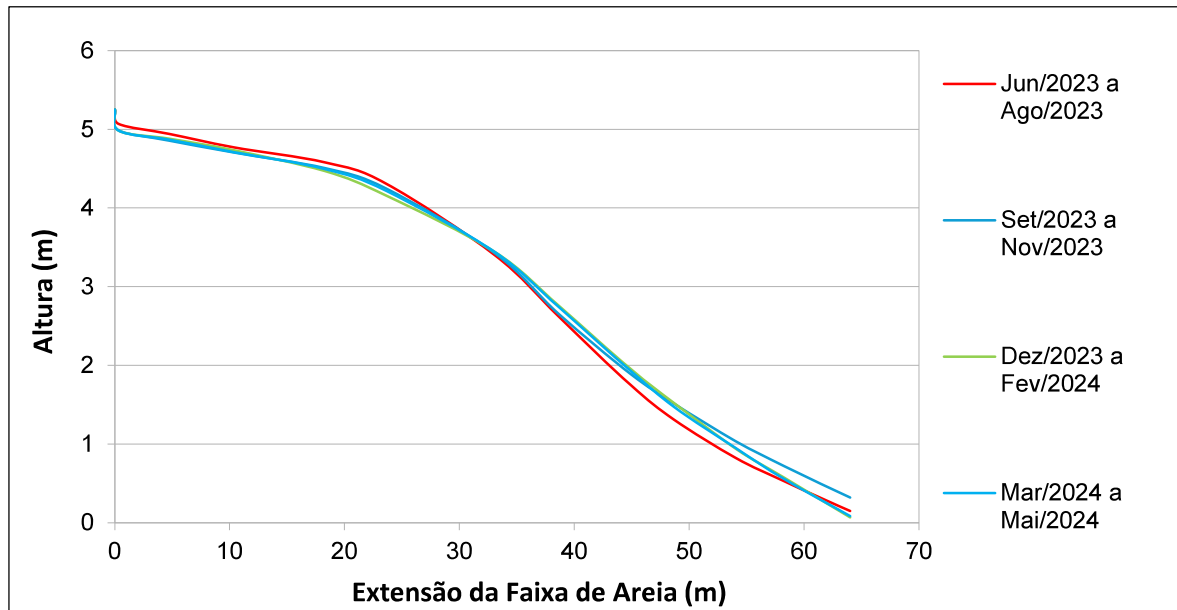
Figura 29. Perfis de todos os meses pesquisados no P4.



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados coletados em campo.

A Figura 30 mostra os perfis das curvas das médias trimestrais dos meses pesquisados no P4. Nota-se que as curvas médias trimestrais, entre junho e agosto de 2023 e setembro a novembro de 2023 apresentaram uma sensível perda de sedimentos, na zona de pós-praia, seguida de um leve ganho na zona de antepraia. Entretanto, do trimestre de setembro a novembro de 2023, até o último trimestre de março a maio de 2024, percebe-se, que a zona de pós-praia continuou rebaixada em relação ao primeiro trimestre, enquanto nas zonas de estirâncio e antepraia ocorreram um leve ganho no aporte sedimentar. Apesar do exposto, vale salientar que no mês de Junho de 2024, houve mais uma perda sedimentar na zona de estirâncio, deixando esse ponto com um saldo negativo.

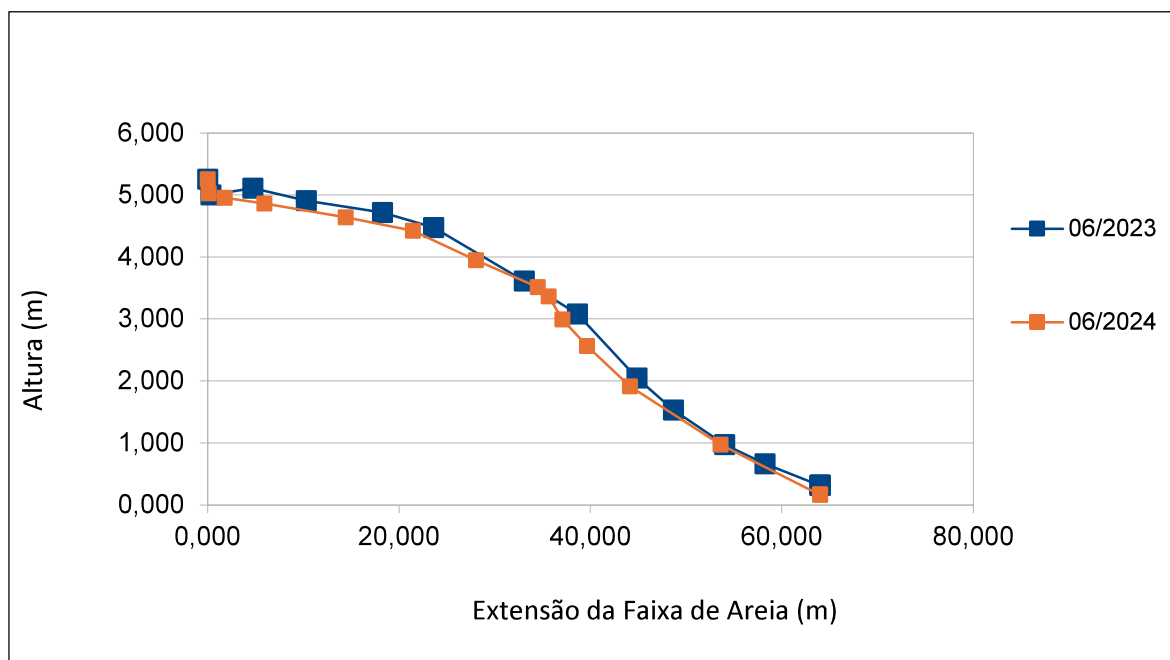
Figura 30. Perfis das curvas das médias trimestrais dos meses pesquisados no P4.



A Figura 31 apresenta a comparação entre os perfis topográficos transversais da faixa de areia no ponto P4, referentes aos meses de junho de 2023 e junho de 2024. Observa-se uma alteração significativa no relevo ao longo dos 12 meses analisados, principalmente entre as distâncias de 20 a 50 metros da linha de base. Em junho de 2023 (linha azul), o perfil demonstra uma maior elevação ao longo de quase toda a extensão medida, sugerindo uma condição mais estável da praia naquele momento. Já em junho de 2024 (linha laranja), há uma redução visível da altura em vários trechos, o que pode indicar processos de erosão costeira.

A diferença mais notável ocorreu entre 30 e 45 metros de extensão, onde a redução da altura do perfil é mais acentuada. Essa diminuição pode estar associada a fatores como aumento da energia das ondas, eventos extremos, mudanças no regime de marés, ou até interferência antrópica. A proximidade dos dois perfis no final da faixa (após 60 m) sugere um possível equilíbrio dinâmico mais próximo da zona de espriamento.

Figura 31. Comparativo entre perfis do primeiro e último mês pesquisados para o P4.



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados coletados em campo.

6.3 Balanço sedimentar mensal

6.3.1 Balanço sedimentar mensal no P1

Em relação ao balanço sedimentar mensal e o acumulado, mostrado na Tabela 7 e na Figura 32, podemos perceber, a variação positiva e negativa durante todo o ano da pesquisa. Em relação aos meses de junho a julho de 2023 percebemos que ocorreu uma perda de sedimentos de $-31,06 \text{ m}^3/\text{m}$, essa perda se repetiu no movimento acumulado, pois o parâmetro foi o mesmo (junho/2023). De julho a agosto de 2023 houve mais uma de $-10,42 \text{ m}^3/\text{m}$, isso fez com que a perda acumulada de sedimentos em relação a junho/2023 aumentasse para $-41,48 \text{ m}^3/\text{m}$.

Entre agosto e setembro de 2023 ocorreu mais uma perda de sedimentos de $-3,94 \text{ m}^3/\text{m}$, aumentando a perda acumulada para $-45,42 \text{ m}^3/\text{m}$. De setembro a agosto de 2023 obteve-se um acréscimo de $3,24 \text{ m}^3/\text{m}$ diminuindo, assim a perda acumulada para $-42,18 \text{ m}^3/\text{m}$. Entre outubro e novembro de 2023, aconteceu mais um acréscimo, dessa vez de $31,39 \text{ m}^3/\text{m}$, minimizando mais a diferença acumulada para $-10,79 \text{ m}^3/\text{m}$. Já de novembro a dezembro de 2023 aconteceu mais uma perda, dessa vez foi de $-7,11 \text{ m}^3/\text{m}$ elevando a perda acumulada para $-17,90 \text{ m}^3/\text{m}$.

Em relação ao período de dezembro de 2023 a janeiro de 2024, ocorreu mais um acréscimo $7,37 \text{ m}^3/\text{m}$, diminuindo a perda acumulada para $-10,53 \text{ m}^3/\text{m}$. Entre janeiro e

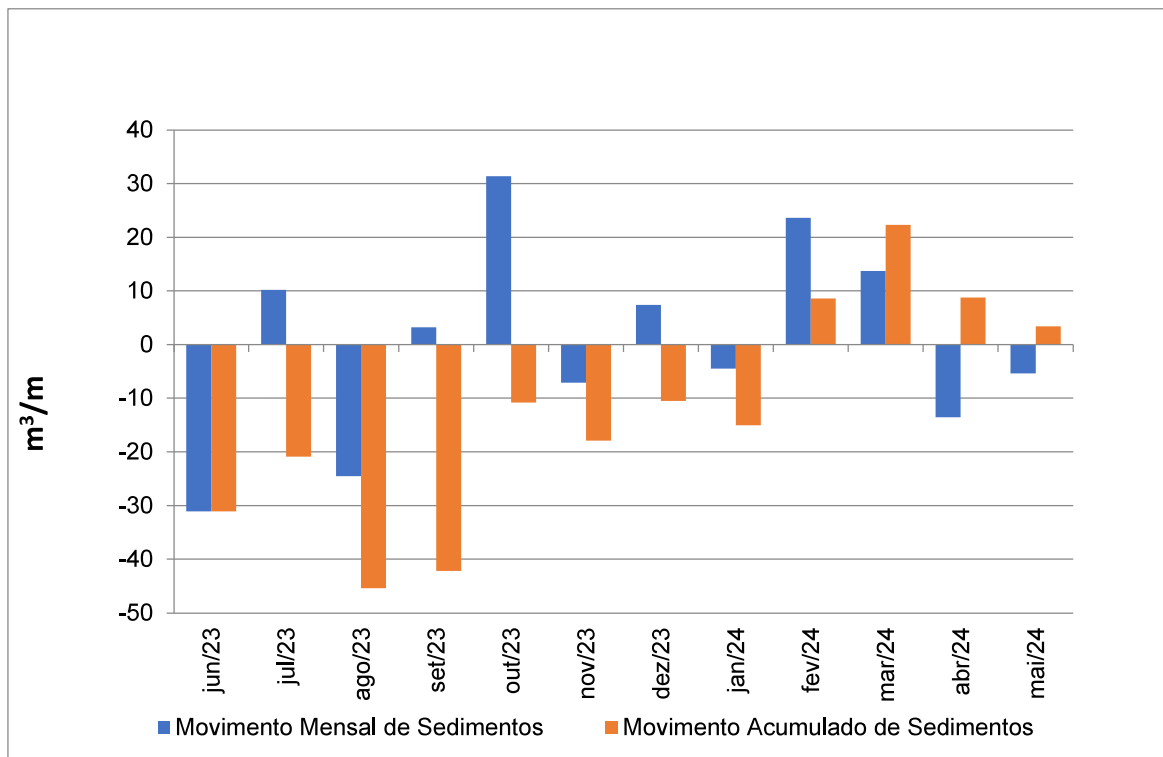
fevereiro de 2024, ocorreu uma pequena perda de $-4,49 \text{ m}^3/\text{m}$ elevando a acumulada para $-15,02 \text{ m}^3/\text{m}$. Entretanto, de fevereiro a março de 2024, houve um acréscimo significativo de $23,59 \text{ m}^3/\text{m}$ ocasionando um aumento no volume acumulado de sedimentos para $8,56 \text{ m}^3/\text{m}$.

De março a abril de 2024, aconteceu outro acréscimo, dessa vez de $13,73 \text{ m}^3/\text{m}$, gerando outro aumento no volume sedimentar acumulado, dessa vez ficando em $22,30 \text{ m}^3/\text{m}$. Já quando comparamos abril a maio de 2024, percebemos que voltou a ocorrer uma perda de sedimento de $-13,56 \text{ m}^3/\text{m}$, porém apesar da perda mensal, a acumulada continuou positiva, com $8,73 \text{ m}^3/\text{m}$. Por fim, quando comparamos maio a junho de 2024 apesar de haver uma perda no volume de sedimentos $-5,36 \text{ m}^3/\text{m}$, essa não foi suficiente para negativar o volume acumulado de sedimentos, ficando $3,38 \text{ m}^3/\text{m}$ de ganho no volume de sedimentos, nesse ponto.

Tabela 7. Movimento mensal e acumulado de sedimentos nos meses pesquisados.

Comparativo Mensal	Movimento Mensal de Sedimentos em m^3/m	Movimento Acumulado de Sedimentos em m^3/m
junho a julho/2023	$-31,06$	$-31,06$
julho a agosto/2023	$-10,42$	$-41,48$
agosto a setembro/2023	$-3,94$	$-45,42$
setembro a outubro/2023	$3,24$	$-2,18$
outubro a novembro/2023	$31,39$	$-10,79$
novembro a dezembro/2023	$-7,11$	$-17,90$
dezembro/2023 a janeiro/2024	$7,37$	$-10,53$
janeiro a fevereiro/2024	$-4,49$	$-15,02$
fevereiro a março/2024	$23,59$	$8,56$
março a abril/2024	$13,73$	$22,30$
abril a maio/2024	$-13,56$	$8,73$
maio a junho/2024	$-5,36$	$3,38$

Figura 32. Balanço sedimentar dos meses pesquisados no P1.



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados coletados em campo.

Contudo, percebemos de maneira geral que no período de setembro ocorreu uma maior perda de sedimentos em relação ao mês de outubro a novembro de 2023 que houve um aporte significativo no volume de sedimentos. Já o período de novembro de 2023 a fevereiro de 2024, não houve uma grande variação, variando um pouco o volume entre negativo e positivo. Entretanto, no período de fevereiro a abril de 2024 ocorreu um aporte positivo significativo no volume de sedimentos, fazendo com que o volume acumulado se tornar-se positivo. No período entre os meses de abril a junho de 2024 ocorreram sucessivas perdas no volume sedimentar, apesar disso, o balanço sedimentar acumulado continuou positivo, com uma acreção de 3,38 m³/m de junho de 2023 a junho de 2024. Devido a esse balanço sedimentar ter ficado positivo nesse ponto (P1), podemos dizer que, durante o período pesquisado, não ocorreu perda no volume em m³/m, mais sim um discreto ganho. Vale salientar que, nos meses que o balanço sedimentar ficou negativo nesse ponto, foi verificado, em campo, a presença de bancos de areia, intercalados por valas na zona da antepraia.

Comparando a Figura 32 com a Tabela 7, percebe-se que os meses que apresentaram as menores declividades da zona de estirâncio 3,5° e 3°, foram os de

dezembro/2023 e janeiro/2024 respectivamente (estação seca), neles o balanço sedimentar foi pouco expressivo. Já no período mais chuvoso as declividades foram superiores, variando entre 4° e 9,5°, ocorrendo também uma variação mais expressiva no balanço sedimentar. Essa relação é importante para o entendimento dos processos de dissipação e reflexão das ondas, pois, quanto menor for a declividade das zonas de estirâncio e da antepraia, maior será a dissipação enquanto a reflexão aumenta com a maior declividade nessas zonas, isso ocorre devido a transferência dos sedimentos entre a zona submersa e a praia (Albino, 1999).

Embasado na descrição do processo de reflexão de onda feita por Silva et. al. (2004), na qual ela ocorre quando a frente de onda atinge costões rochosos, falésias ou estruturas artificiais, a frente de onda é refletida interferindo diretamente nas que se aproximam em seguida. Bem como na descrição feita por Rossetti (2008), na qual as correntes de retorno levam os sedimentos na direção do mergulho da face de praia, assim, sucessivamente, as ondas em um padrão de zig-zag transportam o sedimento paralelamente à linha de costa.

Percebemos que um pouco ao sul do P1, as ondas de sudeste que chegam na base do mirante construído pela prefeitura de João Pessoa, ao colidirem com o mesmo, geram uma onda de reflexão, refletindo a sua energia, criando uma onda de retorno no sentido nordeste que, por sua vez, se choca com a outra onda de sudeste, que está chegando na costa. Isto, indica que, provavelmente, o transporte de sedimentos em zig-zag, está mais eficiente nessa área, justificando a discreta sedimentação nesse ponto, pouco mais ao norte.

6.3.2 Balanço sedimentar mensal no P2

Já no que tange ao balanço sedimentar mensal e o acumulado, mostrado na Tabela 8 e na Figura 33, podemos perceber, a discreta variação positiva e negativa durante todo o ano da pesquisa. Em relação aos meses de junho a julho de 2023 percebemos que houve um acréscimo sedimentar de 4,11 m³/m, essa perda se repetiu no movimento acumulado, pois o parâmetro foi o mesmo (junho/2023).

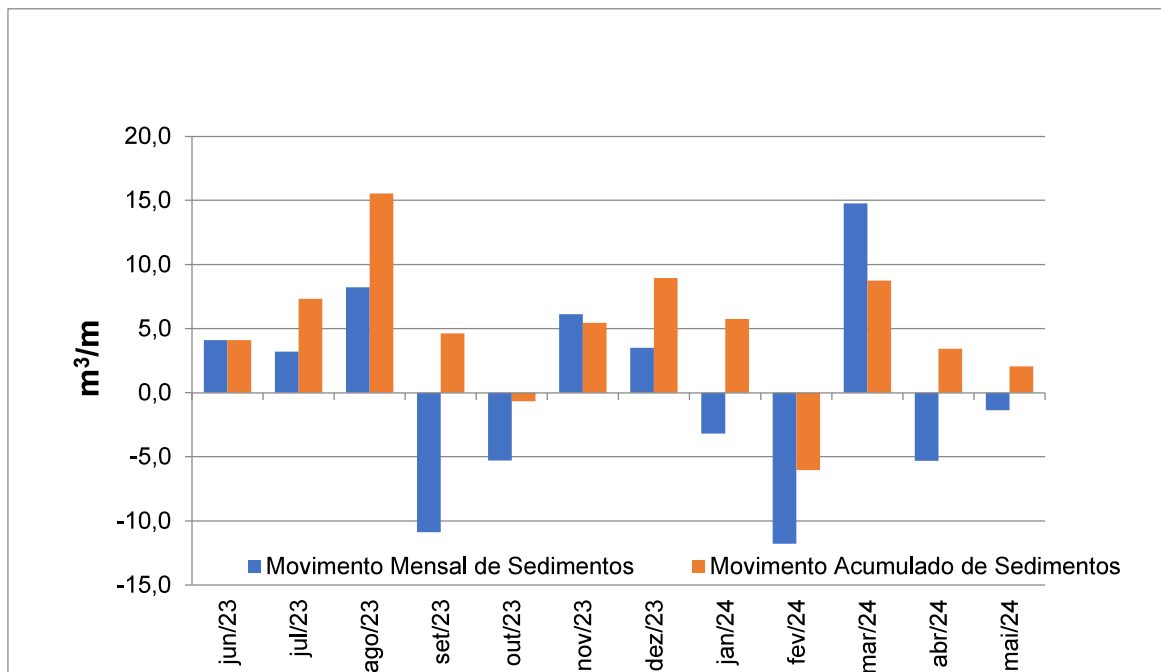
Quando comparamos os meses de julho a agosto de 2023, observamos que ocorreu mais um aumento sedimentar de 3,20 m³/m, elevando o aporte sedimentar acumulado para 7,31 m³/m. Entre os meses de agosto e setembro de 2023, ocorreu mais um acréscimo, dessa vez foi de 8,22 m³/m, elevando o ganho acumulado para 15,53 m³/m. Entretanto, quando analisamos o período de setembro a outubro de 2023, percebemos que ocorreu uma perda sedimentar de -10,89 m³/m, diminuindo o ganho acumulado para 4,63 m³/m.

Já entre os meses de outubro e novembro de 2023, houve mais um decréscimo sedimentar de $-5,30 \text{ m}^3/\text{m}$, isso gerou uma perda sedimentar acumulada de $-0,66 \text{ m}^3/\text{m}$. Porém, entre os meses de novembro e dezembro de 2023, houve um aporte sedimentar de $6,11 \text{ m}^3/\text{m}$, positivando mais uma vez, movimento acumulado para $5,45 \text{ m}^3/\text{m}$. Entre os meses de dezembro de 2023 e janeiro de 2024, ocorreu mais um acréscimo de $3,50 \text{ m}^3/\text{m}$, elevando mais um pouco o movimento acumulado para $8,95 \text{ m}^3/\text{m}$. No entanto, entre os meses de janeiro e fevereiro de 2024, ocorreu um pequeno decréscimo de $-3,20 \text{ m}^3/\text{m}$, porém, esse não foi capaz de negatizar o movimento acumulado que foi de $5,75 \text{ m}^3/\text{m}$. No tocante aos meses de fevereiro a março de 2024, houve uma perda sedimentar de $-11,79 \text{ m}^3/\text{m}$, acarretando uma perda acumulada no volume de sedimentos em $-6,03 \text{ m}^3/\text{m}$. Já entre os meses março e abril de 2024, houve um aporte sedimentar expressivo de $14,77 \text{ m}^3/\text{m}$, positivando o movimento acumulado mais uma vez em $8,74 \text{ m}^3/\text{m}$. Entre abril e maio de 2024 ocorreu uma perda sedimentar de $-5,31 \text{ m}^3/\text{m}$, ficando o movimento acumulado em $3,43 \text{ m}^3/\text{m}$. E por fim, entre os meses de maio e junho de 2024, apesar de ter havido uma perda no volume sedimentar de $-1,37 \text{ m}^3/\text{m}$, esta não foi capaz de negatizar o movimento acumulado que ficou positivo em $2,06 \text{ m}^3/\text{m}$.

Tabela 8. Movimento de sedimentos mensal e acumulado nos meses pesquisados.

Comparativo Mensal	Movimento mensal de sedimentos em m^3/m	Movimento acumulado de sedimentos em m^3/m
junho a julho/2023	4,11	4,11
julho a agosto/2023	3,20	7,31
agosto a setembro/2023	8,22	15,53
setembro a outubro/2023	-10,89	4,63
outubro a novembro/2023	-5,30	-0,66
novembro a dezembro/2023	6,11	5,45
dezembro/2023 a janeiro/2024	3,50	8,95
janeiro a fevereiro/2024	-3,20	5,75
fevereiro a março/2024	-11,79	-6,03
março a abril/2024	14,77	8,74
abril a maio/2024	-5,31	3,43
maio a junho/2024	-1,37	2,06

Figura 33. Valores do balanço sedimentar dos meses pesquisados no P2.



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados coletados em campo.

Assim, podemos perceber, na Figura 33, que de maneira geral no período de junho de 2023 a setembro de 2023 ocorreram apenas ganhos de sedimentos. Em relação ao período de setembro a novembro de 2023 houve uma perda no volume de sedimentos. Já o período de novembro de 2023 a janeiro de 2024, houve mais uma vez um acréscimo sedimentar. Entretanto, no período de janeiro a março de 2024 ocorreram perdas sucessivas no volume de sedimentos, fazendo com que o volume acumulado se tornar-se negativo. Porém, no período entre os meses de março a abril de 2024 ocorreu um considerável aumento no volume de sedimentos, positivando o balanço sedimentar acumulado. Entre abril e junho de 2024, houve mais perdas de sedimentos, no entanto, esta diminuição de volume, não foi capaz de negativar o balanço sedimentar acumulado, que ao final do período pesquisado, ficou em 2,06 m³/m. Assim, devido a esse balanço sedimentar ter ficado positivo nesse ponto (P 2), podemos afirmar que, durante o período pesquisado, não ocorreu perda no volume em m³/m, mais sim um leve ganho.

Essa certa estabilização, durante o período estudado nesse ponto, pode estar ligada a presença nessa área de *beach rocks* que de acordo com Souza (2022), são recifes rochosos naturais, formados em região intermarés onde ocorre uma grande ação biogênica, sendo de grande relevância para a dinâmica costeira, pois, como estão presentes em faces praias, são utilizados em estudos sobre evolução e problemas de erosão costeira por formarem uma

barreira natural que dissipa parte da energia das ondas. A presença do terraço de abrasão, também pode ter influenciado na estabilidade, durante o período abordado para os perfis, nessa área.

6.3.3 Balanço sedimentar mensal no P3

No que tange ao balanço sedimentar mensal e o acumulado, mostrado na Tabela 9 e na Figura 34, em relação aos meses de junho a julho de 2023, percebemos que houve um acréscimo sedimentar de $21,64 \text{ m}^3/\text{m}$. No entanto, quando comparamos os meses de julho a agosto de 2023, observamos que ocorreu uma perda sedimentar $-25,02 \text{ m}^3/\text{m}$ e $-3,38 \text{ m}^3/\text{m}$ no acumulado. Entre os meses de agosto e setembro de 2023, ocorreu mais uma perda, dessa vez foi de $-8,27 \text{ m}^3/\text{m}$, rebaixando ainda mais o movimento acumulado para $-11,65 \text{ m}^3/\text{m}$.

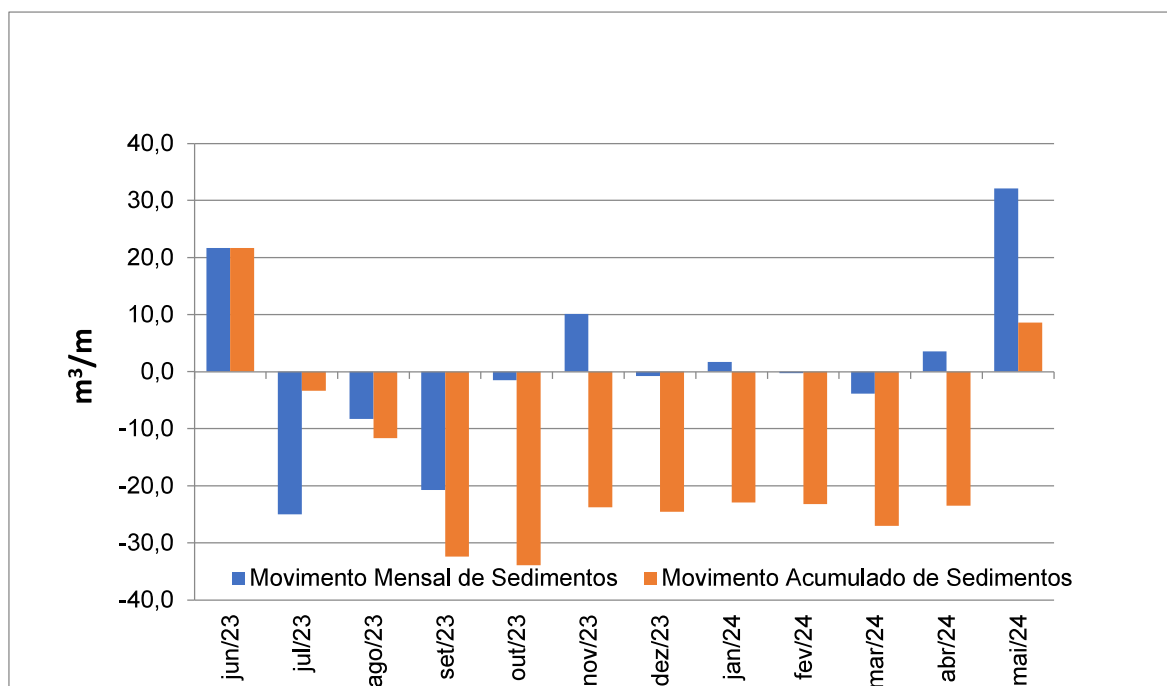
Quando analisamos o período de setembro a outubro de 2023, percebemos que ocorreu mais uma perda sedimentar de $-20,76 \text{ m}^3/\text{m}$, diminuindo ainda mais o movimento acumulado para $-32,41 \text{ m}^3/\text{m}$. Entre os meses de outubro e novembro de 2023, houve mais um decréscimo sedimentar de $-1,50 \text{ m}^3/\text{m}$, isso elevou a perda sedimentar acumulada para $-33,92 \text{ m}^3/\text{m}$. Porém, entre os meses de novembro e dezembro de 2023, houve um aporte sedimentar de $10,12 \text{ m}^3/\text{m}$, diminuindo a perda sedimentar do movimento acumulado para $-23,80 \text{ m}^3/\text{m}$.

Entre os meses de dezembro de 2023 e janeiro de 2024, ocorreu mais uma perda de $-0,80 \text{ m}^3/\text{m}$, aumentando, mais um pouco, a diferença do movimento acumulado para $-24,59 \text{ m}^3/\text{m}$. No entanto, entre os meses de janeiro e fevereiro de 2024, ocorreu um pequeno acréscimo de $1,68 \text{ m}^3/\text{m}$, porém, esse não foi capaz de positivar o movimento acumulado que foi de $-22,91 \text{ m}^3/\text{m}$. Já nos meses de fevereiro a março de 2024, houve uma discreta perda sedimentar de $-0,30 \text{ m}^3/\text{m}$, acarretando uma perda acumulada no volume de sedimentos em $-23,21 \text{ m}^3/\text{m}$. Entre os meses março e abril de 2024, houve mais uma pequena perda sedimentar de $-3,85 \text{ m}^3/\text{m}$, negativando, ainda mais o movimento acumulado em $-27,05 \text{ m}^3/\text{m}$. Já entre abril e maio de 2024 ocorreu um aporte sedimentar na ordem de $3,57 \text{ m}^3/\text{m}$, ficando o movimento acumulado em $-23,48 \text{ m}^3/\text{m}$. E por fim, entre os meses de maio e junho de 2024, ocorreu um considerável aporte sedimentar de $32,08 \text{ m}^3/\text{m}$, positivando o movimento acumulado que ficou em $8,60 \text{ m}^3/\text{m}$ havendo assim, uma sedimentação nesse ponto durante período pesquisado.

Tabela 9. Movimento de sedimentos mensal e acumulado no período da pesquisa.

Comparativo Mensal	Movimento mensal de sedimentos em m ³ /m	Movimento acumulado de sedimentos em m ³ /m
junho a julho/2023	21,64	21,64
julho a agosto/2023	-25,02	-3,38
agosto a setembro/2023	-8,27	-11,65
setembro a outubro/2023	-20,76	-32,41
outubro a novembro/2023	-1,50	-33,92
novembro a dezembro/2023	10,12	-23,80
dezembro/2023 a janeiro/2024	-0,80	-24,59
janeiro a fevereiro/2024	1,68	-22,91
fevereiro a março/2024	-0,30	-23,21
março a abril/2024	-3,85	-27,05
abril a maio/2024	3,57	-23,48
maio a junho/2024	32,08	8,60

Figura 34. Valores do balanço sedimentar dos meses pesquisados no P3.



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados coletados em campo.

Analisando de uma maneira mais ampla, podemos perceber na Figura 34 que, em praticamente todos os meses do ano, houve uma perda sedimentar, excetuando-se os meses de junho a julho de 2023, novembro a dezembro de 2023 e janeiro a fevereiro de 2024, abril a maio de 2024, além dos últimos meses da pesquisa (maio a junho de 2024), onde ocorreu um ganho considerável de sedimentos, positivando até o movimento acumulado final. Nesse

sentido, podemos relatar que ao final do período pesquisado, houve um acréscimo de 8,60 m³/m nesse ponto.

Esse acréscimo pode estar correlacionado segundo Souza (2023), a presença do ambiente recifal nessa área, ele gera uma área abrigada em relação as ondas maiores nesse ponto. Os processos de refração e difração ocasionados pelos recifes, são muito relevantes para a dinâmica costeira local, evidenciando a acreção ocorrida nesse ponto.

6.3.4 Balanço sedimentar mensal no P4

Quando observamos o balanço sedimentar mensal e o acumulado, mostrado na Tabela 10 e na Figura 35, podemos indagar que em relação aos meses de junho a julho de 2023, houve uma perda sedimentar de -19,61 m³/m. Entretanto, quando comparamos os meses de julho a agosto de 2023, observamos que ocorreu um pequeno acréscimo sedimentar de 1,18 m³/m diminuindo a perda acumulada para -18,43 m³/m.

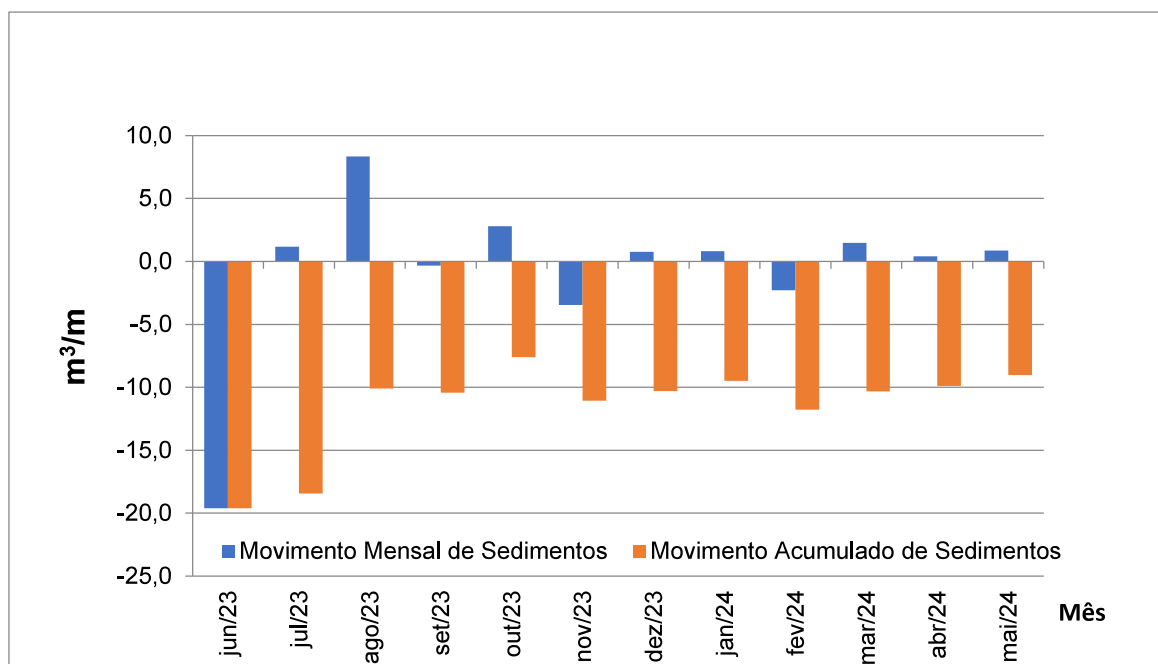
Entre os meses de agosto e setembro de 2023, ocorreu mais um ganho, dessa vez foi de 8,34 m³/m, minimizando ainda mais a diferença do movimento acumulado para -10,09 m³/m. Quando analisamos o período de setembro a outubro de 2023, percebemos que ocorreu uma pequena perda sedimentar de -0,32 m³/m, deixando o movimento acumulado -10,42 m³/m. Entre os meses de outubro e novembro de 2023, houve um acréscimo sedimentar de 2,81 m³/m, isso diminuiu a diferença acumulada para -7,61 m³/m. Porém, entre os meses de novembro e dezembro de 2023, ocorreu mais uma perda sedimentar de -3,46 m³/m, aumentando a perda sedimentar do movimento acumulado para -11,07 m³/m. Entre os meses de dezembro de 2023 e janeiro de 2024, ocorreu um pequeno ganho de 0,76 m³/m, minimizando um pouco, a diferença do movimento acumulado que ficou em -10,31 m³/m.

Entre os meses de janeiro e fevereiro de 2024, ocorreu mais um pequeno acréscimo de 0,81 m³/m, deixando o movimento acumulado em -9,50 m³/m. Já nos meses de fevereiro a março de 2024, houve uma perda sedimentar de -2,29 m³/m, aumentando assim a perda acumulada no volume de sedimentos em -11,78 m³/m. Nos meses seguintes de março e abril de 2024, abril e maio de 2024 e de maio e junho de 2024, ocorreram pequenos ganhos de 1,46 m³/m, 0,41 m³/m e 0,86 m³/m respectivamente, porém esses ganhos, não foram suficientes para deixar o balanço acumulado positivo, fechando em -9,04 m³/m.

Tabela 10. Movimento de sedimentos mensal e acumulado durante os meses da pesquisa.

Comparativo Mensal	Movimento mensal de sedimentos em m ³ /m	Movimento acumulado de sedimentos em m ³ /m
junho a julho/2023	-19,61	-19,61
julho a agosto/2023	1,18	-18,43
agosto a setembro/2023	8,34	-10,09
setembro a outubro/2023	-0,32	-10,42
outubro a novembro/2023	2,81	-7,61
novembro a dezembro/2023	-3,46	-11,07
dezembro/2023 a janeiro/2024	0,76	-10,31
janeiro a fevereiro/2024	0,81	-9,50
fevereiro a março/2024	-2,29	-11,78
março a abril/2024	1,46	-10,32
abril a maio/2024	0,41	-9,90
maio a junho/2024	0,86	-9,04

Figura 35. Balanço sedimentar dos meses pesquisados no P4.



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados coletados em campo.

Diante do exposto, podemos perceber na Figura 35, que entre os meses de junho a julho de 2023, houve uma grande perda sedimentar, já nos meses seguintes ocorreram ganhos e perdas. Entretanto, essa movimentação não foi suficiente para deixar o balanço acumulado positivo. Contudo, podemos salientar que, apesar da proximidade com a

desembocadura do Rio Cabelo e de uma zona de pós-praia maior que a dos outros pontos, ao final do período pesquisado, houve uma perda sedimentar de $-9,04 \text{ m}^3/\text{m}$ nesse ponto.

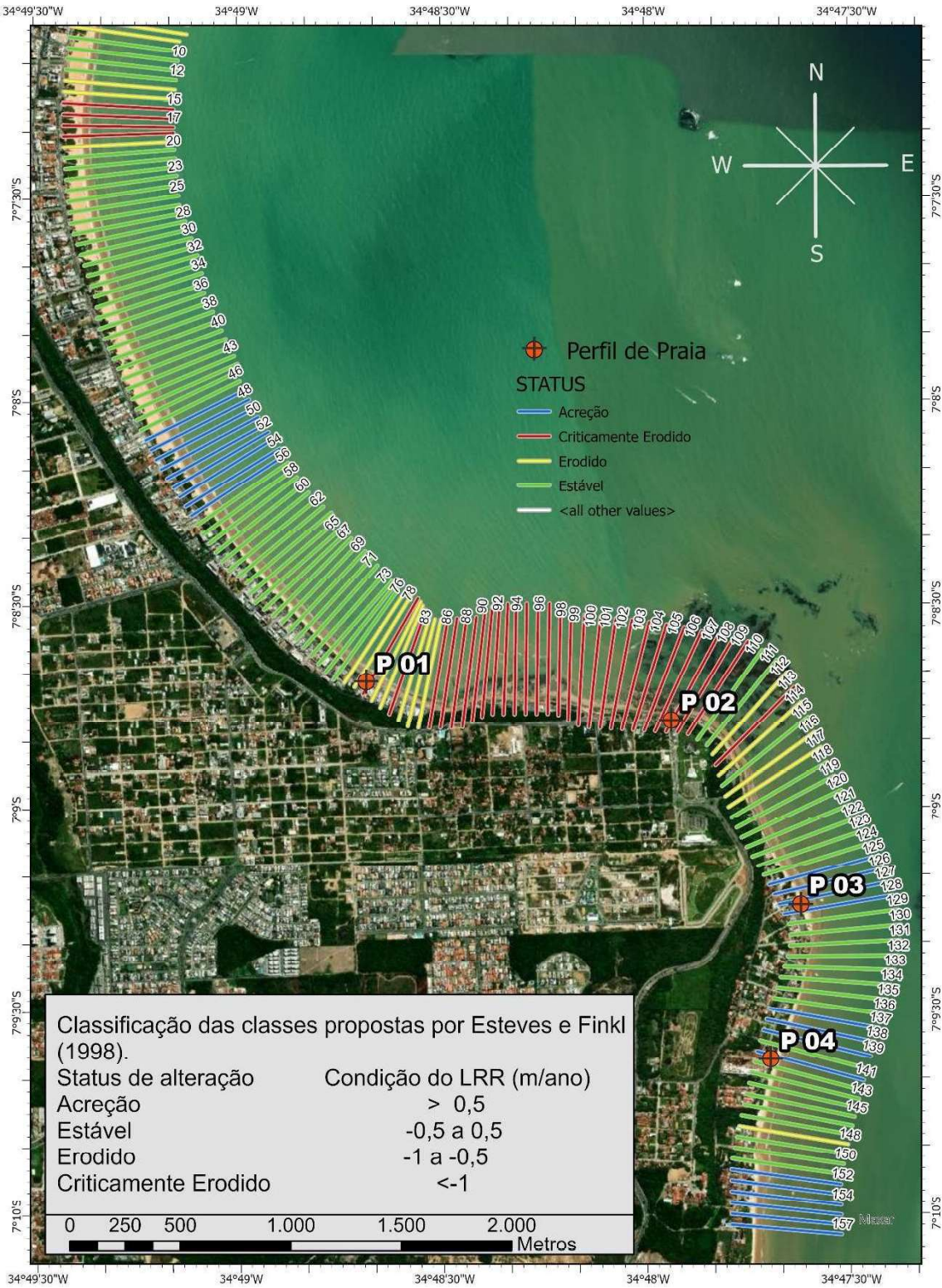
6.4 Análise do deslocamento da linha de costa

6.4.1 Análise da linha de costa a curto prazo 2016 a 2024

A Figura 36 apresenta a distribuição espacial dos transectos na área do estudo entre os anos de 2016 e 2024 e a localização dos perfis topográficos de praia. Os resultados indicando que os transectos de 10 a 76 foram aqueles que apresentaram uma tendência predominante a estabilidade. Esses resultados podem ser explicados, de acordo com Segar (1998), no qual relata que, a refração das ondas ocorre de acordo com a geomorfologia das praias. Já nos transectos de 77 até 110 existe uma tendência predominante a erosão, que pode estar associada a magnitude das ondas. Além disso, o processo de refração das ondas gera uma zona de alta energia nesse local. Já nos transectos de 111 ao 125, observa-se uma tendência predominante a estabilidade, enquanto nos transectos de 126 a 129, por estarem em uma região protegida pelo ambiente recifal, verifica-se uma tendência a acreção. Em relação aos transectos que variam do 130 até o 158, por estarem em uma área mais retilínea de praia com a presença de uma pequena pós-praia, percebe-se uma predominância a estabilidade e a acreção.

Quando comparamos os resultados de variação da linha de costa das praias do Seixas e Cabo Branco, com os transectos construídos pelo DSAS, através das imagens de 2016 a 2024 geradas pelo CASSIE (Figura 36), percebe-se que, apesar de períodos distintos, houve um padrão de equilíbrio na sedimentação, principalmente, na porção Norte da enseada do Cabo Branco. Esses resultados podem ser explicados provavelmente, devido a essa área receber os sedimentos que migraram da ponta e do início da mesma enseada, em direção a porção Norte, em virtude do padrão da corrente de deriva litorânea.

Figura 36. Mapa com as tendências dos transectos representando o deslocamento da linha de costa entre 2016 e 2024.



Em relação ao setor localizado entre os transectos 126 e 129 (Pontal dos Seixas), percebe-se uma correlação entre a tendência de acreção, com o perfil 3, gerado através do SMC, que mostra o transporte médio de sedimentos nessa área, sendo o único a ficar positivo. Com relação a parte mais retilínea da praia do Sexas, percebe-se, tanto na hidrodinâmica da área, quanto nos transectos uma complexidade dos processos. Nesse contexto, percebe-se que a morfologia das praias e a presença do ambiente recifal, influenciam diretamente nas tendências naturais de sedimentação e erosão da área.

Outros trabalhos como os de Massei (2019) e Souza (2023), enfatizam que a presença do ambiente recifal nessa área gera uma área abrigada em relação as ondas maiores. Assim, dos transectos 111 até o 158 os processos de refração e difração ocasionados pelos recifes influenciam diretamente na dinâmica costeira dessa área. Quando comparamos a localização dos perfis topográficos transversais de praia nos respectivos transectos que representam o comportamento da linha de costa na qual estão inseridos, percebemos que tanto o P1, quanto o P2 estão inseridos em uma área propícia a erosão, porém durante o período de análise deles não ocorreu a perda de sedimentos e sim um leve ganho. Contudo, vale ressaltar que a prefeitura fez uma obra de um mirante em 2023 ao sul do P1, e o enrocamento concluído no ano de 2020 onde está inserido o P2. Assim, como estas obras são recentes, podem ter influenciado diretamente na leve acreção destes perfis. Também não podemos desprezar a possibilidade de uma atipicidade do período no qual foram analisados os perfis.

Em relação a localização do P3 no mapa dos transectos, podemos indagar que, tanto a análise do perfil quanto os transectos demonstram, uma tendência a sedimentação nesse ponto. Já quando comparamos a localização do P4 com o mapa dos transectos, percebe-se que apesar dele está em uma área estável de acordo com os transectos gerados na CASSIE, durante o período abordado nesta pesquisa, ele foi o único perfil que apresentou a perda de sedimentos.

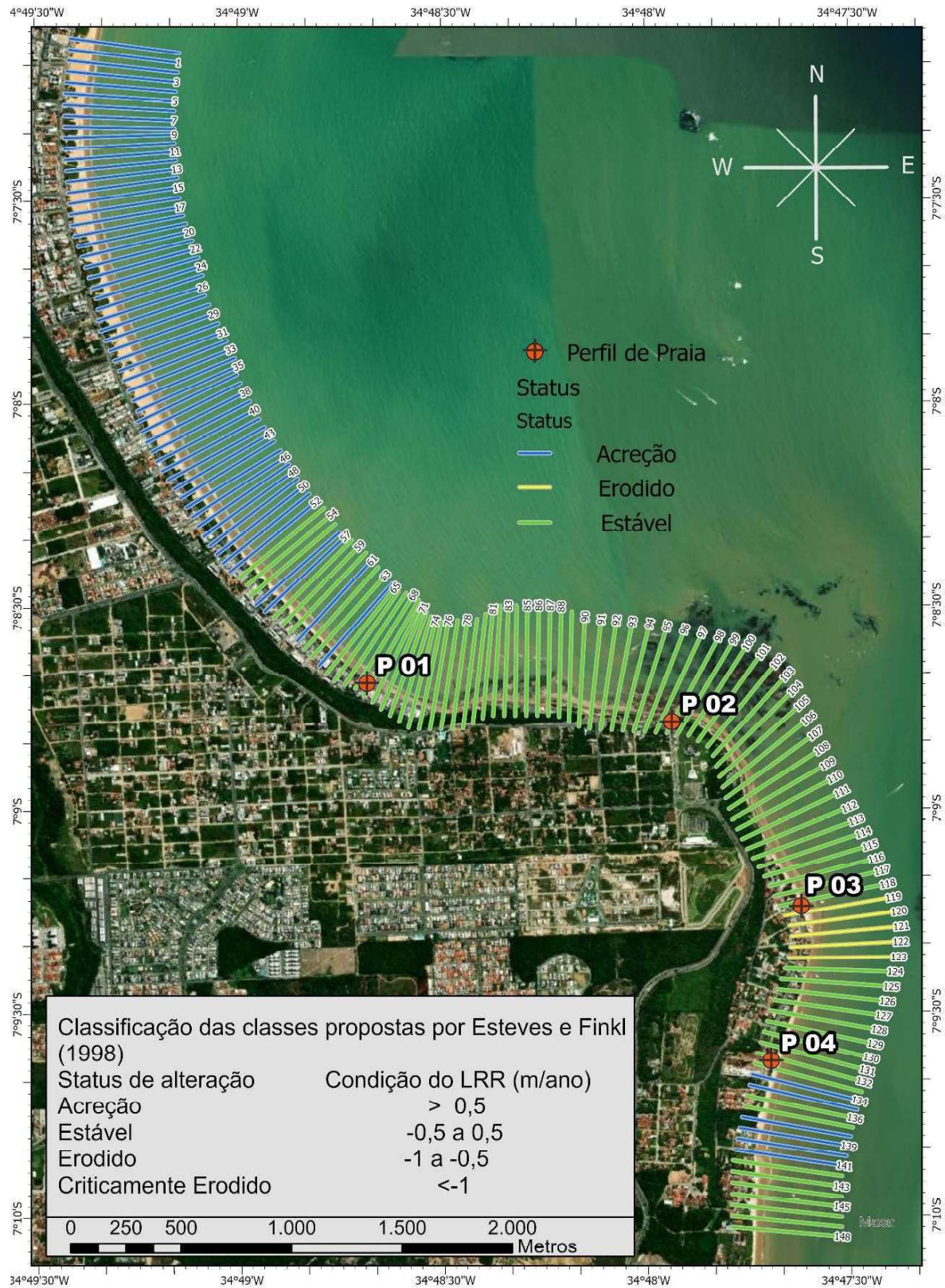
6.4.2 Análise da linha de costa a longo prazo 1984 a 2025

De acordo com trabalhos realizados por Santos et al. (2021), as imagens de satélite são valiosas para análises multi-temporais devido às suas características de dados sinóticos e repetidos, resoluções multiespectrais e espaciais, além do seu potencial para medir e diferenciar a interface terra e mar, as características geofísicas e para distinguir mudanças costeiras. A Figura 37, apresenta as tendências dos transectos de 0 a 148, em relação aos

anos de 1984 a 2025, a partir dela, podemos caracterizar as tendências de cada transecto, assim, do transecto 0 ao 52, observa-se uma tendência a acreção, em relação a área entre os transectos 53 e o 64, ocorre um predomínio da estabilidade, apesar dos transectos 56, 57, 61 e o 64 apresentarem uma tendência a acreção. Em relação ao setor onde estão os transectos 65 ao 118, ocorre uma tendência a estabilidade, já do 119 ao 123 observa-se uma tendência erosiva. Na área que vai dos transectos 124 até o 148 ocorreu um predomínio a estabilidade, excetuando-se os setores onde estão localizados os transectos (134 ao 135) e (138 ao 141), onde percebe-se uma tendência a acreção.

Quando comparamos esses transectos da Figura 37, com a respectiva localização dos perfis transversais de praia, percebemos que tanto o P1, quanto o P2 estão inseridos em uma área propícia a estabilidade, porém durante o período de análise deles ocorreu um leve ganho de sedimentos. Em relação ao P3, apesar de ter sedimentado no período de um ano, está inserido em uma área com uma tendência de erosão a estabilidade. Já o perfil P4, apresentou erosão durante um ano, porém está localizado em uma área de transectos com tendência a estabilidade.

Figura 37. Variabilidade da linha de costa baseada nos transectos entre os anos de 1984 a 2025.



6.4.3 Comparativo entre os deslocamentos de linha de costa de curto prazo para diferentes produtos

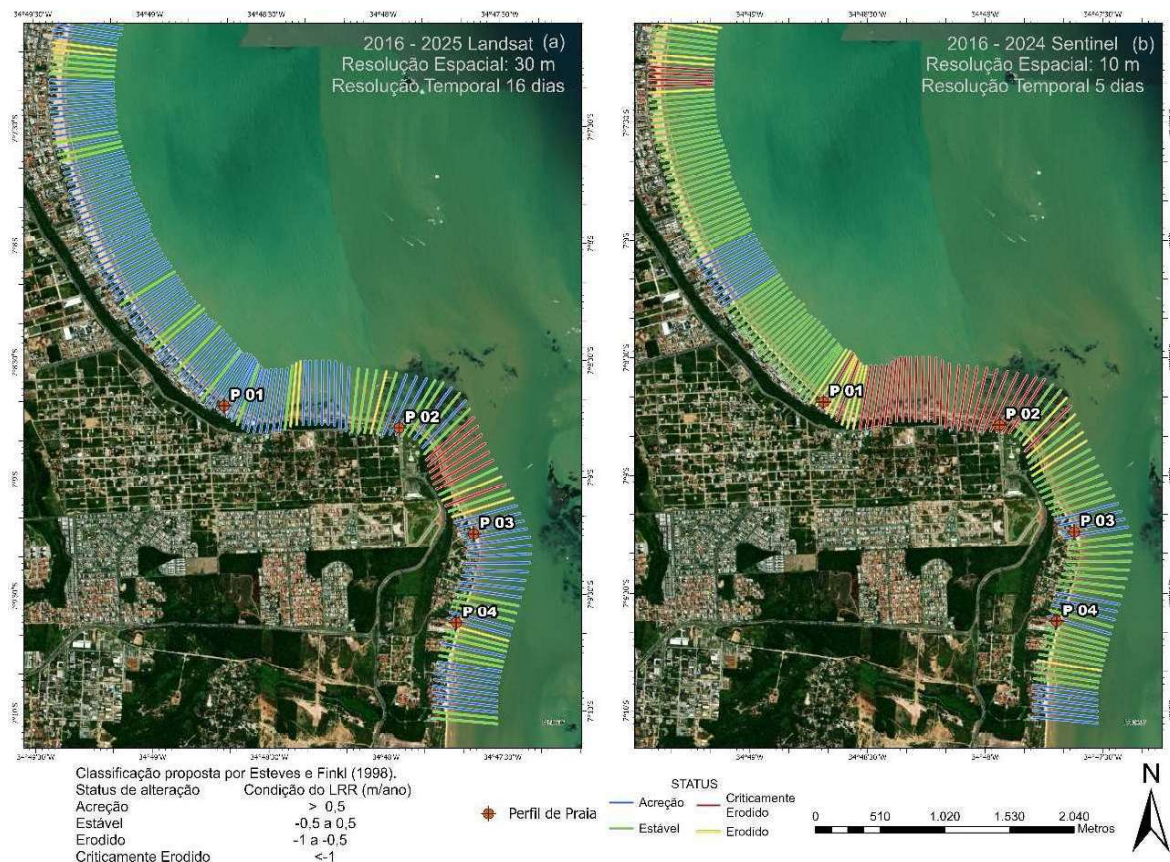
A comparação entre as linhas de costa obtidas a partir das imagens Landsat (2016–2025), processadas no DSAS, e aquelas derivadas das imagens Sentinel (2016–2024), geradas pela plataforma CASSIE (Figuras 38a–b), evidencia diferenças significativas, sobretudo nos setores onde estão localizados os perfis (P1 e P2).

Na Figura 38a, o local onde estão inseridos o (P1 e o P2) evidencia uma tendência a acreção, já em relação a Figura 38b, nesse mesmo setor, ocorre uma tendência erosiva e criticamente erosiva. Já em relação ao local onde está inserido o P3, observa-se uma tendência a acreção em ambos os mapas. No setor da praia do Seixas onde está localizado o P4 na Figura 39a demonstra uma tendência a acreção, apesar da proximidade com um transecto ao Sul com tendência a erosão, na Figura 38b esse mesmo local, apresenta uma tendência semelhante (acreção). Em relação a enseada da praia do Cabo Branco, a Figura 38a, demonstra uma tendência predominante a acreção, enquanto, a Figura 38b apresenta uma predominância a estabilidade.

Já comparando a Figura 38a, com o balanço sedimentar apresentado pelos quatro perfis topográficos gerados em campo, percebe-se que os perfis (P1, P2 e P3), correspondem as tendências dos transectos (acreção), pois foram positivos. Entretanto, em relação a Figura 38b, apenas o (P3) apresentou característica semelhante ao transecto (acreção), ficando positivo. No que tange ao balanço sedimentar do (P4), único que ficou negativo, os transectos das Figuras 38a–b demonstram um a tendência a acreção e a estabilidade, contrariando o medido em campo.

Essas discrepâncias estão associadas, em grande parte, às diferenças na resolução espacial (30 m para Landsat e 10 m para Sentinel) e temporal (16 dias e 5 dias, respectivamente), que influenciam diretamente a precisão geométrica e a capacidade de detecção de variações locais. Enquanto os dados Landsat expressam tendências mais generalizadas de avanço e recuo, os resultados Sentinel revelam padrões mais detalhados e localizados, permitindo identificar com maior sensibilidade setores críticos de erosão e zonas de estabilidade recente.

Figura 38. Mapa mostra um comparativo entre os transectos dos dois mapas gerados com imagens de diferentes satélites Sentinel (2016 a 2024) e Landsat (2016 a 2024).



As Figuras 39a–d apresenta o mapa comparativo entre a localização dos perfis topográficos e o recuo ou avanço da faixa de praia em relação aos anos de 2016 e 2024. Ao analisarmos essas figuras, percebe-se que no ponto onde está localizado o P1, ocorreu uma diminuição na faixa de praia em aproximadamente 11 m. Em relação ao P2, houve também uma perda na faixa de praia em torno de 7,5 m. Já em relação ao perfil 3 e ao P4, observamos que ocorreu um acréscimo na faixa de praia em aproximadamente 12 m e 17 m, respectivamente. Assim, pode-se concluir através da comparação entre as linhas de costa de 2016 e 2024, houve um recuo nos dois primeiros pontos de perfil topográfico localizados na praia do Cabo Branco e um acréscimo nos dois últimos pontos localizados na praia do Seixas. Contudo, apenas o ponto onde está localizado o P3, apresentou uma correlação entre a ganho de sedimento e de faixa de praia, a comparação entre os respectivos volumes de sedimentos perdidos ou ganhos nos perfis 1, 2 e 4, não correspondeu ao avanço e ao recuo das linhas de costa analisadas nesses pontos. Nesse sentido, vale ressaltar que, os períodos distintos entre

a observação dos perfis topográficos e as linhas de costa pode gerar essas contradições na análise.

Figura 39. Comparação entre a localização dos perfis topográficos e a variabilidade da linha de costa para os anos de 2016 e 2024.



7. DISCUSSÃO

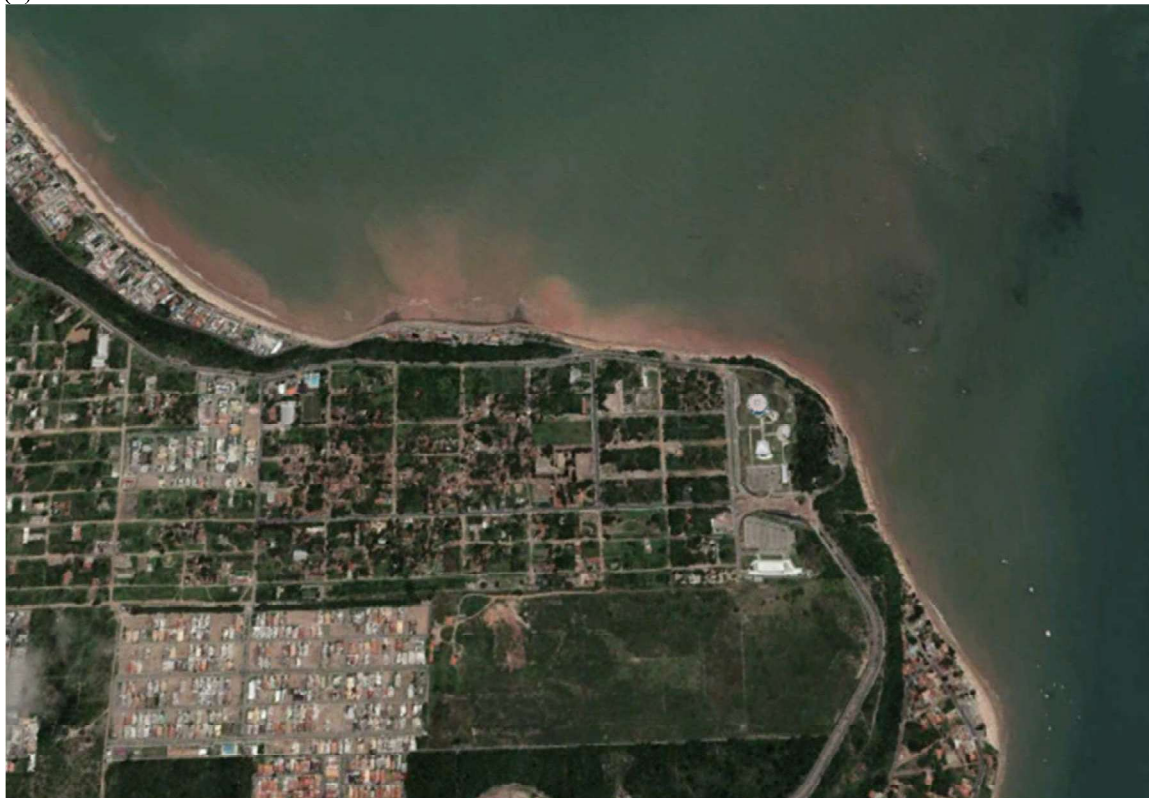
7.1 Considerações sobre estruturas artificiais rígidas na área de estudo e sua influência nos processos hidrodinâmicos e morfossedimentares locais

A Figura 40a apresenta uma imagem representando o processo erosivo natural de solapamento na base da falésia do Cabo Branco e os sedimentos em suspensão em 2018, enquanto a Figura 40b apresenta uma imagem da dinâmica sedimentar após a obra do enrocamento em junho de 2025. Percebe-se que antes da obra ocorria um processo natural de desgaste no sopé da falésia, que gerava um aumento de sedimentos em suspensão na antepraia durante as preamares (Figura 40a). Esses sedimentos eram depositados no setor entre o final do enrocamento do Mirante do Cabo Branco, devido a ação das ondas e da corrente de deriva litorânea. Com a implantação do enrocamento na área de estudo, a base da falésia foi protegida e verificou-se uma interrupção temporária na ação do processo de solapamento na falésia, durante as marés altas, como pode ser percebido a falta de sedimentos em suspensão na Figura 40b.

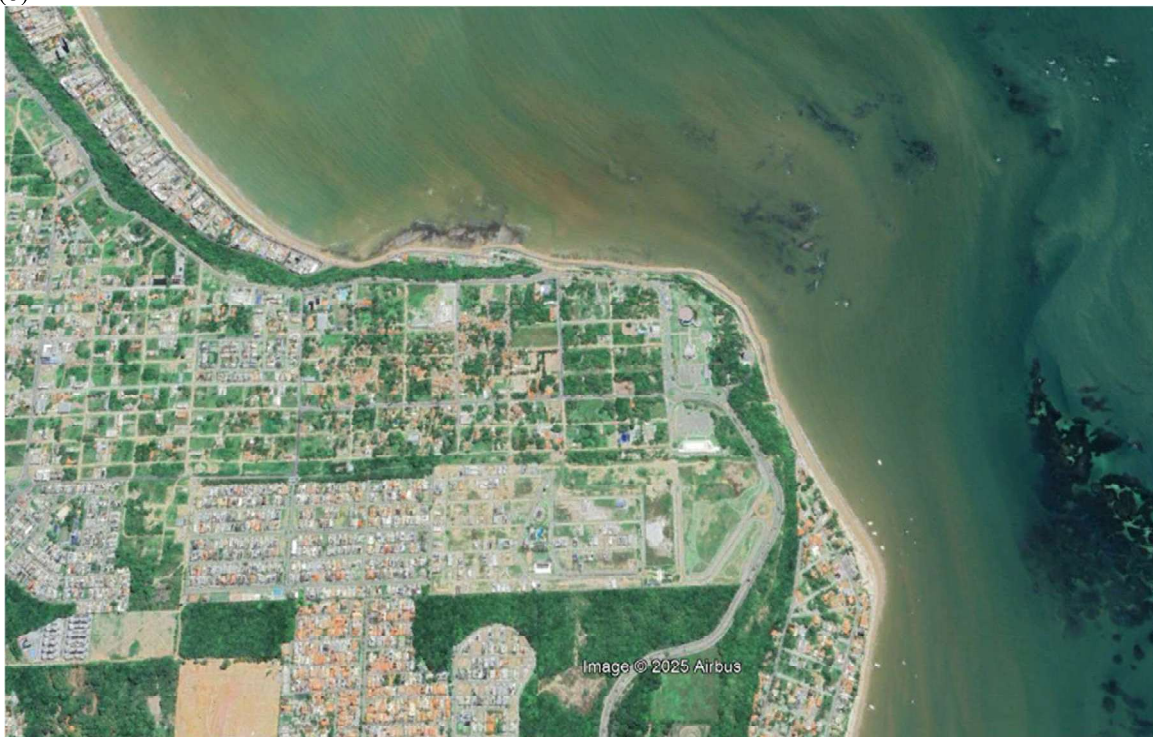
Porém, deve-se destacar que, de acordo com Dean (1987), a erosão vertical ocorre periodicamente, na zona de estirâncio das praias arenosas, causando corriqueiramente um afundamento das rochas da base do enrocamento, gerando um colapso na estrutura. Assim, percebemos que, a implantação do enrocamento na área de estudo modificou o ambiente praial, retardando o processo erosivo na base da falésia e gerando problemas como a falta de sedimentos no setor mais próximo ao norte, bem como uma erosão verificada. Além disso, a obra do enrocamento prejudicou a acessibilidade do acesso à praia pela população no setor de praia onde se localiza a ponta da falésia do Cabo Branco, segmento 02 (Figura 5). No entanto, ainda não está claramente estabelecido em que medida as estruturas artificiais rígidas na área de estudo interferem nos processos hidrodinâmicos e morfossedimentares locais, e como os mesmos alteram o balanço sedimentar e a evolução da linha de costa.

Figura 40. (a) Imagem de satélite evidenciando o processo erosivo natural de solapamento da base da falésia do Cabo Branco e os sedimentos em suspensão em maio de 2018, e (b) imagem de satélite após a obra do enrocamento em junho de 2025.

(a)



(b)



A partir dos trabalhos de campo e dos resultados da modelagem, verificou-se que as estruturas artificiais rígidas na área de estudo exercem grande influência nos processos hidrodinâmicos e morfossedimentares locais. As Figuras 41a–b mostram uma vista da obra do Mirante na praia do Cabo Branco, localizado no segmento 01, ao sul do P1, e uma vista parcial da sedimentação verificada no P1 em março de 2024. As Figuras 42a–b mostram uma vista parcial do setor localizado entre as obras do enrocamento do Mirante na praia do Cabo Branco onde verifica-se uma perda de sedimentos, e a área com presença de acúmulo de sedimentos advindos do setor onde ocorre a perda de sedimentos. Percebemos que a obra do Mirante possivelmente causou a aceleração do processo de transporte de sedimentos e uma sedimentação mais acelerada no setor próximo ao P1.

A obra do Mirante (Figura 41a), na porção Sul da enseada do Cabo Branco, construída pela Prefeitura Municipal de João Pessoa/PB, dentro da zona de resposta da praia frente as marés, gerou um processo de aceleração do transporte de sedimentos do setor mais ao Sul, devido ao processo de reflexão (gerado pelo impacto das ondas na estrutura rígida) que acarreta no surgimento de ondas estacionárias, essas por sua vez, transportam os sedimentos mais rapidamente em zigue e zague pela zona de arrebentação. Como a corrente de deriva dominante na área do estudo, ocorre no sentido Norte, esses sedimentos migraram para áreas próximas ao norte da obra, Figura 41b. Isso, provavelmente explicaria o perfil topográfico 01 ter ficado levemente positivo durante o ano analisado.

Figura 41. (a) Vista parcial da obra do Mirante na praia do Cabo Branco, localizado ao sul do P1, e (b) vista parcial da sedimentação verificada no P1 em março de 2024.

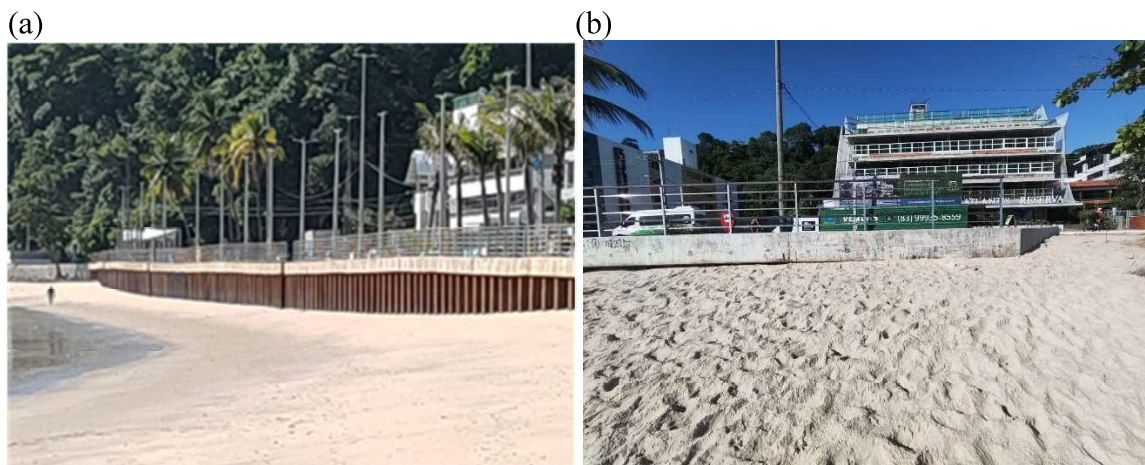


Figura 42. (a) Vista parcial do setor localizado entre as obras do enrocamento do Mirante na praia do Cabo Branco onde verifica-se uma perda de sedimentos, e (b) área com presença de acúmulo de sedimentos advindos do setor onde ocorre a perda de sedimentos (Figura 42a), devido a reflexão das ondas ao atingirem o muro do Mirante em março de 2024.



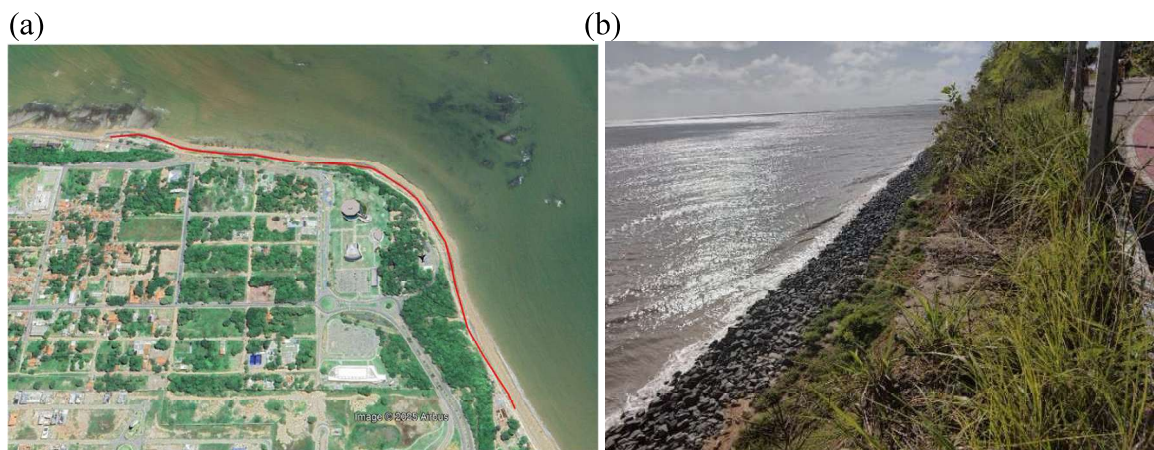
As Figuras 43a–b apresentam, respectivamente uma obra particular na Praia do Seixas localizada no segmento 03, que vem possivelmente barrando o transporte de sedimentos, acarretando uma acumulação dos mesmos ao norte da obra, como verificado nos resultados obtidos no P3 (Figura 32). Os resultados obtidos apontam que, as interferências antrópicas, como as estruturas rígidas construídas sobre a praias imobilizam a movimentação natural sedimentar da área, gerando ou intensificando problemas, como a dinâmica natural dos sedimentos em setores próximos a essas construções (Muehe, 2018; Cardoso et al., 2020; Mishra et al., 2023).

Figura 43. (a) Obra na Praia do Seixas que vem barrando o transporte de sedimentos, acarretando uma sedimentação na direção norte em julho de 2025, e (b) vista do processo de acumulação de sedimentos ao norte da obra em março de 2024.



As Figuras 44a–b mostram a localização geográfica da obra do enrocamento na base da falésia do Cabro Branco e uma vista de cima da falésia do Cabo Branco de parte do enrocamento, respectivamente. Esse enrocamento foi construído pela Prefeitura Municipal de João Pessoa, para proteger a base da falésia do Cabo Branco. De acordo com Morais (2009) e Muehe (2018), esse tipo de obra pode interferir na mobilidade sedimentar das praias, gerando interferências nos processos atuantes e alterando a morfologia praial. Nesse contexto, percebe-se que o P2 (localizado a frente do enrocamento) apresentou uma leve sedimentação no período de um ano, provavelmente devido a interferência do enrocamento na área (Figura 33).

Figura 44. (a) Localização geográfica da obra do enrocamento na base da falésia do Cabro Branco em julho de 2025, e (b) vista de cima da falésia do Cabo Branco de parte do enrocamento, barrando a ação das ondas em julho de 2025.



As Figuras 45a–f mostram imagens da evolução da urbanização e das estruturas rígidas na linha de praia na Ponta do Seixas. As evidências sugerem que algumas das estruturas rígidas dessa área barraram o fluxo natural dos sedimentos nesse setor, ocasionando sua acumulação na ponta da Praia do Seixas. As Figuras 45a–c mostram como era esse setor antes da construção do muro de arrimo (entre 2005 e 2009), onde hoje está localizado um bar (Figura 43a). Já as Figuras 45 d–f mostram a área após a construção da referida estrutura entre 2011 e 2025. Os resultados obtidos referentes a sedimentação no local mostram que houve uma acumulação dos sedimentos nesse setor, como foi verificado nos dados obtidos para o P3.

Além disso, em relação ao deslocamento da linha de costa, as tendências a curto prazo, os resultados ratificaram a sedimentação nesse setor da Praia do Seixas, que está localizado no segmento 3. Ainda sobre essa área, os resultados do transporte de sedimentos médio na área de estudo, que foram gerados pelo SMC-Brasil, com base nos perfis perpendiculares (Figura 18) também indicam uma sedimentação próxima a esse trecho da praia, conforme mostram os resultados do transporte de sedimentos médio positivo no Perfil 4, corroborando com os demais resultados obtidos.

Assim, a comparação entre os resultados gerados, mesmo que em períodos distintos nos auxiliou a compreender de uma maneira mais abrangente o balanço sedimentar das praias do Cabo Branco e do Seixas. Nesse sentido, percebemos que, na porção Sul do segmento 01, no segmento 02 e no segmento 03 foram locais que apresentaram discrepâncias nas diferentes escalas temporais das análises de tendências, já a maior parte do segmento 01 e todo o segmento 04 apresentaram similaridade. Cabe salientar que, essas diferenças ocorridas nas diferentes escalas temporais, ocorrem em maior parte, nos setores que existem problemas na detecção da linha de costa devido a presença do terraço de abrasão, bem como nas áreas onde estão situadas obras na linha de praia.

Figura 45. Imagens mostrando a evolução da urbanização e das estruturas rígidas na linha de praia na Ponta do Seixas.

(a) 2005



(b) 2008



(c) 2009



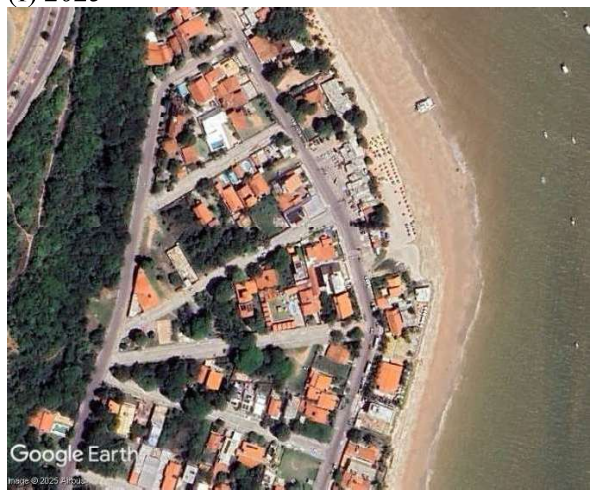
(d) 2011



(e) 2021



(f) 2025



7.2 Restrições e limitações do estudo

O período de um ano nas medições dos dados em campo, apesar de terem sido feitas mensalmente, não são suficientes para determinar as tendências dos processos morfológicos de erosão, estabilidade ou acreção, porém são úteis para demonstrar a ciclicidade morfológica do ambiente praial. Outra limitação foi a distância percorrida na antepraia, que limitou-se a profundidade em que uma pessoa de 1,85 m conseguiu adentrar no mar para realizar a última coleta da cota altimétrica e da distância. As idas mensais em campo também serviram para validar os dados referentes as tendências dos transectos gerados para as praias em questão.

Apesar da grande quantidade de dados hidrodinâmicos de 1948 a 2008 (60 anos) gerados pelo SMC-Brasil, devido a não renovação dele pelo governo brasileiro, não foi possível rodar os dados mais recentes de 2009 a 2025, para uma comparação em mesma escala temporal.

Outra limitação desse estudo, foi a ausência de dados hidrodinâmicos aferidos em campo, a fim de validar os resultados gerados pelo SMC, para essa validação comparamos alguns dos resultados gerados, com resultados de outros trabalhos realizados em áreas próximas. Vale ressaltar que, tanto a escala temporal, quanto a resolução espacial das imagens dos satélites utilizados são diferentes, outro fator relevante é que, o setor entre os perfis (P1 e P2), possui a presença de um terraço de abrasão que, pode influenciar erroneamente na detecção das linhas de costa geradas através de ambos os satélites.

Outra limitação que vale ser ressaltada em relação aos mapas gerados pelos satélites foi a maré, que não foi considerada nesse estudo, devido a isso, uma maior quantidade de imagens foi utilizada, com a finalidade de minimizar esses erros. Além disso, a ausência de uma batimetria de detalhe para a enseada da praia do Cabo Branco, pode ter influenciado nos resultados gerados a partir do SMC-Brasil, pois não houve um dado batimétrico coletado em campo. Contudo, construímos a batimetria dessa área com base na já existente da praia do Seixas.

Por outro lado, a análise de curto prazo (2016–2024), proporcionou maior detalhamento geométrico e acurácia espacial. Essa resolução permitiu detectar variações mais sutis e pontuais da linha de costa, especialmente em trechos urbanos ou sujeitos a intervenções antrópicas recentes, além de possibilitar a identificação de processos erosivos localizados.

A comparação entre os períodos revela que, enquanto a série Landsat evidencia as tendências gerais de longo prazo, incluindo recuos e avanços persistentes da linha de costa, os dados Sentinel captam flutuações recentes e de alta frequência, que muitas vezes refletem mudanças rápidas na dinâmica sedimentar e impactos de curto prazo das obras de contenção ou variações sazonais.

Em síntese, as duas escalas temporais são complementares, enquanto o monitoramento de longo prazo fornece o contexto evolutivo e a tendência geral da linha de costa (acréscimo, erosão, estabilidade), o monitoramento de curto prazo, com maior resolução, refina a compreensão dos processos atuais, permitindo validar e atualizar as tendências históricas observadas.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou as influências das estruturas artificiais rígidas nos processos hidrodinâmicos e morfossedimentares nas praias do Seixas e Cabo Branco, em João Pessoa/PB. Nesse sentido, observamos que as estruturas rígidas construídas em alguns segmentos das praias em questão sugerem uma modificação em alguns processos hidrodinâmicos, ocasionando desde reflexão e refração das ondas, até o barramento de sedimentos que outrora migrariam para outros locais.

Em relação a morfologia praial, constatou-se que os sistemas meteorológicos de maior energia exercem grande influência no processo de aplainamento (diminuindo a sua declividade) na área de estudo, principalmente no período de inverno. Pode-se concluir também que, durante o período estudado, foi observado, de uma maneira geral que no período de verão (período de menor energia) foram obtidas as menores declividades.

A análise dos perfis topográficos de praia evidencia a dinamicidade da morfologia praial no período de um ano, em todos os quatro perfis aferidos em campo. Observou-se ainda, a complexidade desse ambiente que se modifica constantemente, a depender da alteração natural de energia nos períodos do ano, sendo assim, durante os meses de junho a novembro, observou-se nos perfis topográficos de praia, uma maior dinamicidade.

Quanto ao balanço do volume sedimentar nos quatro perfis topográficos transversais, pode-se concluir que, tanto no P1 (situado na porção Sul do segmento 01 próximo a obra do mirante), quanto o P2 (situado no segmento 02 onde se encontra o enrocamento) apresentaram durante o período analisado uma leve acreção nesses dois pontos a análise dos dados de linha de costa em curto prazo, evidenciaram uma tendência a erosão em todo esse setor. Isso sugere uma mudança pontual devido a construção das referidas obras. Percebemos também que, problemas relacionados a falta de sedimentos, podem ocorrer no setor entre a obra do mirante e a do enrocamento, local no qual durante o período do campo, ocorreu uma aparente aceleração no processo erosivo. Isso pode estar relacionado ao enrocamento, pois o processo erosivo de solapamento que outrora existia na base das falésias, foi contido ou diminuído, assim o aporte sedimentar que vinha dessa área foi barrado.

Em relação ao P3 (localizado no pontal arenoso da praia do Seixas), por estar localizado em uma área totalmente abrigada, a sombra do ambiente recifal e próxima ao muro de arrimo construído por alguns bares locais, apresentou um ganho no volume de

sedimentos durante a pesquisa, o local em que está inserido, a Norte do muro de arrimo, pode ter influenciado a sedimentação desse ponto durante o período do estudo. Já o P4, que acreditávamos estar localizado em uma área de estabilidade sedimentar, apresentou uma perda no volume de sedimentos, gerando assim, uma erosão durante o período estudado. Isso, pode estar correlacionado com a construção de um resort ao Sul da área.

Em relação a análise dos dados hidrodinâmicos, pode-se concluir que, períodos de maior energia meteorológica, como no inverno e na primavera, as correntes, ventos e ondas tornam-se mais eficientes em relação ao transporte sedimentar, gerando as maiores taxas no transporte médio bruto entre os meses de junho a novembro. Por outro lado, no período do verão e do outono o transporte médio bruto torna-se menos expressivo. Contudo, ficou evidente que, ocorreram em quatro dos cinco perfis transversais, um predomínio dos valores negativos de transporte em toda a área, excetuando-se, apenas o perfil transversal 3, único que ficou positivo durante todos os períodos. Isso corrobora, tanto com o exposto pela análise dos transectos gerados através das imagens de satélite (predomínio de equilíbrio e sedimentação), quanto com a sedimentação ocorrida no perfil topográfico 03 durante a pesquisa e localizado próximo a essa área.

No que tange, o deslocamento da linha de costa das praias do Seixas e Cabo Branco, os resultados das linhas de costa do Landsat (1984 a 2025), geradas para o DSAS, com as linhas de costa do Sentinel (2016 a 2024) geradas pela plataforma CASSIE mostraram algumas diferenças, sobretudo nos setores onde estão localizados os perfis (P1, P2 e P3). Para os resultados de 1984 a 2025 o local onde estão inseridos o (P1 e o P2) encontra-se em estabilidade, já o local onde está inserido o P3, percebe-se uma tendência de estabilidade a erosão. Já os resultados de 2016 a 2024, evidenciam uma tendência erosiva e criticamente erosiva no setor onde estão inseridos o (P1 e o P2), em relação ao P3 observa-se uma tendência a acreção. No setor da praia do Seixas onde está localizado o P4 em ambos os mapas demonstra uma tendência de estável a acreção. Na enseada da praia do Cabo Branco, os transectos gerados durante o período de (1984 a 2025), demonstraram uma tendência predominante a acreção, enquanto que o gerados no período de (2016 a 2024) apresentou uma tendência a estabilidade. Nesse contexto, percebemos de uma maneira mais ampla que, tanto a morfologia, quanto a presença do ambiente recifal influenciam nos padrões da circulação dos sedimentos da área, gerando áreas com tendências erosivas e outras com tendência ao equilíbrio ou a sedimentação.

Por fim, os resultados indicam que as áreas classificadas com tendência a estabilidade/acreção em ambas as análises tendem a coincidir espacialmente, reforçando a persistência dos processos de estabilidade ou acreção. Em relação as áreas de erosão ou criticamente erodidas ocorre uma maior discrepância nos resultados, podendo ser explicado pela existência de um terraço de abrasão nessa área, que pode ter influenciado na captura das linhas de costa. Entretanto, a série Sentinel revelou maior fragmentação das classes e identificação de microzonas de acréscimo e estabilidade, antes não discerníveis na escala Landsat, destacando a importância da integração multissensor e multitemporal para uma caracterização mais precisa da dinâmica costeira.

Assim, a análise comparativa entre as séries temporais de longo prazo (1984–2025) e curto prazo (2016–2024) permitiu avaliar de forma integrada a dinâmica espaço-temporal da linha de costa, evidenciando tanto as tendências históricas de evolução morfológica quanto as respostas recentes a intervenções antrópicas e forçantes naturais. O conjunto de dados de (1984–2025) possibilitou identificar tendências de longa escala no deslocamento da linha de costa, refletindo a resposta cumulativa de processos erosivos e deposicionais ao longo de quatro décadas. Embora a resolução espacial mais baixa limite a detecção de pequenas feições, ela oferece robustez estatística e consistência histórica, sendo adequada para caracterizar padrões regionais de acréscimo, estabilidade e erosão.

9. REFERÊNCIAS

- ALBINO, J., Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das praias de Bicanga à Povoação, ES. 1999. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, USP, São Paulo, 1999.
- ALMEIDA, L. P.; OLIVEIRA, I. E.; LYRA, R.; DAZZY, L. R. S., MARTINS, V. G.; KLEIN, E. H. F. Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE): Shoreline management module. *Environmental Modelling & Software*. Environmental Modelling & Software, v. 140. p.105033. 2021.
- ALMEIDA, T. L. M. Caracterização da dinâmica costeira de Itamaracá/PE: Aplicação do sistema de modelagem costeira do Brasil. Tese (doutorado) Universidade Federal de Pernambuco Centro de Tecnologia e Geociências Programa de Pós-Graduação em Geociências, Recife – PE, 2018.
- ARAÚJO, D. J. C., GOMES, L. R. S., MARCELINO, A. M. T., AMARO, V. E., SCUDELARI, A. C. Comparação de versões do SMC-Brasil no estudo da circulação hidrodinâmica na praia de Soledade, litoral setentrional do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. In C. Dalinghaus (Org.), *Sistema de modelagem costeira do Brasil: estudos de caso* (p. 411). Editora da UFSC., 2018
- ARAÚJO; T. C. M.; SILVA; V. B.; CARVALHO, J. A. R. Classificação da tipologia da orla da cidade de Olinda-PE: delimitação e caracterização, 2006.
- ARKEMA, K. K.; GUANNEL, G.; VERUTES, G.; WOOD, S. A.; GUERRY, A.; RUCKELSHAUS, M.; KAREIVA, P.; LACAYO, M.; SILVER, J. M. Coastal habitats shield people and property from sea-level rise and storms. *Nature Climate Change*, v. 3, n. 10, p. 913–918, 2013.
- BARBOSA, M. E. F. Unidades geomorfológicas de superfícies aplainadas e dinâmica costeira no leste brasileiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 45-60, 2013. Citado por 5.
- BARROS, E. L.; GUERRA, R. G. P.; FERNANDES, R. P. Variação da linha de costa no litoral leste do estado do Ceará: o caso da RESEX da Prainha do Canto Verde. *Arquivo de Ciências do Mar*, v. 53, p. 25-33, 2020.
- BASCOM, W. N., The relationship between sand-size and beach face slope. *Transactions, American Geophysical Union*, v. 32, p. 866-874, 1951.
- BIRD, E. C. F. *Coastal Geomorphology: An Introduction*. John Wiley & Sons. John Wiley & Sons, 1996.
- BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; MARTIN, L.; SILVA, I. R. *Erosão e progradação no litoral brasileiro*. Salvador: Editora UFBA, 2005.

BOSE, M. A. Os efeitos da elevação do nível do mar e do balanço sedimentar em um hotspot erosivo. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2019.

BOZZEDA, F.; ORTEGA, L.; COSTA, L.L.; FANINI, L.; BARBOZA, C. A. M.; MCLACHLAN, A.; DEFEO, O. Global patterns in sandy beach erosion: unraveling the roles of anthropogenic, climatic and morphodynamic factors. *Frontiers in Marine Science*, v. 10, 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro – GI-GERCO/CIRM. Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção à Erosão Costeira. Brasília/DF: Ministério do Meio Ambiente, 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Panorama da erosão costeira no Brasil [recurso eletrônico]. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Territorial; Organização: Dieter Muehe. Brasília, DF: MMA, 2018.

CALLIARI, L. J.; MUEHC, D.; HOEFEL, F. G.; TOLDO JR., E. Morfodinâmica praial: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Oceanografia*, v. 51, p. 63–78, 2003.

CAMUS, P.; MÉNDEZ, F. J.; LOSADA, I. J. Global ocean wave (GOW) reanalysis: A multi-decadal wave hindcast for coastal applications. *Coastal Engineering*, v. 65, p. 38–55, 2014.

CARDOSO, K.; SANTANA, C.; LISBOA, D.; ROCHA, L.; RANGEL, A.; MULLER, R. Avaliação da dinâmica da paisagem, visando as mudanças ambientais perante a construção do espigão costeiro na praia da Ponta D'areia em São Luis-MA. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, Paraná, v.12, n. 2, 2020.

CHAVES, M. S. Dinâmica Costeira dos Campos Petrolíferos Macau/Serra, Litoral Setentrional do Estado do Rio Grande do Norte. Tese de Doutorado. Departamento de Geologia, UFRN. Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. 117 p. 2005.

CHURCH, J. A. Sea level change. In: HOUGHTON, J. T. et al. (eds.). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 639–693, 2001.

DEAN, R. G. Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coasts. Newark: Department of Civil Engineering, University of Delaware. *Ocean Engineering Technical Report*, n. 12, 1977.

DEAN, R. G. *Coastal sediment processes: toward engineering solutions*. In: *Coastal Sediments '87*, American Society of Civil Engineers, 1987. p. 1-24.

DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; STRIM, J. O sistema de dunas eólicas transgressivas do Litoral Norte do Rio Grande do Sul: situação atual e definição de áreas prioritárias à preservação. Anais... IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. 2003.

DINIZ, C. H. G. Tecnologias de jogos aplicadas à representação tridimensional de processos de erosão costeira em ilhas barreiras. 2018. 138f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Petróleo) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

DINIZ, R. F. A erosão costeira ao longo do litoral oriental do RN: causas, conseqüências e influências nos processos de uso e ocupação da região costeira. 2002. Tese (Doutorado Pós-Graduação em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2002.

DOLAN, R.; HAYDEN, B.P.; MAY, P.; MAY, S.K. 1980. The Reliability of Shoreline Change Measurements from Aerial Photographs. *Shore and Beach*, v.48, n.4, p. 22-29.

ESTEVES, L. S; FINKL, C. W. The problem of critically eroded areas (CEA): An evaluation of Florida beaches. *Journal of Coastal Research*, v. 30 n. 26, p. 11-18, 1998.

FERREIRA, A. G; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 1, n. 1. p. 15-28, 2005.

FURRIER, M. Caracterização Geomorfológica e do Meio Físico da Folha João Pessoa – 1:100.000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Pós-Graduação em Geografia Física, 2007.

GOMES, G.; SILVA, A. C. Coastal erosion case at Candeias Beach (NE – Brazil). *Journal of Coastal Research*, v. 71, p. 30-40, 2014.

GOPIKRISHNA, B.; DEO, M. C. Changes in the shoreline at Paradip Port, India in response to climate change. *Geomorphology*, v. 303, p. 243–255, 2018.

HIMMELSTOSS, E. A.; HENDERSON, R. E.; KRATZMANN, M. G.; FARRIS, A. S. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide. U.S. Geological Survey Open-File Report 2018–1179, 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. População nos municípios costeiros: Censo 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 26 de maio 2024.

IH-CANTABRIA – Instituto de Hidraulica Ambiental. Coastal Modelling System (SMC) – Reference and User Manual. State Coastal Office-Spanish Environmental Ministry and

University of Cantabria, 82. Disponível em: https://smc.ihcantabria.es/SMC25/wp-content/uploads/2015/08/manual_smc_en_v25_01.pdf. Acesso em: 12/06/2025.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr>. Acesso em: 12/06/2025.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Pörtner, H.-O.; Roberts, D.C.; Tignor, M.; Poloczanska, E.S.; Mintenbeck, K.; Alegría, A.; Craig, M.; Langsdorf, S.; Löschke, S.; Möller, V.; Okem, A.; Rama, B. (eds.). Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056, 2022.

JANA, S. Short-term estimation of beach sedimentation pattern in the mixed-energy environment at Digha coast, India. *Journal of Sedimentary Environments*, v. 7, p. 1–19, 2022.

KLUMB-OLIVEIRA, L. A.; PEREIRA, N. E. da S.; LEÃO, R. R. Morfodinâmica multitemporal em praia refletiva no litoral centro-norte do RJ, em resposta ao clima de ondas regional. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 16, n. 1, p. 19-36, 2015.

KOMAR, P. D.; Selective Longshore Transport Rates of Different Grain-Size Fractions within a Beach. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 47, n. 4, p. 1444-1453, 1977.

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*, v. 42, n. 1, p. 61–70, 2021.

LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. The state of the World's beaches. *Scientific Reports*, v. 8, n. 6641, 2018.

LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. The state of the world 's beaches. *Nature Scientific Reports*, v. 8, n. 6641, 2018.

MAIA, R. P. Falésias: origem, evolução, risco. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2022.

MASSELINK, G.; RUSSELL, P. Coastal erosion and climate change: a review of processes and impacts. *Annual Review of Marine Science*, v. 15, p. 263-288, 2023.

MEIRELES, A.J.A.; VICENTE DA SILVA, E.; SERRA, J.R. Geomorfologia e dinâmica ambiental da planície litorânea entre as desembocaduras dos rios Pacotí e Ceará, Fortaleza – Brasil. *Revista Geonotas*, v. 1, p. 1-15, 2001.

MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206 p.

MENTASCHI, L.; VOUSDOKAS, M.I.; PEKEL, J. F.; VOUKOUVALAS, E.; FEYEN, L. Global long-term observations of coastal erosion and accretion. Scientific Report, v. 8, n. 12876, 2018.

MISHRA, M.; KAR, P. K.; CHAND, P.; MOHANTY, P. K.; ACHARYYA, T.; SANTOS, C. A. G.; GONÇALVES, R. M.; SILVA, R. M.; BHATTACHARYYA, D.; BEJA, S. K.; BEHERA, B. Deciphering the impact of anthropogenic coastal infrastructure on shoreline dynamicity along Gopalpur coast of Odisha (India): An integrated assessment with geospatial and field-based approaches. Science of The Total Environment, v. 858, p. 159625, 2023.

MISHRA; M.; SUDARSAN; D.; KAR; D.; NAIK; A. K.; DAS; P. P.; SANTOS; C. A. G.; SILVA; R. M. The development and research trend of using DSAS tool for shoreline change analysis: a scientometric analysis. Journal of Urban and Environmental Engineering, v. 14, n. 1, p. 69–77, 2020.

MORAES, A. C. R. Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil. Elementos para uma Geografia do Litoral Brasileiro. Editora HUCITEC. Edusp. São Paulo, 1999.

MORAIS, L. M. F, A. Expansão urbana e qualidade ambiental no litoral de João Pessoa-PB. 2009. 143 f. Tese de Doutorado, Curso de Geografia, UFPB, João Pessoa, 2009.

MÖRNER, N. A. Rapid Changes in Coastal Sea-Level. Journal of Coastal Research, v.12, n.4, p. 797-800, 1996.

MUEHE, D. (Org.) 2018. Panorama da erosão costeira no Brasil. Brasília, BR: Ministério do Meio Ambiente – MMA, p. 478-545.

MUEHE, D. Geomorfologia Costeira. In: CUNHA, S. B; GUERRA, A. J. T. Geomorfologia do Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

MUEHE, D. Geomorfologia costeira. In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 191–238, 1996.

MUEHE, D. Geomorfologia Costeira. In: Guerra. A.I.T. Cunha. S.B.org. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Ed Bertrand, Rio de Janeiro, 1995.

MUEHE, D.; KLUM-OLIVEIRA, L. Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praial. Quaternary and Environmental Geosciences, v. 5, n. 2, p. 121-124, 2014.

NEVES, S. M. Erosão Costeira no Estado da Paraíba. Salvador. 2003. Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2003.

NICHOLLS, R. J.; CAZENAVE, A. Sea-Level rise and its impact on coastal zones. *Science*, v. 328, n. 5985, 1517-1520. 2010.

OLIVEIRA, M. R. L.; NICOLODI, J. L. A Gestão Costeira no Brasil e os dez anos do Projeto Orla. Uma análise sob a ótica do poder público. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 12, n. 1, p. 91-100, 2012.

OLIVEIRA, P. F. P.; VALENÇA; L. M. M.; BARRETO; E. P.; MANZO; V. A. V. Avaliação do Clima de Ondas e Transporte Sedimentar do Litoral Norte do Município de Goiana (PE) Utilizando o Sistema de Modelagem Costeira (Smc-Brasil). In: Sistema de modelagem costeira do Brasil: estudos de caso / Charline Dalinghaus [et al.] organização. Florianópolis: Editora da UFSC, 411 p. E-book (PDF), 2018.

PILKEY, O. H.; COOPER, J. A. G. Society and sea level rise. *Science*, n. 303, p. 1781-1782, 2004.

PONTE, N. Defining coastal squeeze: A discussion. *Ocean & Coastal Management*, v. 84, 2013.

PRUDÊNCIO, M. C.; AMARO, V. E.; SCUDELARI, A. C. Análise da evolução costeira entre os anos de 1984 e 2014 de trecho do litoral oriental do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ)*, v. 42, n. 2, p. 189-205, 2019.

RABELO, F. D. B. Modelagem da dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica do rio Caeté, Pará. 2021. 151 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

RAFFAELLI, D.; HAWKINS, S. Intertidal ecology. Dordrecht: Springer, 1999.

RAHMSTORF, S. A Semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science*, n. 315, p. 368-370, 2007.

REGUERO, B. G.; MENÉNDEZ, M.; MÉNDEZ, R.; MÍNGUEZ, R.; LOSADA, I. J. A Global Ocean Wave (GOW) calibrated reanalysis from 1948 onwards. *Coastal Engineering*, v. 65, p. 38-55, 2012.

REIS, C. M. M. Caracterização Morfodinâmica e Vulnerabilidade do Litoral de João Pessoa, entre as praias do Cabo Branco e Penha – PB. Programa de Pós-Graduação em Geociências – UFPE Dissertação de Mestrado, 2001.

REIS, C. M. M. O litoral de João Pessoa (PB), frente ao problema da erosão costeira. Tese (Doutorado) Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Pós-Graduação em Geociências, 2008.

ROCHA, P. I. O.; DANTAS, A. P. X.; SANTOS, C. A. G.; DA SILVA, R. M. Assessing urban forest decline and predicting future expansion: a spatial analysis and modeling

approach in João Pessoa City, Brazil. *Modeling Earth Systems And Environment*, v. 10, p. 3923-3940, 2024.

ROSATI, J. D. Concepts in sediment budgets. *Journal of Coastal Research*, v. 21, n. 2, p. 307-322, 2005.

ROSSETTI, D. F. 2008. Ambientes costeiros. In: FLORENZANO, T. G. (org.) *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 247-278 p.

RUFINO, I. A. A.; GALVÃO, C. O.; REGO, J. C.; ALBUQUERQUE, J. P. T. Gestão das águas e planejamento urbano em uma área costeira: aspectos técnicos e legais. In: *Congresso Brasileiro de Recursos Hídricos*, 24., 2021, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2021.

SANTOS, C. A. G.; NASCIMENTO, T. V. M.; MISHRA, M.; SILVA R. M. Analysis of long- and short-term shoreline change dynamics: A study case of João Pessoa city in Brazil. *Science of the Total Environment*. v. 769, 144889, 2021.

SANTOS, J. S. Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em uma cidade tropical úmida. Campina Grande, 2011. 108 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

SEGAR, D. A.; SEGAR, E. S. *Introduction to ocean sciences*. Belmont: Wadsworth, 1998.

SHORT, A. D. *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. London: Jonh Wiley & Sons Ltd. 1999.

SILVA NETO, C. Â.; DUARTE; C. R.; SILVA SOUTO; M. V.; FREIRES; E. V.; NUNES DE SOUSA; W. R.; & DA SILVA; M. T. Caracterização dos setores erosivos e deposicionais da linha de costa de Icapuí (CE) com base em produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 1, p. 143-155, 2020.

SILVA, A. C.; GOMES, G.; DE PAULA, D. P. Modelagem numérica da dinâmica costeira no litoral de Paulista (PE). In: DALINGHAUS, C. et al. (org.). *Sistema de modelagem costeira do Brasil: estudos de caso*. Florianópolis: Editora da UFSC, 2018.

SILVA, C. G.; PATCHINEELAM, S. M.; BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A. Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa. In: BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. (Org.). *Introdução à Geologia Marinha*. Rio de Janeiro: Interciência, p.175-218, 2004.

SILVA, C. S. V. Dinâmica costeira e a trama complexa entre natureza e sociedade nas praias da Penha e do Seixas – PB. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

SILVA, R. S. E.; SILVA, R. M.; FREITAS, A. F.; SANTOS, J. S.; SANTOS, C. A. G.; LIMA, E. R. V. Thermal comfort conditions at microclimate scale and surface urban heat island in a tropical city: A study on João Pessoa city, Brazil. *International Journal of Biometeorology*, v. 66, p. 1079-1093, 2022.

SILVA, T; LOPES, D; FREIRES, E; SILVA, C; SOUTO, M; DUARTE, C. Dinâmica da linha de costa no trecho de praia entre os municípios de Fortaleza e Paraipaba, Estado do Ceará, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 24, n. 2, e2250, 2023.

SONU, C. J.; VAN BEEK, J. L., Systematic beach changes on the outer banks, North Carolina. *Journal of Geology*, v. 79, p. 416-425, 1971.

SOPRANI, M. A. Estudo das transformações das ondas na Baía do Espírito Santo por meio do modelo REFDIF. Monografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Julho, 2010.

SOUSA, P. H. G. O. Erosão costeira, São Paulo: Instituto Oceanográfico de São Paulo, 2013.

SOUZA JÚNIOR, R. L. B. Avaliação da vulnerabilidade em ambiente de praias arenosas da ilha de Fernando de Noronha utilizando-se aerolevantamento por VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado). 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022

SOUZA, A. DOS S., FURRIER, M. F. Caracterização geomorfológica e ocupação antrópica de zonas costeiras: o caso da Ponta do Seixas, litoral da Paraíba - Brasil. *Revista do Departamento de Geografia*, 30, 166-178, 2015.

SOUZA, J. F. de; SILVA, R. M.; SILVA, A. M. Influência do uso e ocupação do solo na temperatura da superfície: o estudo de caso de João Pessoa – PB. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 21-37, 2016.

SOUZA, N. S.; SANTOS, A. C. DE S., ALMEIDA JUNIOR, M. V. C. Vulnerabilidade natural à erosão da zona costeira do Conde, Bahia. *Revista de Geografia*, v. 41, n. 2, p. 179–198, 2024.

SUGUIO, K. Dicionário de Geologia Sedimentar e áreas afins. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

SUGUIO, K. Geologia sedimentar. 1. ed. Edgard Blücher. Ltda, São Paulo, 2003.

TESSLER, M. G.; MAHIQUES, M. M. de. Processos oceânicos e a fisiografia dos fundos marinhos. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (orgs.). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, p. 261-284, 2000.

TOLMAN, H. L. User manual and system documentation of WAVEWATCHIII version 3.14. U. S. Department of Commerce. National Oceanic and Atmospheric Administration. National Weather Service. National Centers for Environmental Prediction. Technical Note, 2009.

VASCONCELOS, G. F. Dinâmica costeira das praias de Tambaú e Manaíra/PB. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2010.

VIEIRA, M. M.; SILVA, A. C. Dinâmica costeira e erosão: efeitos das mudanças climáticas no litoral brasileiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 24(2), 45-62, 2022.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia. In: Komar P. D. ed. *Handbook of coastal processes and erosion*. Boca Raton, CRC Press, p. 35-64, 1983.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D.; GREEN, M. O. Short-term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: An empirical predictive model. *Marine Geology*, v. 62, n. 3-4, p. 339-364, 1985.

WRIGHT, L. D.; THOM, B. G. Coastal depositional landforms: A morphodynamic approach. *Progress in Physical Geography*, v. 1, n. 3, 1977.