



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR - LABOMAR**  
**CURSO DE OCEANOGRAFIA**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LARA CAVALCANTE DO NASCIMENTO**

**INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA PRAIAL NA CAPACIDADE DE CARGA FÍSICA**  
**DA PRAIA DA TAIBINHA, CEARÁ**

**FORTALEZA**

**2026**

LARA CAVALCANTE DO NASCIMENTO

*INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA PRAIAL NA CAPACIDADE DE CARGA FÍSICA DA  
PRAIA DA TAIBINHA, CEARÁ*

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação  
em Oceanografia da Universidade Federal do  
Ceará, como requisito parcial à obtenção do  
título de Bacharel em Oceanografia

Orientadora: Profa. Dra. Lidriana de Souza  
Pinheiro.

Coorientador: Dr. Francisco Gleidson da Costa  
Gastão.

FORTALEZA

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

N1i NASCIMENTO, LARA.  
INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA PRAIAL NA CAPACIDADE DE CARGA FÍSICA DA PRAIA  
DA TAIBINHA, CEARÁ / LARA NASCIMENTO. – 2026.  
61 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do  
Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2026.

Orientação: Prof. Dr. Lidriana de Souza Pinheiro.

Coorientação: Prof. Dr. Francisco Gleidson da Costa Gastão.

1. Capacidade de Carga Física. 2. Gestão costeira. 3. Morfodinâmica praial. I. Título.

CDD 551.46

---

LARA CAVALCANTE DO NASCIMENTO

INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA PRAIAL NA CAPACIDADE DE CARGA FÍSICA DA  
PRAIA DA TAIBINHA, CEARÁ

Trabalho de Conclusão de Curso do curso de graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Oceanografia.

Aprovada em: 22/01/2026.

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Lidriana de Souza Pinheiro (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Francisco Gleidson da Costa Gastão (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Ms. Raquel Cavalcante Soares  
Centro Universitário INTA - UNINTA

---

Prof. Dr. Eduardo Lacerda Barros  
Universidade Estadual do Ceará- UECE

A Deus.

À minha família, especialmente aos meus pais  
e à minha irmã.

Aos meus avós, presentes e em memória.

E a todas as vítimas da Covid-19.

## AGRADECIMENTOS

A Deus e à Nossa Senhora, por me concederem saúde, proteção, discernimento e força nos momentos de dúvida e cansaço, e por renovarem diariamente minha fé para seguir em frente, mesmo quando o caminho parecia difícil.

À minha família, meu alicerce e maior presente da vida. À minha irmã Laís, por sempre me incentivar a continuar sonhando e por acreditar em mim, mesmo nos momentos em que eu própria duvidei. Obrigada por ser essa irmã mais velha em quem sempre busquei consolo. Com o teu jeito aprendi que cada cuidado, conselho e proteção foram formas de me fortalecer e preparar para a vida. Obrigada por todo o amor e dedicação, te admiro demais minha mana.

Aos meus pais, Edivaldecí Paulo e Francisca Francizalva, minha eterna gratidão. Ao meu pai, Edivaldecí Paulo, pelas brincadeiras, apoio e por me apresentar os melhores grupos e músicas de pagode/samba. À minha mãe, Francisca Francizalva, por todo cuidado e suporte, até nos momentos mais difíceis, pelo amor incondicional e conselhos. A vocês dois, agradeço por nunca medirem esforços quando o assunto foi educação. Vocês são minha principal rede de apoio desde o início e meus amigos para a vida inteira. Jamais esquecerei a felicidade de vocês no dia em que fui aprovada na universidade pública. Tudo o que sou, tudo que conquisto e o que ainda sonho é por vocês.

Aos meus avós, presentes e em memória: Carmezinda Costa e Antônio Leandro (*in memoriam*), por me ensinarem o verdadeiro significado de família, união e respeito, Edna Paulo (*in memoriam*) e Cícero Rufino (*in memoriam*), por lutarem diariamente por uma vida melhor para as gerações seguintes. Ao meu tio Francisco Edimar (*in memoriam*), que deixou saudade e ensinamentos que permanecem vivos. Aos meus primos, tias, tios, madrinhas, padrinho e cunhado, a família é grande mas cabe inteira no meu coração.

Às minhas amigas de infância: Ana Beatriz, Giulia, Julia Paiva, Maria Clara e Myllena Santos, por tantos anos de amizade, companheirismo e conexões que não se perdem com o tempo.

À Companhia Docas do Ceará, por ter sido o espaço onde cresci profissionalmente e vivi meu primeiro contato com a área portuária. A todos que compõem essa empresa pública,

meu sincero agradecimento por me proporcionarem aprendizado e experiências únicas para minha formação. Ao setor CODSMS, onde pude aplicar na prática os conhecimentos técnicos e acadêmicos, e em especial à Amanda Serpa, pela coordenação e sua forma humana de conduzir o setor, agradeço também pelo vínculo que criamos e por todo cuidado. A Raimundo José e Saulo Furtado, pelos ensinamentos diários, por sempre me ouvirem, pelas oportunidades e por tornarem uma rotina mais motivadora. Vocês me renderam as melhores risadas e muitas piadas internas que vou levar comigo, inclusive o inesquecível “vish” e “açambarco”. Aos estagiários Ernando, Gisele, Gustavo, Luana, Sara e Joyce, pela convivência leve no dia a dia. Ao meu querido, Moisés Fonteles, parceiro de caminhada, pelo companheirismo, apoio, amizade e por construir comigo um espaço seguro, saiba que você tornou esse período de elaboração do TCC mais leve.

A tripulação do Navio de Pesquisa Vital de Oliveira, pelos 15 dias intensos e transformadores em alto-mar durante meu Embarque Supervisionado. Ao chefe científico da expedição Victor Lopes (SGB) e aos professores Helenice Vital (UFRN), Narelle Maia (UFC) e Oderson Souza Filho (Petrobras), pelo aprendizado técnico, acolhimento e oportunidade de vivenciar na prática aquilo que a Oceanografia tem de mais bonito.

À experiência na consultoria ambiental (CIEDS/Instituto Agropolos), especialmente a Marcelo Barmes e Thalita, por confiarem no meu trabalho e por me proporcionarem um crescimento profissional intenso em um curto período, repleto de desafios e aprendizados.

Ao Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG) do LABOMAR, berço da minha formação acadêmica e do meu crescimento pessoal.

À minha orientadora, Dra. Lidriana Pinheiro, pela oportunidade, confiança e apoio durante o processo de elaboração desta pesquisa. Ao meu coorientador, Dr. Francisco Gleidson, por ser essencial e prestativo em toda essa trajetória. Obrigada a vocês, pela escuta, disponibilidade constante e por me ajudar a amadurecer cientificamente. À Isabelly Ferro, pelo apoio no laboratório. À querida Jaqueline Mesquita, pela amizade, paciência e apoio, tanto no laboratório, nos campos do monitoramento da Taíba, quanto nas minhas escritas acadêmicas, desde resumos até a construção desse TCC. Sempre muito prestativa e disposta a ajudar, fez toda a diferença nesse percurso. Aprendi muito com você e minha gratidão é imensa. Ao Dr. Paulo e ao Dr. Alexandre, pela atenção, disponibilidade e contribuições ao longo do processo.

Ao projeto CoastSnapNE, pela proposta inovadora e pelas contribuições ao monitoramento costeiro. Meu agradecimento especial ao Raylton Bendô, pela atenção, paciência e disponibilidade em sanar dúvidas, além do excelente treinamento em CSP, que foi essencial para meu desenvolvimento técnico.

À disciplina de Tópicos Especiais em Oceanografia IV, ministrada pelo Dr. Sergio Rossi, pela condução cuidadosa do processo de construção do trabalho, que serviu como base para o desenvolvimento e avaliação do meu TCC I.

Aos porteiros, em especial para o turno da noite, Marcos, Gabriel e Elias, pela atenção, disponibilidade e acolhimento em todas as vezes que permaneci na faculdade após as 22h, dedicando-me ao desenvolvimento de projetos, à elaboração de resumos científicos e às atividades acadêmicas. O apoio de vocês tornaram esse período mais seguro, tranquilo e humano, sendo fundamentais para a conclusão desta etapa.

Ao PET Oceanografia UFC, por três anos que impactaram profundamente minha formação pessoal e profissional. À professora e tutora Danielle Garcez, pela dedicação, organização, paciência, cuidado e pela forma tão humana e responsável com que conduz seus bolsistas. Meu carinho e gratidão a todos os amigos e afilhados feitos durante o PET.

Ao professor Reynaldo Amorim Marinho do Departamento de Engenharia de Pesca/UFC, por ser um profissional inspirador, pelos momentos de descontração, pelo carinho e pela preocupação genuína com nosso desenvolvimento. O apelido “compasso de milhões” sempre vai me render boas risadas.

A todos os amigos feitos ao longo da graduação, que compartilharam surtos, conquistas e sonhos. Em especial a Ana Laíssa, Hellen Hawayany (a famosa Ma), Kamilly Aguiar, Rafael Sales, Rosiane Moura. Às amigas de vida, Jucilia Frago, por sua força, cuidado e pela irmandade construída, e Yasmim Alencar, com quem dividi casa, rotina e crescimento durante toda a graduação.

À barraca P.A.S., na Taíba, pela receptividade, por disponibilizar o espaço físico, as imagens da câmera e por incentivar a realização desta pesquisa.

À banca examinadora, pela disponibilidade, leitura atenta e pelas contribuições valiosas que enriqueceram e aprimoraram este trabalho.

Agradeço à Universidade Federal do Ceará (UFC), ao Programa de Educação Tutorial – PET/SISU, pela bolsa concedida, fundamental para a minha permanência e desenvolvimento acadêmico ao longo da graduação. Agradeço a Pró-Reitoria de Assistência Estudantil (PRAE) e ao PPGMAR, pelo suporte institucional destinado à realização de embarques, que foram essenciais para meu crescimento.

Agradeço ao corpo docente, discente, técnico-administrativo e servidores terceirizados do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR), por todo suporte ao longo da minha trajetória. Agradeço, por fim, ao Departamento de Transporte da Superintendência de Infraestrutura e Gestão Ambiental da Universidade Federal do Ceará (UFCInfra), pela colaboração na disponibilidade de transporte para a execução deste estudo.

Por fim, agradeço a todos que passaram pela minha vida e deixaram algo de bom. Sou grata por cada encontro, cada aprendizado e cada gesto de carinho. Sou feita de tudo o que vivi e sigo vivendo por aqueles que escolheram permanecer.

## RESUMO

Este estudo analisa a influência das características morfológicas e morfodinâmicas da Praia da Taibinha, localizada no litoral oeste do estado do Ceará, sobre a Capacidade de Carga Física (CCF), considerando a variação espacial e temporal da faixa de areia disponível ao uso recreativo em um trecho específico monitorado. Parte-se do entendimento de que praias arenosas constituem sistemas costeiros altamente dinâmicos, nos quais a alternância entre processos erosivos e deposicionais condiciona diretamente a largura funcional da praia, a segurança dos usuários e a qualidade da experiência recreativa. A metodologia adotada baseou-se em uma abordagem integrada, envolvendo levantamentos topográficos com GNSS RTK, aerofotogrametria com veículo aéreo não tripulado, processamento e análise de dados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas, avaliação da variação da linha de costa por meio da ferramenta Digital Shoreline Analysis System (DSAS) e monitoramento contínuo do uso recreativo a partir de imagens de vídeo. O monitoramento do uso recreativo foi realizado entre agosto de 2023 e janeiro de 2024, enquanto os levantamentos topográficos e a análise da linha de costa abrangeram os meses de agosto de 2023, outubro de 2023 e janeiro de 2024, sendo a aerofotogrametria realizada em outubro de 2023, janeiro de 2024 e abril de 2024. A área de estudo foi delimitada à zona úmida, principal setor de concentração das atividades recreativas e de esportes náuticos, totalizando aproximadamente 6.894,5 m<sup>2</sup>. Os resultados indicam comportamento morfodinâmico intermediário, com alternância sazonal bem definida entre fases erosivas, registradas principalmente entre agosto e outubro de 2023, quando foram observadas taxas de recuo da linha de costa de até -5,6 m/ano, e fases deposicionais entre janeiro e abril de 2024, caracterizadas por taxas positivas de avanço de até +10,1 m/ano. A capacidade de carga física estimada para o trecho analisado foi de aproximadamente 689 usuários simultâneos, considerando o parâmetro de 10 m<sup>2</sup> por usuário, enquanto a ocupação máxima observada ao longo do período monitorado foi de 301 usuários, mantendo-se dentro das categorias classificadas como “confortável” e “muito confortável”. Entretanto, processos erosivos localizados, especialmente associados à atuação de uma galeria pluvial, comprometeram a continuidade e a funcionalidade da faixa de areia em determinados setores, evidenciando que a CCF deve ser interpretada como um parâmetro dinâmico, condicionado pela morfologia praial e não apenas pela demanda de visitantes.

**Palavras-chave:** Capacidade de Carga Física; Gestão costeira; Morfodinâmica praial.

## ABSTRACT

This study analyzes the influence of the morphological and morphodynamic characteristics of Taibinha Beach, located on the western coast of the state of Ceará, Brazil, on Physical Carrying Capacity (PCC), considering the spatial and temporal variation of the beach area available for recreational use within a specific monitored sector. The study is grounded on the understanding that sandy beaches are highly dynamic coastal systems, in which the alternation between erosional and depositional processes directly controls beach width, user safety, and the quality of the recreational experience. An integrated methodological approach was adopted, combining topographic surveys using GNSS RTK, aerial photogrammetry with an unmanned aerial vehicle (UAV), data processing and spatial analysis in a Geographic Information System (GIS) environment, shoreline change assessment using the Digital Shoreline Analysis System (DSAS), and continuous monitoring of recreational use through video imagery. Recreational use monitoring was conducted between August 2023 and January 2024. Topographic surveys and shoreline analyses were carried out in August 2023, October 2023, and January 2024, while UAV-based photogrammetric surveys were performed in October 2023, January 2024, and April 2024. The study area was delimited to the wet beach zone, which represents the main sector of concentration of recreational activities and nautical sports, covering approximately 6,894.5 m<sup>2</sup>. The results indicate a intermediate morphodynamic behavior, with a well-defined seasonal alternation between erosional phases, mainly recorded between August and October 2023, when shoreline retreat rates of up to -5.6 m/year were observed, and depositional phases between January and April 2024, characterized by positive shoreline advance rates of up to +10.1 m/year. The estimated physical carrying capacity for the analyzed sector was approximately 689 simultaneous users, based on a reference value of 10 m<sup>2</sup> per user, whereas the maximum observed occupancy during the monitoring period was 301 users, remaining within the categories classified as “comfortable” and “very comfortable.” However, localized erosional processes, particularly those associated with the influence of a stormwater drainage outlet, reduced the continuity and functional availability of the beach area in specific sectors, demonstrating that PCC should be interpreted as a dynamic parameter, conditioned by beach morphology rather than solely by visitor demand.

**Keywords:** Physical Carrying Capacity; Beach morphodynamics; Coastal management.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo na Praia da Taibinha, município de São Gonçalo do Amarante, litoral oeste do Ceará.....                 | 18 |
| Figura 2 – Delimitação da área considerada para o cálculo da Capacidade de Carga Física na Praia da Taibinha.....  | 20 |
| Figura 3 - Representação esquemática dos compartimentos morfodinâmicos do perfil praial.....   | 21 |
| Figura 4 – Área de cobertura da ortofoto utilizada para a caracterização espacial da Praia da Taibinha.....  | 22 |
| Figuras 5, 6 e 7 – Imagens do trabalho de campo referentes ao levantamento topográfico realizado com receptor GNSS RTK.....                              | 24 |
| Figuras 8 e 9 – Etapas do levantamento aerofotogramétrico realizado com drone (VANT)..   | 24 |
| Figuras 10, 11 e 12 - Instalação da câmera de monitoramento e registros de usuários captados em dias de semana e fim de semana na Praia da Taibinha..... | 27 |
| Figura 13 - Limitação na visibilidade da câmera de monitoramento.....  | 29 |
| Figura 14 - Perfil praial obtido a partir de pontos levantados em campo com GNSS RTK em agosto de 2023.....  | 31 |
| Figura 15 - Perfil praial dos dados do MDT de Outubro de 2023.....   | 32 |
| Figura 16 - Perfil praial dos dados do MDT de Janeiro de 2024.....   | 33 |
| Figura 17 - Perfil praial dos dados do MDT de Abril de 2024.....   | 33 |
| Figuras 18 e 19 - Formação de “berma natural” por ação das ondas.....  | 39 |
| Figuras 20 e 21 - Formação de “berma artificial” por acumulação sedimentar da galeria pluvial.....   | 40 |
| Figura 22 - Distribuição dos transectos e variações da linha de costa no trecho monitorado, segundo DSAS.....  | 41 |
| Figuras 23 e 24 – Fluxo de veículos automotores na Taibinha.....   | 51 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Gráfico 1 - Perfil topográfico 1.....   | 35 |
| Gráfico 2 - Perfil topográfico 2.....   | 36 |
| Gráfico 3 - Perfil topográfico 3.....   | 37 |
| Gráfico 4 - Perfil topográfico 4.....   | 37 |
| Gráfico 5 - Perfil topográfico 5.....   | 38 |
| Gráfico 6 - Taxa de variação da linha de costa por ano, entre todos os meses analisados.. | 42 |
| Gráfico 7 - Variação da linha de costa de metros por mês.....                             | 43 |
| Gráfico 8 - Variação da linha de costa de metros por ano.....                             | 44 |

## **LISTA DE TABELAS**

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Cronograma de coletas referentes à análise de usuários utilizado para a determinação da Capacidade de Carga Física (CCF).....  | 28 |
| Tabela 2 - Apresenta os meses analisados, destacando os dias com menor e maior número de visitantes, juntamente com o valor total do número de usuários e a área ocupada em metros quadrados..... | 46 |
| Tabela 3 - Classificação do grau de congestionamento segundo a Embratur (1975)....  | 48 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|          |   |
|----------|---|
| ABNT     | Associação Brasileira de Normas Técnicas        |
| ASAS     | Alta Subtropical do Atlântico Sul               |
| CCF      | Capacidade de Carga Física                      |
| DSAS     | <i>Digital Shoreline Analysis System</i>        |
| EMBRATUR | Instituto Brasileiro de Turismo                 |
| EPR      | <i>End Point Rate</i>                           |
| GNSS     | <i>Global Navigation Satellite System</i>       |
| IBGE     | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| INMET    | Instituto Nacional de Meteorologia              |
| LABOMAR  | Instituto de Ciências do Mar                    |
| LRR      | <i>Linear Regression Rate</i>                   |
| MDT      | Modelo Digital do Terreno                       |
| MMA      | Ministério do Meio Ambiente                     |
| OMT      | Organização Mundial do Turismo                  |
| RTK      | <i>Real Time Kinematic</i>                      |
| SIG      | Sistema de Informações Geográficas              |
| USGS     | <i>United States Geological Survey</i>          |
| VANT     | Veículo Aéreo Não Tripulado                     |

## SUMÁRIO

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | 14 |
| 2     | <b>OBJETIVOS</b> .....  | 17 |
| 2.1   | <b>Objetivo geral</b> .....   | 17 |
| 2.2   | <b>Objetivos específicos</b> .....  | 17 |
| 3     | <b>METODOLOGIA</b> .....  | 18 |
| 3.1   | <b>Área de estudo</b> .....   | 18 |
| 3.1.1 | <i>Delimitação dos compartimentos praiais, definição da zona úmida e área de cobertura espacial</i> ..... | 20 |
| 3.2   | <b>Materiais e métodos</b> .....  | 23 |
| 3.2.1 | <i>Aquisição e processamento de dados geoespaciais</i> .....  | 23 |
| 3.2.2 | <i>A utilização das imagens de vídeo para monitoramento do uso recreativo</i> .....                       | 26 |
| 3.3   | <b>Determinação da Capacidade de Carga Física (CCF)</b> .....   | 27 |
| 3.4   | <b>Sazonalidade dos períodos analisados</b> .....   | 28 |
| 3.5   | <b>Limitações metodológicas</b> .....   | 29 |
| 4     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....   | 31 |
| 4.1   | <b>Caracterização morfodinâmica do trecho analisado</b> .....   | 31 |
| 4.2   | <b>Análise da capacidade de carga na praia da Taibinha</b> .....  | 44 |
| 4.3   | <b>Influência da morfodinâmica praias sobre a capacidade de carga física</b> ....                         | 49 |
| 5     | <b>CONCLUSÃO</b> .....  | 52 |
|       | <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | 54 |

## 1 INTRODUÇÃO

A zona costeira constitui um dos espaços geográficos mais dinâmicos, complexos e estratégicos do território brasileiro, concentrando expressiva diversidade ambiental, intensa ocupação humana e múltiplas atividades econômicas. O litoral brasileiro apresenta aproximadamente 7.367 km de extensão linear, podendo atingir cerca de 9.200 km quando considerados seus recortes naturais, o que evidencia sua complexidade geomorfológica (MMA, 2018). No âmbito regional, o litoral do Nordeste brasileiro abrange cerca de 3.300 km, configurando-se como uma das faixas costeiras mais extensas e contínuas do país (IBGE, 2012). Essa dimensão territorial é acompanhada por relevância socioeconômica, uma vez que aproximadamente 22% da população brasileira reside em municípios costeiros, intensificando a pressão sobre os ambientes litorâneos (Moraes, 2007).

As praias, enquanto componentes fundamentais da zona costeira, configuram-se como ambientes multifuncionais, nos quais se articulam processos naturais e sociais, resultantes da interação entre a dinâmica ambiental e os diferentes usos humanos (Diegues, 2004). A intensificação das atividades turísticas e recreativas pode gerar elevada pressão sobre os territórios, especialmente em áreas de rápida urbanização, reforçando a necessidade de instrumentos de planejamento (Hall, 2001). Nos ambientes costeiros, essa pressão se expressa diretamente nos padrões de uso das praias, como lazer, turismo e práticas recreativas, ampliando os desafios para a gestão sustentável no litoral nordestino e no oeste cearense.

O turismo desempenha papel central no processo de intensificação do uso de áreas turísticas. Em escala global, sua expansão tornou-se mais expressiva no período pós-Segunda Guerra Mundial, particularmente a partir da década de 1950, associada ao crescimento econômico, ao aumento da renda disponível, à ampliação do tempo livre e ao avanço dos sistemas de transporte (Butler, 1980). Em ambientes costeiros, essa intensificação do uso turístico reflete diretamente nas praias, ampliando as pressões sobre esses sistemas naturais. Segundo a Organização Mundial do Turismo, as zonas costeiras concentram parcela significativa dos fluxos turísticos internacionais, especialmente em destinos associados ao turismo de massa, caracterizados por elevada atratividade ambiental e infraestrutura consolidada (OMT, 2019; Beni, 2000).

No Brasil, o turismo costeiro tem sido tradicionalmente associado ao uso recreativo das praias, com ênfase em condições climáticas favoráveis, entendimento que fundamenta o segmento denominado turismo de sol e praia, definido pelo Ministério do Turismo como aquele relacionado à recreação, ao entretenimento e ao descanso em função da

presença simultânea de água, sol e calor (Brasil, 2006). Estudos no campo do turismo esportivo e do turismo de aventura indicam que fatores ambientais específicos, como a regularidade dos ventos, podem assumir papel estruturante na atratividade turística e nos padrões de uso dos espaços costeiros (Buckley, 2002). No litoral do Nordeste brasileiro, a presença de ventos constantes tem sido reconhecida como elemento central para o desenvolvimento de modalidades esportivas e recreativas, como o surfe, *kitesurf*, o *windsurf* e a vela, contribuindo para a configuração de um uso turístico fortemente condicionado por variáveis atmosféricas (Barbosa & Furtado, 2013). Essas atividades elevam a densidade de usuários nas praias e a pressão sobre os sistemas físicos e ecológicos.

As condições climáticas favoráveis do Nordeste, associadas à expansão da infraestrutura turística, intensificam a valorização da orla e a ocupação turística, contribuindo para conflitos de uso e ampliando os desafios para o planejamento e a gestão sustentável dos ambientes costeiros (Assis, 2012).

Esse processo de ocupação costeira pode comprometer o ajuste natural das praias aos processos de erosão e acreção, considerando que as praias arenosas são ecossistemas dinâmicos, continuamente retrabalhados por ondas, marés e correntes, cuja morfologia condiciona a largura da faixa de areia disponível ao uso recreativo (Short & Wright, 1983). A variação da linha de costa, portanto, representa uma preocupação central da gestão costeira, sobretudo em áreas turísticas, como aquelas observadas no litoral oeste cearense, sendo os recuos costeiros associados ao déficit sedimentar, intervenções antrópicas, elevação do nível do mar e eventos de alta energia (Douglas, 1991; Rosati, 2005; Masselink et al., 2009; Bender et al., 2010).

No litoral do Nordeste brasileiro, a sazonalidade dos processos climatológicos e oceanográficos condiciona a alternância entre fases erosivas e de acreção sedimentar nas praias. Esses processos são potencializados pela atuação de eventos de alta energia e, em escala de médio a longo prazo, pela elevação do nível do mar, impondo desafios crescentes ao ordenamento territorial e ao manejo de costas urbanizadas, com impactos diretos sobre a infraestrutura e os serviços associados (Calliari et al., 1998; Morais et al., 2009). Nesse contexto, o monitoramento da linha de costa constitui instrumento fundamental para a gestão costeira, utilizando-se indicadores geomorfológicos como a base da duna frontal, a linha de vegetação, a base de falésias e a linha de inundação da berma máxima, definida como a feição morfológica formada pela deposição de sedimentos na porção superior da praia e associada ao limite máximo de espraiamento das ondas durante preamares e eventos de maior energia (Muehe, 1996). Nesse sentido, Pinheiro et al. (2016) destacam que análises temporais da linha

de costa são fundamentais para avaliar os efeitos da urbanização e das intervenções humanas sobre a morfodinâmica praial, fornecendo subsídios técnicos para o gerenciamento costeiro integrado, ao passo que a erosão costeira deve ser compreendida de forma sistêmica e multidimensional, extrapolando a perda física de sedimentos e envolvendo impactos sociais, econômicos, culturais, ambientais, institucionais e jurídicos que afetam múltiplos atores e ecossistemas litorâneos (Bird, 1993; Calliari et al., 2003; Muehe, 2006).

No Estado do Ceará, esses processos estão associados à intensa ocupação urbana e industrial das últimas décadas. A expansão da Região Metropolitana de Fortaleza em direção ao oeste foi impulsionada pela construção de residências secundárias na década de 1970, que reforçam a urbanização e a valorização da orla. Posteriormente, a implantação do Complexo Industrial e Portuário do Pecém, no final do século XX, direcionou novos fluxos de capital e infraestrutura para a região, promovendo a supervalorização dos espaços litorâneos e ampliando os conflitos de uso (Campos et al., 2003).

Nesse contexto regional, a Praia da Taíba, localizada no litoral oeste do Ceará, apresenta-se como um exemplo representativo das interações entre dinâmica costeira, uso recreativo e pressão antrópica, configurando-se como um estudo de caso pertinente para a análise da relação entre morfologia praial e capacidade de carga física. A combinação entre variabilidade espacial, diversidade de atividades e intensidade de uso público torna a área adequada para a aplicação de métodos voltados à avaliação dos limites físicos de ocupação em praias arenosas.

Paralelamente aos processos físicos, observa-se crescimento populacional significativo no estado do Ceará ao longo das últimas décadas. A população estadual passou de 5.380.432 habitantes em 1980 para uma estimativa de 9.268.836 habitantes em 2025, o que corresponde a uma taxa média geométrica anual de crescimento de aproximadamente 1,22% (IBGE). Esse crescimento demográfico, associado à atratividade ambiental e econômica da região, intensifica o uso das praias e a demanda por instrumentos de gestão sustentável.

Diante desse cenário, a Capacidade de Carga Física (CCF) consolida-se como referência para o gerenciamento do uso recreativo, ao estabelecer limites compatíveis com a manutenção das características ambientais e da qualidade da experiência dos usuários (Wagar, 1964; Lime & Stankey, 1971; Cifuentes, 1992). No ambiente praial, a morfologia e a dinâmica costeira condicionam o espaço disponível ao uso. Nesse contexto, a pesquisa parte da seguinte questão norteadora: em que medida a análise da morfologia praial, associada ao monitoramento em campo, pode contribuir para uma avaliação mais integrada da Capacidade de Carga Física de uma praia arenosa?

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Analisar a influência das características morfológicas e morfodinâmicas da Praia da Taibinha, considerando o trecho correspondente à área de visada do monitoramento em campo, sobre a Capacidade de Carga Física, a partir da variação espacial e temporal da faixa de areia disponível ao uso recreativo.

### **2.2 Objetivos específicos**

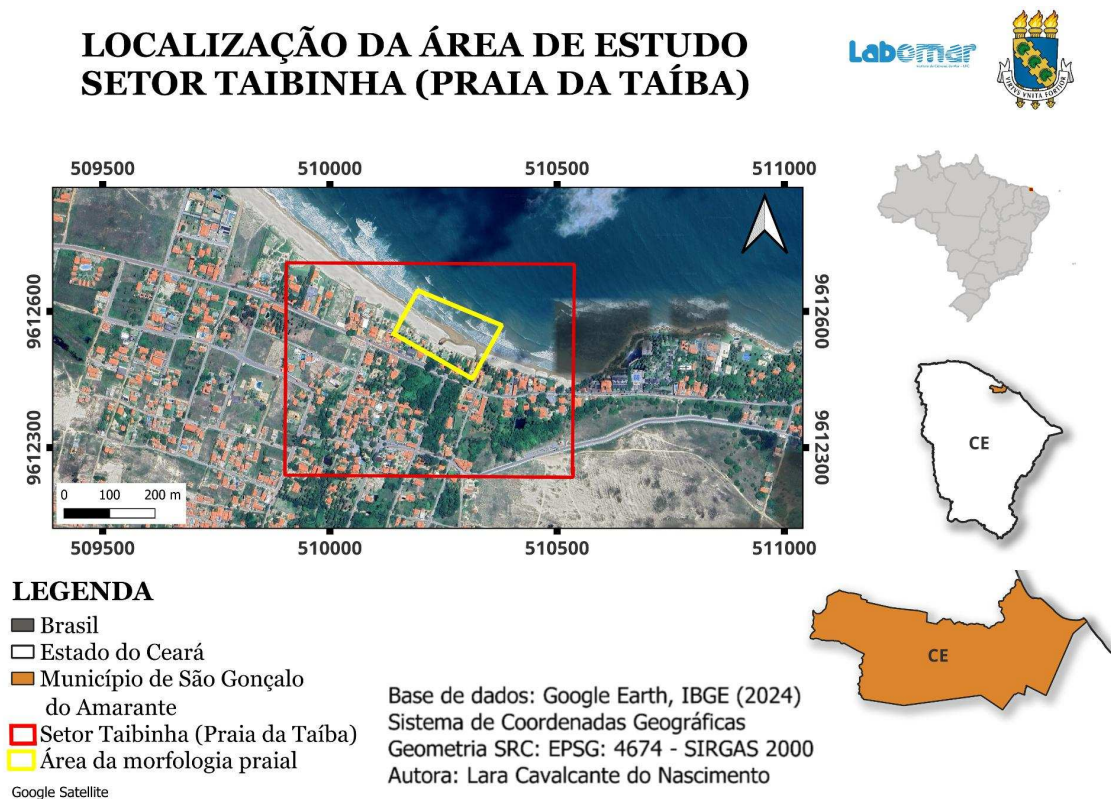
- Caracterizar a dinâmica morfológica do trecho analisado da Praia da Taibinha, considerando variações na largura da faixa de areia, na inclinação do perfil praial e na alternância entre processos de erosão e acreção;
- Analisar a influência das mudanças morfodinâmicas sobre a disponibilidade espacial da zona úmida, principal área de concentração das atividades recreativas e dos esportes náuticos;
- Estimar a Capacidade de Carga Física do setor monitorado, com base na área efetivamente disponível para uso e na densidade admissível de usuários;
- Avaliar a variabilidade temporal da ocupação humana e identificar áreas mais suscetíveis à redução da CCF, considerando fatores sazonais, ambientais e processos erosivos associados à diminuição da faixa de areia;
- Contribuir para a compreensão dos limites físicos de uso das praias, a partir da análise da morfologia praial, oferecendo subsídios técnicos relevantes ao debate sobre planejamento e gestão do uso público.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde a um trecho específico da Praia da Taíba, localizado no município de São Gonçalo do Amarante (03°30,125'S; 038°54,469'W), no litoral oeste do estado do Ceará, a aproximadamente 70 km de Fortaleza. O setor analisado corresponde a um trecho específico da Praia da Taíba, conhecido localmente como Taibinha, localizado na porção central da praia. A Figura 1 apresenta a relação espacial entre a praia e o setor, evidenciando que a área de estudo encontra-se integralmente inserida nesse trecho específico da orla. Embora não constitua uma unidade administrativa ou cartográfica oficial, a Taibinha é amplamente reconhecida pela população local e pelos frequentadores, o que justifica sua adoção como recorte espacial do estudo.

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo na Praia da Taibinha, município de São Gonçalo do Amarante, litoral oeste do Ceará



Fonte: Google Earth Pro (2024). Elaboração da autora.

Ressalta-se que o presente estudo adota diferentes escalas espaciais no interior do setor Taibinha. Representado na Figura 1, onde corresponde a uma área de enquadramento espacial mais ampla, representada no mapa pelo polígono vermelho, utilizada para a contextualização do setor no âmbito da Praia da Taíba. Assim como há uma área mais restrita, destacada em amarelo, que corresponde à área considerada para a caracterização morfológica da praia, na qual se concentram os levantamentos geoespaciais e topográficos realizados.

A Praia da Taíba possui cerca de 10 km de extensão e apresenta feições típicas das praias arenosas do litoral cearense, incluindo ampla faixa de areia, dunas frontais, setores com falésias e ocorrência de arenitos de praia (*beach rocks*), especialmente evidentes durante períodos de baixa-mar de sizígia. Estudos morfodinâmicos indicam predominância de sedimentos de areia fina a muito fina e comportamento intermediário, com variações sazonais que, em determinados períodos, podem assumir características refletivas (Dias & Rocha-Barreira, 2011).

O regime hidrodinâmico da área é caracterizado pela incidência de ondas provenientes predominantemente dos quadrantes norte, nordeste e leste, associadas à atuação dos ventos alísios, que condicionam a deriva litorânea com sentido preferencial leste-oeste. O regime de maré é do tipo mesomaré semi-diurna, com amplitudes médias superiores a 1,4 m, exercendo influência direta sobre a largura da faixa de praia exposta ao longo do ciclo de maré e sobre os processos de espraiamento e retrabalhamento sedimentar (Pinheiro et al., 2016).

O trecho da Taibinha distingue-se por apresentar maior exposição à energia de ondas e ventos, favorecendo a prática de esportes náuticos, como surfe, *kitesurf* e *windsurf*, além do uso recreativo por banhistas.

A Figura 2 apresenta a delimitação da área adotada para o cálculo da Capacidade de Carga Física (CCF), correspondente à zona úmida observável a partir do ponto onde anteriormente se localizava a Barraca Casa de Praia (P.A.S. da Taíba), que serviu como referência espacial para a instalação da câmera utilizada no monitoramento visual do uso recreativo. Esse recorte espacial evidencia a área diretamente associada às atividades de banho, circulação e recreação na faixa praias, totalizando aproximadamente 6.894,5 m<sup>2</sup>, valor que corresponde ao campo visual contínuo disponível para a observação do uso público nesse setor da praia.

Figura 2 - Delimitação da área considerada para o cálculo da Capacidade de Carga Física na Praia da Taibinha



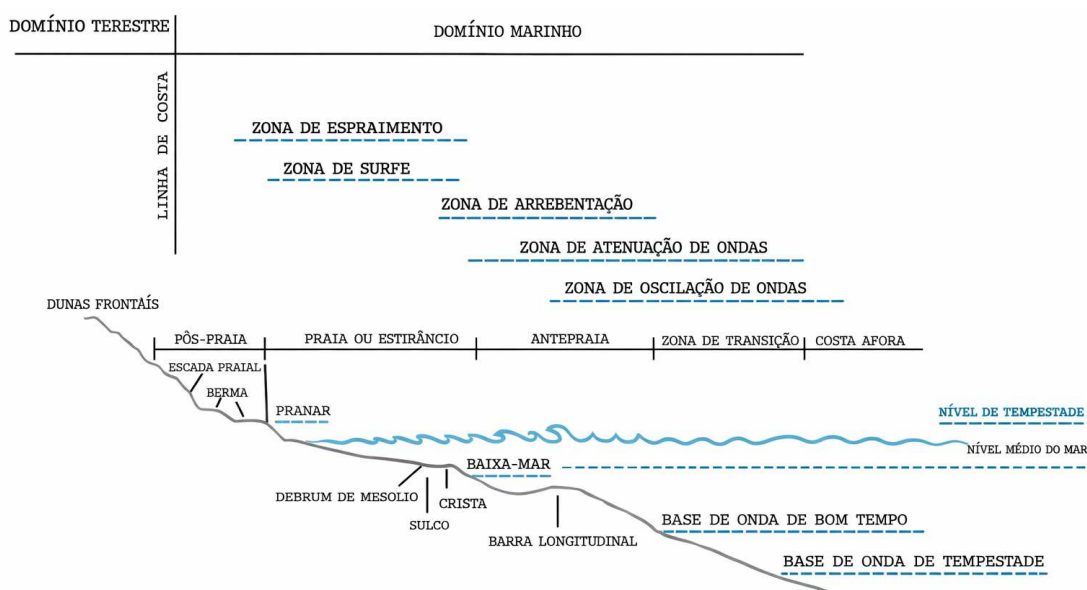
Fonte: Laboratório de Oceanografia Geológica - LABOMAR.

A escolha desse trecho está relacionada à elevada concentração de usuários ao longo do ciclo diário e à centralidade funcional do setor no contexto da Praia da Taibinha. Atualmente, a edificação onde se situava a antiga barraca abriga a Secretaria de Esporte e Juventude – Anexo Taíba, estando inserida em um trecho da orla adjacente ao denominado Beco do Surf, espaço público de convivência localizado na Rua Capitão Inácio Prata, nº 10, que se consolidou como ponto de encontro recreativo, cultural e turístico. A presença desse conjunto de equipamentos e usos reforça a relevância do setor selecionado para a análise da dinâmica de ocupação e do uso recreativo da praia.

### ***3.1.1 Delimitação dos compartimentos praias, definição da zona úmida e área de cobertura espacial***

As praias constituem sistemas costeiros dinâmicos, cuja configuração espacial resulta da interação entre ondas, marés, ventos e sedimentos. O equilíbrio entre a energia hidrodinâmica e a disponibilidade sedimentar condiciona a organização do perfil praiial e permite a distinção de compartimentos funcionais ao longo do gradiente continente–oceano, conforme descrito nos modelos clássicos de Wright e Short (1984) demonstrado na Figura 3.

Figura 3 - Representação esquemática dos compartimentos morfodinâmicos do perfil praiial



Fonte: Wright e Short (1984), adaptado de Maia (2014).

Com base nessa compartimentação, amplamente adotada em estudos de capacidade de carga física, reconhecem-se os compartimentos de estirâncio e antepraia, cuja diferenciação contribui para a compreensão da organização espacial do ambiente praiial e dos padrões de uso público associados (Suguió, 1992; Baptista Neto et al., 2004).

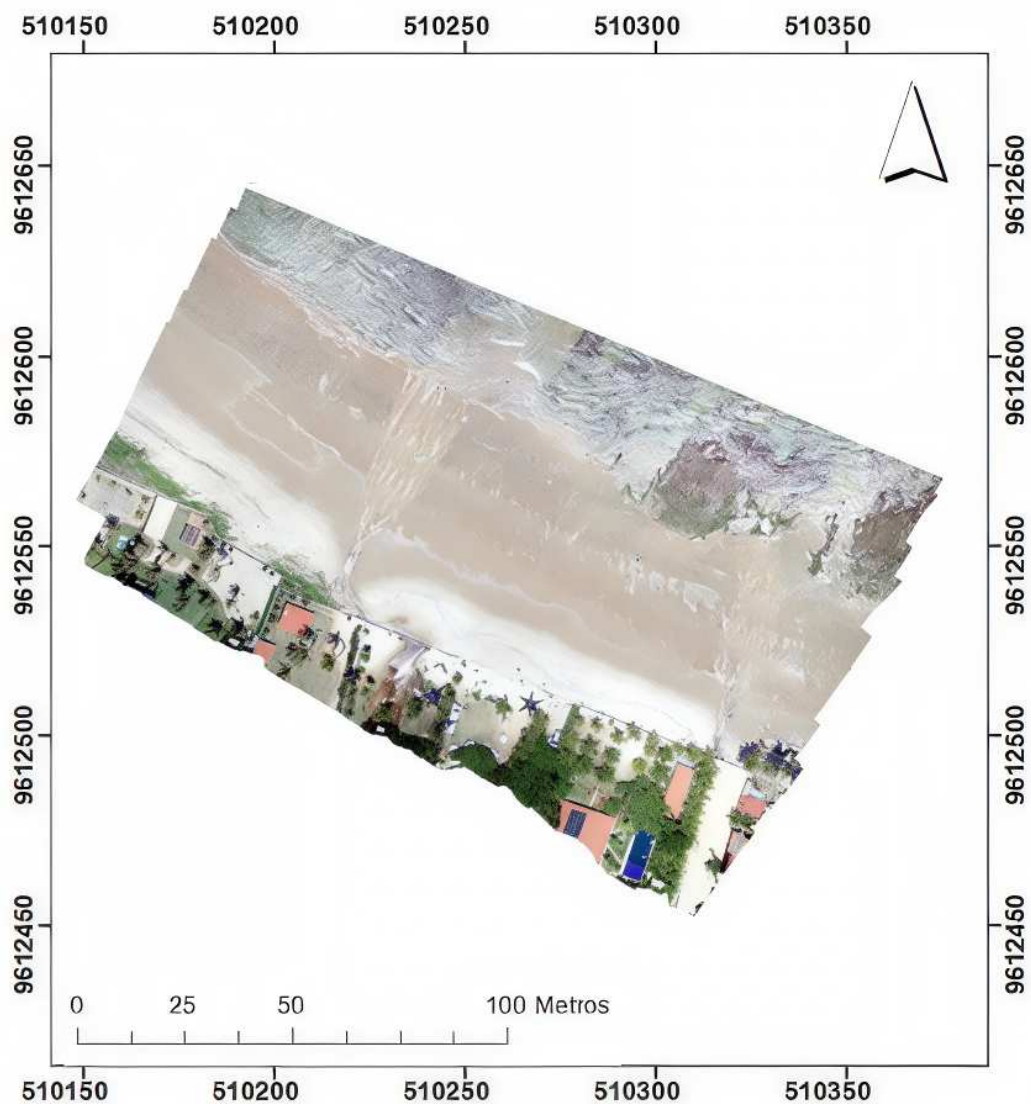
O estirâncio compreende a faixa sujeita ao espreadimento das ondas entre os limites de preamar e baixa-mar, sendo um setor altamente dinâmico e diretamente influenciado pela ação das marés. A antepraia, permanentemente submersa, integra a dinâmica litoral ao controlar processos de arrebentação e dissipação de energia das ondas.

No contexto deste estudo, em função da intensa circulação de pessoas e da sobreposição de atividades recreativas nos compartimentos de estirâncio e antepraia, optou-se por tratá-los de forma integrada, adotando-se o termo “zona úmida”, conforme proposto por Silva Filho (2015), para representar o estudo da CCF. Essa abordagem permite representar de maneira mais fiel o espaço efetivamente utilizado pelos frequentadores da praia.

A delimitação da área de estudo foi definida de forma operacional e metodológica, considerando o setor da orla onde se concentraram as atividades monitoradas e onde foram realizados os levantamentos de campo, o monitoramento por vídeo e a aquisição de dados aerofotogramétricos. Nesse sentido, a área destacada em amarelo na Figura 1 corresponde à área de estudo morfológica adotada neste trabalho, estando integralmente inserida no setor Taibinha.

Assim, a Figura 4 apresenta a ortofoto obtida a partir de aerofotogrametria com drone, abrangendo uma área mais ampla da área de estudo. Essa imagem permite visualizar a organização espacial dos compartimentos praias, bem como a relação entre a zona úmida e os elementos naturais e antrópicos adjacentes. Observa-se que a área coberta pelo voo do drone engloba integralmente o setor visível pela câmera, além de áreas adicionais da praia, possibilitando uma compreensão mais abrangente da morfologia local e do contexto espacial no qual se insere a zona de uso recreativo analisado.

Figura 4 – Área de cobertura da ortofoto utilizada para a caracterização espacial da Praia da Taibinha



Fonte: Elaborada pela autora.

A integração entre a área delimitada para a CCF e a ortofoto do drone permite estabelecer uma relação direta entre a compartimentação praial, a morfologia do ambiente e o espaço efetivamente disponível para uso humano.

No setor analisado, observa-se a presença de uma galeria pluvial, estrutura de drenagem urbana destinada à condução das águas pluviais superficiais da área continental para o ambiente costeiro. Esse tipo de infraestrutura pode atuar como elemento físico condicionante local, influenciando a organização espacial dos compartimentos praias, sobretudo na faixa correspondente à zona úmida. A referência a Souza et al. (2005) é utilizada neste estudo como base conceitual para a compreensão da compartimentação praial e de seus elementos condicionantes, não tendo contribuído diretamente para a delimitação espacial da área de estudo, cujos critérios são apresentados nos procedimentos metodológicos adotados.

## **3.2 Materiais e métodos**

### ***3.2.1 Aquisição e processamento de dados geoespaciais***

A aquisição e o processamento dos dados geoespaciais foram realizados com o objetivo de caracterizar a morfologia praial, delimitar a área efetivamente utilizada para a análise da CCF e subsidiar a extração de informações espaciais relacionadas ao perfil da praia e à posição da linha de costa. Para isso, adotou-se uma abordagem integrada, combinando levantamento topográfico *in loco*, aerofotogrametria (que gera as ortofotos) com veículo aéreo não tripulado (VANT), imagens de satélite e bases cartográficas, organizadas e processadas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

O levantamento topográfico foi conduzido em campo por meio de um receptor GNSS (Global Navigation Satellite System) com tecnologia RTK (Real Time Kinematic), da marca Trimble, que possibilita a obtenção de coordenadas planimétricas e altimétricas com elevada precisão. Conforme ilustrado na Figuras 5, 6 e 7, o equipamento foi utilizado ao longo da faixa de praia para o mapeamento da linha de costa e para a coleta sistemática de pontos na base da berma mais recente, adotada como referência geomorfológica por representar o limite máximo de atuação do espraiamento das ondas. As coletas foram realizadas ao longo de seis meses, entre agosto de 2023 e janeiro de 2024, durante baixa-mar de sizígia. Essa condição assegura maior exposição da faixa de areia e melhor representação espacial contínua das feições monitoradas, principalmente para estudos oceanográficos.

Figuras 5, 6 e 7 – Imagens do trabalho de campo referentes ao levantamento topográfico realizado com receptor GNSS RTK.



Fonte: Elaborada pela autora.

De forma complementar, foram realizados levantamentos aerofotogramétricos com VANT modelo DJI Phantom 4 Pro V2.0, ao final de cada campanha mensal *in loco*. As imagens obtidas permitiram a geração de ortofotos e produtos derivados, com cobertura média de aproximadamente 200 m ao longo da faixa de praia, variando conforme as condições operacionais de cada campanha. A Figuras 8 e 9 ilustra as etapas do levantamento aerofotogramétrico em campo.

Figuras 8 e 9 – Etapas do levantamento aerofotogramétrico realizado com drone (VANT)



Fonte: Elaborada pela autora.

As imagens aéreas obtidas por drone foram processadas e georreferenciadas no *software* ArcGIS 10.5, com base na identificação de pontos de controle comuns às fotografias aéreas e às imagens de satélite. A partir das ortofotos geradas, foi elaborado o Modelo Digital do Terreno (MDT), utilizado para a extração de cinco perfis topográficos transversais à linha de costa (P1 a P5) na Figura 15, 16 e 17, espaçados aproximadamente 35 m entre si. As ortofotos possibilitaram a delimitação da área válida para a análise morfodinâmica, correspondente à porção efetivamente contemplada pelo MDT e à qual se restringiu a extração dos perfis topográficos. A maior área de cobertura do voo ocorreu em outubro de 2023, nos levantamentos de janeiro e abril de 2024, apenas os perfis inseridos na área imageada pelo VANT foram considerados. Os transectos situados fora dessa cobertura, indicados em vermelho nos produtos cartográficos, não foram considerados no processamento pelo ArcGis por não apresentarem informação altimétrica contínua e confiável, sendo utilizados somente aqueles destacados em verde.

A delimitação da área correspondente à zona úmida, com aproximadamente 6.894,5 m<sup>2</sup>, foi realizada a partir da integração dos dados obtidos em campo com o GNSS RTK, das ortofotos do drone e de medições auxiliares efetuadas no *software* Google Earth Pro. Nesse ambiente, foram traçados polígonos representativos da área delimitada, permitindo o cálculo da superfície em metros quadrados e garantindo compatibilidade espacial com os demais produtos cartográficos utilizados.

Para a organização espacial dos dados e a vetorização da linha de costa, também utilizou-se o ambiente SIG do ArcGIS 10.5, adotando-se como indicador o limite máximo de alcance das ondas (Crowell et al., 1991). A quantificação da variação da linha de costa foi estruturada por meio da extensão *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), desenvolvida pelo *United States Geological Survey* (USGS).

A ferramenta permite a geração de transectos ortogonais a partir de uma linha de base definida pelo usuário e a aplicação de métodos estatísticos para a análise temporal da evolução da linha de costa. Neste estudo, foram utilizados os métodos como a taxa de ponto final (*End Point Rate* - EPR), que estima a taxa de variação a partir da distância entre duas posições extremas da linha de costa no tempo, e a regressão linear (*Linear Regression Rate* - LRR), que calcula a tendência média de avanço ou recuo com base em múltiplas posições temporais, reduzindo a influência de variações pontuais. A aplicação conjunta desses métodos possibilitou a identificação de setores com tendências de erosão, estabilidade ou acreção, cujos resultados subsidiam as análises morfológicas e a interpretação da disponibilidade

espacial da faixa de praia apresentadas neste trabalho (Thieler et al., 2005; Farias & Maia, 2009, 2010).

### ***3.2.2 A utilização das imagens de vídeo para monitoramento do uso recreativo***

O monitoramento do uso recreativo da Praia da Taibinha foi realizado por meio da análise sistemática de imagens de vídeo, metodologia que permite a observação contínua do espaço praial e a identificação de variações temporais no padrão de ocupação, na densidade de usuários e nas atividades desenvolvidas ao longo do dia e entre diferentes dias da semana. As imagens foram obtidas a partir de uma câmera fixa instalada em ponto estratégico da praia, assegurando ampla cobertura visual da zona de uso recreativo, especialmente da zona úmida, e possibilitando a observação direta das áreas de maior concentração de usuários sem interferência na dinâmica natural ou no comportamento dos frequentadores.

A coleta de dados foi realizada por meio de uma câmera do tipo IP bullet varifocal, da marca Hikvision, instalada a aproximadamente 4,5 m de altura, na antiga barraca de praia Casa do P.A.S., localizada no setor conhecido como Taibinha. A câmera apresentava ângulo de visão fixo e privilegiado, abrangendo a área de maior intensidade de uso recreativo da praia.

O acesso às imagens ocorreu por meio da plataforma *SurfView*, sistema de monitoramento contínuo amplamente utilizado para acompanhamento de condições de ondas e uso de praias, com transmissão disponível 24 horas por dia. Para fins analíticos, os vídeos foram baixados em segmentos de 20 minutos, limite máximo permitido pela plataforma.

Em cada mês analisado, foram selecionados sete dias consecutivos, coincidentes com o período de realização dos trabalhos de campo, assegurando compatibilidade temporal entre os diferentes conjuntos de dados do estudo. Ao todo, foram analisados 30 vídeos por dia, cobrindo o intervalo diário entre 8h e 18h, período que concentra a maior parte das atividades recreativas na praia.

A Figuras 10, 11 e 12 ilustram as variáveis consideradas para a delimitação e descrição da área monitorada, destacando a instalação da câmera na barraca, um registro típico de usuários em dia de semana (segunda-feira), e a ocupação observada em um domingo, evidenciando diferenças no padrão de uso associadas à variação diária.

Figuras 10, 11 e 12 - Instalação da câmera de monitoramento e registros de usuários captados em dias de semana e fim de semana na Praia da Taibinha



Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.3 Determinação da Capacidade de Carga Física (CCF)

Este estudo foi conduzido segundo a metodologia proposta por Ruschmann (1997) e Eugenio-Martin (2004), conforme aplicada por Silva et al. (2006) para o cálculo da capacidade de carga, que considera a densidade de usuários nos compartimentos praias, conforme a equação:

$$C = \frac{V}{k}$$

Onde: C= capacidade de carga; V= área disponível para uso; K= número de usuários.

Para a variável área ocupada por visitante, adotou-se o parâmetro de 10 m<sup>2</sup> por usuário, conforme proposto por Ruschmann et al. (2008). Esse valor tem sido amplamente empregado em estudos de capacidade de carga em praias arenosas, por representar uma condição mínima associada ao conforto do usuário e à manutenção da qualidade da experiência recreativa. Parâmetros semelhantes foram adotados em estudos realizados no litoral brasileiro, incluindo aplicações no estado do Ceará, o que reforça a adequação desse valor às características da Praia da Taibinha (Medeiros, 2012; Albuquerque, 2017).

Destaca-se que esse parâmetro não deve ser interpretado como um valor universal aplicável a todas as praias, uma vez que a área necessária por usuário pode variar em função da morfologia praial, do grau de urbanização, do tipo de atividade predominante e do nível de conforto desejado. Assim, o valor adotado neste estudo possui caráter técnico e operacional, sendo amplamente utilizado como referência em pesquisas voltadas ao ordenamento do uso recreativo, conforme demonstrado em estudos recentes de gestão costeira e capacidade de carga (ENGEMA, 2022).

### 3.4 Sazonalidade dos períodos analisados

O monitoramento do uso recreativo foi realizado no período entre agosto de 2023 e janeiro de 2024, permitindo a avaliação da variabilidade temporal associada a distintos contextos climáticos e sociais. A baixa estação foi definida como o período compreendido entre os meses de agosto e outubro de 2023, caracterizado pela intensificação dos ventos no litoral cearense, condição que favorece a prática de esportes náuticos associados ao turismo de sol e vento, como *kitesurf* e *windsurf*. Já a alta estação correspondeu aos meses de novembro de 2023 a janeiro de 2024 (Tabela 1), período marcado pela redução da intensidade dos ventos, pela ocorrência de férias escolares e pelo aumento do fluxo turístico convencional, associado principalmente ao turismo de sol e praia, com maior presença de banhistas e usuários recreativos.

Tabela 1 – Cronograma de coletas referentes à análise de usuários utilizado para a determinação da Capacidade de Carga Física (CCF)

| Período       | Mês             | Dias    |
|---------------|-----------------|---------|
| Baixa estação | Agosto (2023)   | 1 - 7   |
|               | Setembro (2023) | 14 - 20 |
|               | Outubro (2023)  | 14 - 20 |
| Alta estação  | Novembro (2023) | 13 - 19 |
|               | Dezembro (2023) | 12 - 18 |
|               | Janeiro (2024)  | 11 - 17 |

Fonte: Elaborado pela autora.

De forma complementar, a definição dos meses do levantamento da linha de costa e à caracterização da morfologia praias também considerou critérios sazonais. O mês de agosto de 2023 (sem voo de drone) correspondeu ao início do levantamento topográfico com GNSS RTK, contemplando o registro inicial da linha de costa e dos perfis praias. O mês de outubro de 2023 foi selecionado por situar-se no período pós-equinocial, possibilitando a observação de eventuais respostas morfológicas associadas a condições de maior energia. O mês de janeiro de 2024, por sua vez, representou o início da quadra chuvosa no Ceará, etapa relevante para a análise da influência das primeiras precipitações sobre a dinâmica costeira.

No que se refere à aerofotogrametria com drone e à geração do MDT, os levantamentos foram realizados nos meses de outubro de 2023, janeiro e abril de 2024, sendo este último correspondente ao encerramento da quadra chuvosa.

### 3.5 Limitações metodológicas

As limitações metodológicas (Figura 13) deste estudo estão associadas, principalmente, às restrições operacionais do sistema de monitoramento por vídeo e às condições naturais do ambiente costeiro. A câmera utilizada possui posição fixa e campo de visão limitado, o que, em determinados horários do dia, especialmente no turno da tarde, reduziu a visualização da faixa de pós-praia, pois se encontrava submerso. Essa limitação relaciona-se à geometria de instalação do equipamento e às variações do nível do mar ao longo do ciclo de maré, que influenciam a largura da faixa de areia exposta, restringindo a observação sobretudo ao estirâncio e ao setor adjacente da antepraia.

Figura 13 - Limitação na visibilidade da câmera de monitoramento



Fonte: *SurfView*.

A análise exigiu atenção rigorosa para evitar a duplicação de indivíduos entre registros consecutivos, uma vez que a repetição de usuários ao longo dos vídeos poderia comprometer a confiabilidade da contagem e, conseqüentemente, a estimativa da CCF.

No que se refere ao levantamento aerofotogramétrico, observou-se que, em alguns meses, os voos com drone não abrangeram integralmente a área delimitada para o estudo. Essa limitação esteve associada a fatores operacionais, como condições meteorológicas, restrições de tempo de voo e ajustes no planejamento das missões, resultando em variações na extensão espacial coberta pelas ortofotos mensais. Ainda assim, os produtos gerados foram considerados adequados para a caracterização morfológica do trecho registrado, sendo integrados aos demais dados geoespaciais disponíveis.

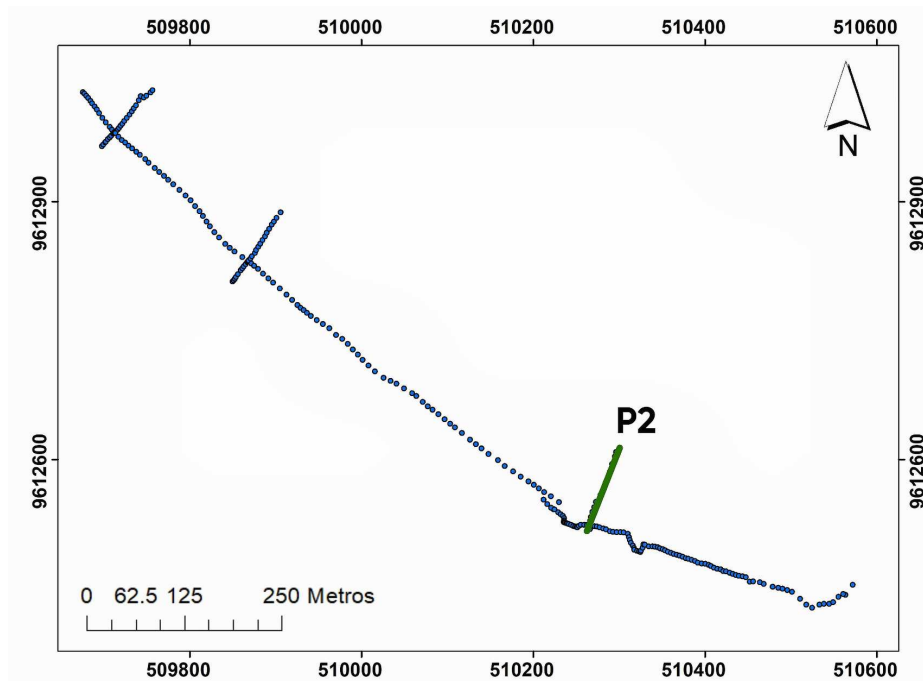
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização morfodinâmica do trecho analisado

A análise integrada dos perfis topográficos obtidos ao longo do período de monitoramento evidencia um comportamento morfodinâmico consistente, no qual a configuração do perfil praiar é controlada principalmente pela posição e morfologia da berma, pela declividade da face da praia e por interferências localizadas associadas à drenagem superficial. Esse conjunto de características enquadra o trecho analisado em um estado morfodinâmico predominantemente intermediário, conforme a classificação proposta por Wright & Short (1984), típica de praias com elevada variabilidade espacial e resposta rápida às mudanças nas condições hidrodinâmicas.

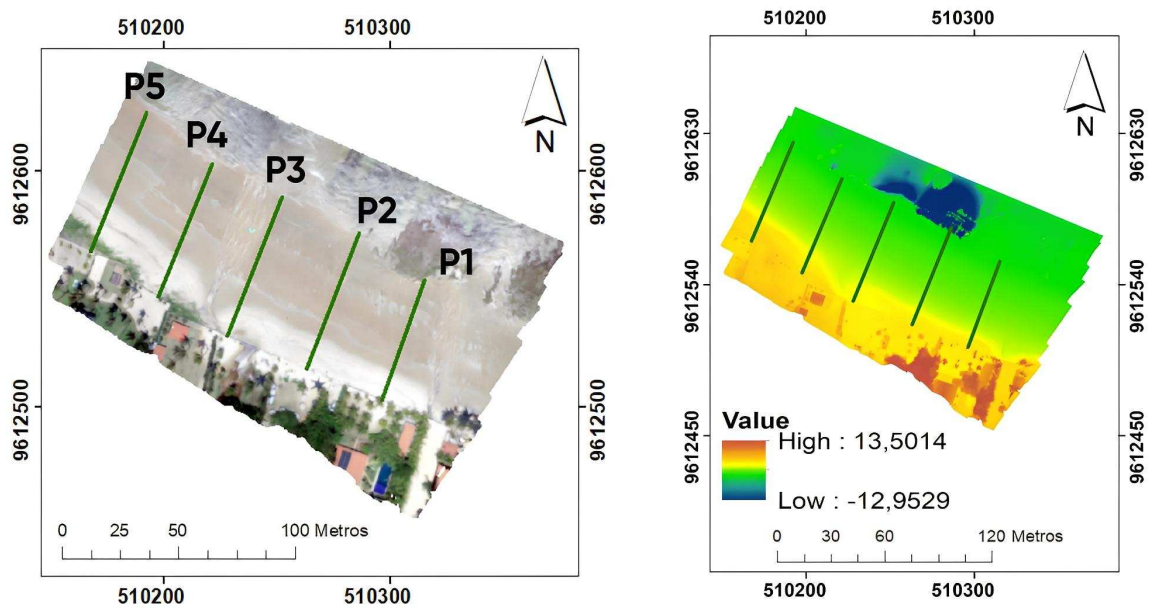
A Figura 14, referente ao mês de agosto de 2023, representa um conjunto de pontos altimétricos obtidos diretamente em campo por meio de levantamento GNSS RTK, cuja interpolação no ArcGis resultou na geração do perfil topográfico desse período. Ressalta-se que, em agosto não foi realizado voo com drone, contudo o monitoramento por RTK já estava em andamento, permitindo a obtenção de perfis precisos.

Figura 14 - Perfil praiar obtido a partir de pontos levantados em campo com GNSS RTK em agosto de 2023



Fonte: Elaborado pela autora.

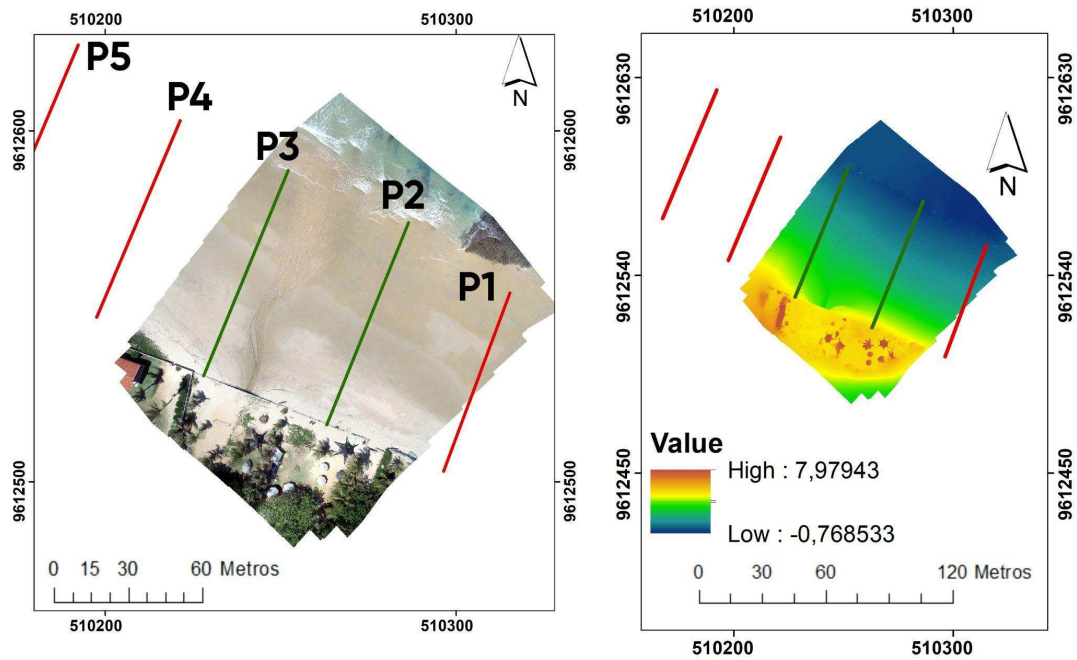
Figura 15 - Perfil praiial dos dados do MDT de Outubro de 2023



Fonte: Elaborado pela autora.

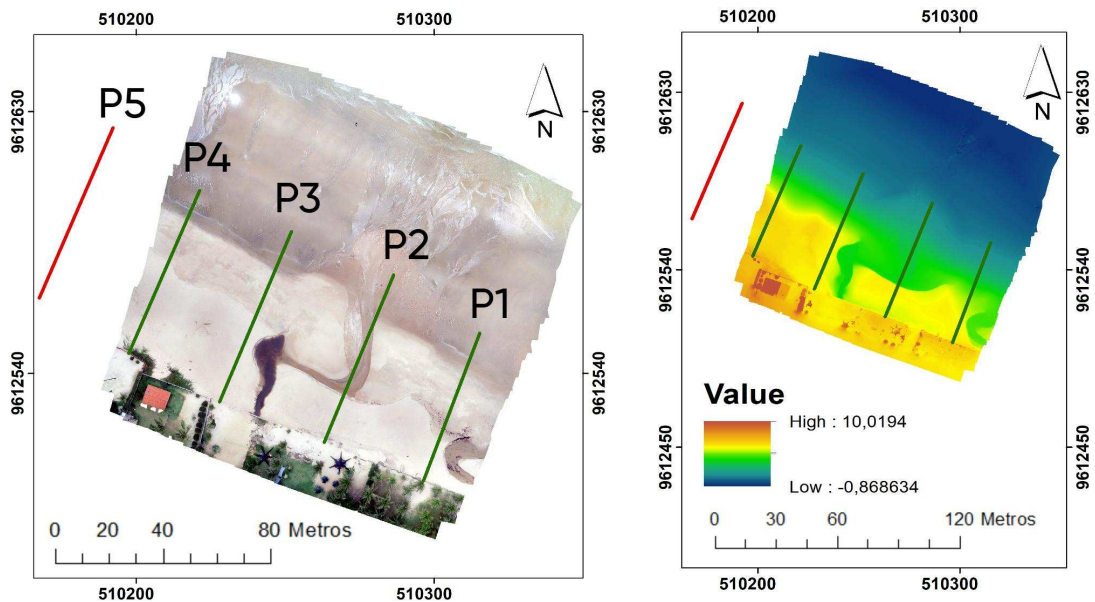
A interpretação dos produtos altimétricos baseou-se na variação cromática das ortofotos, na qual tonalidades quentes indicam setores de maior elevação topográfica, associados à pós-praia e às bermas, enquanto tonalidades frias representam áreas de menor elevação, correspondentes ao estirâncio e à zona de espraiamento, diretamente influenciadas pela ação hidrodinâmica. O Modelo Digital do Terreno (MDT) permite visualizar essas variações altimétricas de forma integrada, por meio de uma representação cromática em que as áreas mais elevadas aparecem em tons mais quentes e as áreas rebaixadas em tons mais frios. Esse gradiente altimétrico do setor emerso em direção à faixa ativa da praia é evidenciado nas Figuras 15, 16 e 17, refletindo a organização morfodinâmica do trecho analisado.

Figura 16 - Perfil praiar dos dados do MDT de Janeiro de 2024



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 17 - Perfil praiar dos dados do MDT de Abril de 2024



Fonte: Elaborado pela autora.

A disposição dos perfis ao longo da faixa de praia permite atravessar os principais compartimentos funcionais do perfil praiar, desde a berma até a zona de espraiamento, assegurando que as comparações temporais reflitam variações reais da morfologia e não

diferenças decorrentes da cobertura espacial dos dados. A comparação dos perfis extraídos a partir do MDT ao longo dos meses possibilita identificar mudanças na posição da berma, na inclinação da face da praia e na largura da faixa de areia, permitindo avaliar a resposta morfodinâmica do sistema às variações sazonais.

Além disso, a disposição dos perfis ao longo da faixa de praia possibilita a identificação de setores com maior continuidade morfológica e outros marcados por respostas mais abruptas, associadas a condicionantes locais. Entre esses condicionantes, destaca-se a atuação da galeria pluvial, cuja influência é claramente observada tanto nos perfis topográficos quanto nos registros fotográficos de campo e nos modelos altimétricos (Figuras 14 e 17). Nos transectos que interceptam diretamente a área de drenagem, em especial o Perfil 2, verifica-se maior variabilidade altimétrica, presença de sulcos erosivos e aumento localizado da declividade da face da praia.

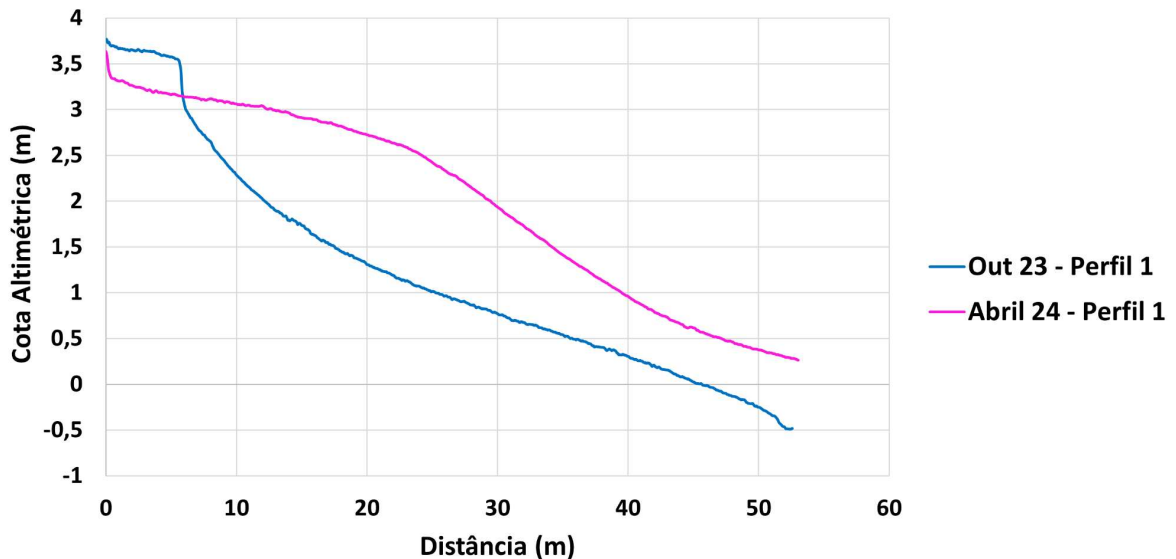
Conseqüentemente, os perfis topográficos são analisados individualmente (P1 a P5), com base na comparação entre os meses representados nos gráficos. A leitura comparativa permite identificar variações na posição da berma, na declividade da face da praia e na resposta morfológica de cada perfil ao longo do período monitorado, destacando diferenças espaciais associadas à atuação de condicionantes locais.

No litoral do Ceará, a dinâmica ambiental apresenta marcada sazonalidade, associada à alternância entre um período seco, caracterizado pela intensificação dos ventos alísios, e um período chuvoso, marcado pelo aumento da precipitação e do aporte continental, padrão amplamente evidenciado por dados climatológicos e meteorológicos regionais disponibilizados por instituições oficiais, como a FUNCEME e o INMET. No contexto costeiro, essa variabilidade climática reflete-se em respostas morfodinâmicas da faixa de praia, expressas por fases de maior mobilização e posterior reorganização sedimentar. Essas respostas são evidenciadas, no presente estudo, pela análise dos perfis topográficos derivados do MDT e extraídos no ambiente ArcGIS, os quais permitem avaliar de forma objetiva as variações verticais do estirâncio e da berma ao longo dos meses analisados (FUNCEME, 2023; INMET, 2023).

No Perfil 1, representado no Gráfico 1, observa-se que em outubro o perfil apresenta berma mais recuada e face praial mais inclinada, indicando condições associadas a maior energia hidrodinâmica e predominância de processos erosivos relativos. Em abril de 2024, verifica-se avanço da berma e maior suavização da declividade do estirâncio, evidenciando aporte sedimentar, esse padrão é compatível com a resposta sazonal descrita para praias

arenosas submetidas a ciclos de erosão no período seco e reconstrução no período chuvoso (Masselink et al., 2009).

Gráfico 1 - Perfil topográfico 1

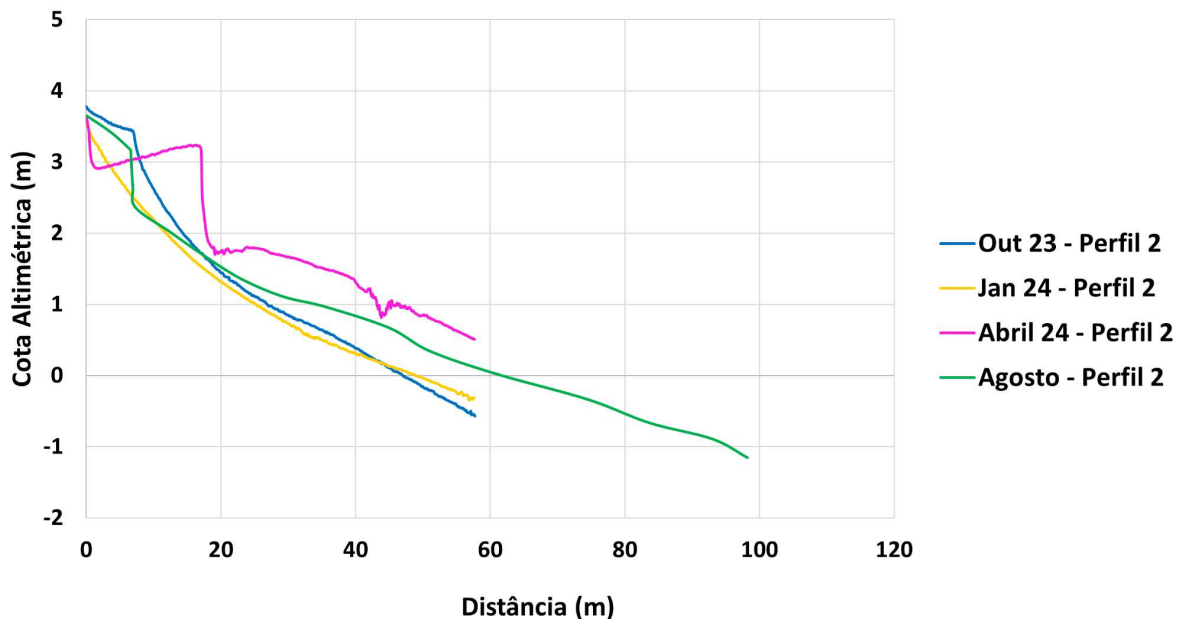


Fonte: Elaborado pela autora.

O Perfil 2 presente no Gráfico 2, apresenta comportamento morfodinâmico mais complexo quando comparado aos demais, o que está diretamente associado à sua proximidade com o riacho temporário formado pela galeria pluvial, conforme evidenciado nas ortofotos com a localização dos perfis. A comparação entre outubro de 2023, janeiro de 2024 e abril de 2024 revela elevada variabilidade altimétrica, com descontinuidades abruptas e alterações na posição da berma.

Em outubro, a berma apresenta-se mais rebaixada e próxima da linha de espraçamento, sugerindo remoção sedimentar concentrada. Em janeiro, observa-se perfil mais suavizado, porém ainda marcado por irregularidades locais. Já em abril de 2024, o perfil exibe berma elevada e assimétrica, associada à deposição sedimentar induzida pelo escoamento superficial da galeria pluvial. Essa configuração indica a formação de uma berma artificial, distinta das bermas naturais formadas exclusivamente pela ação das ondas, corroborando interpretações de que estruturas de drenagem podem atuar como focos de instabilidade morfodinâmica e reorganização local do estirâncio (Alfredini, 2005; Muehe, 2006).

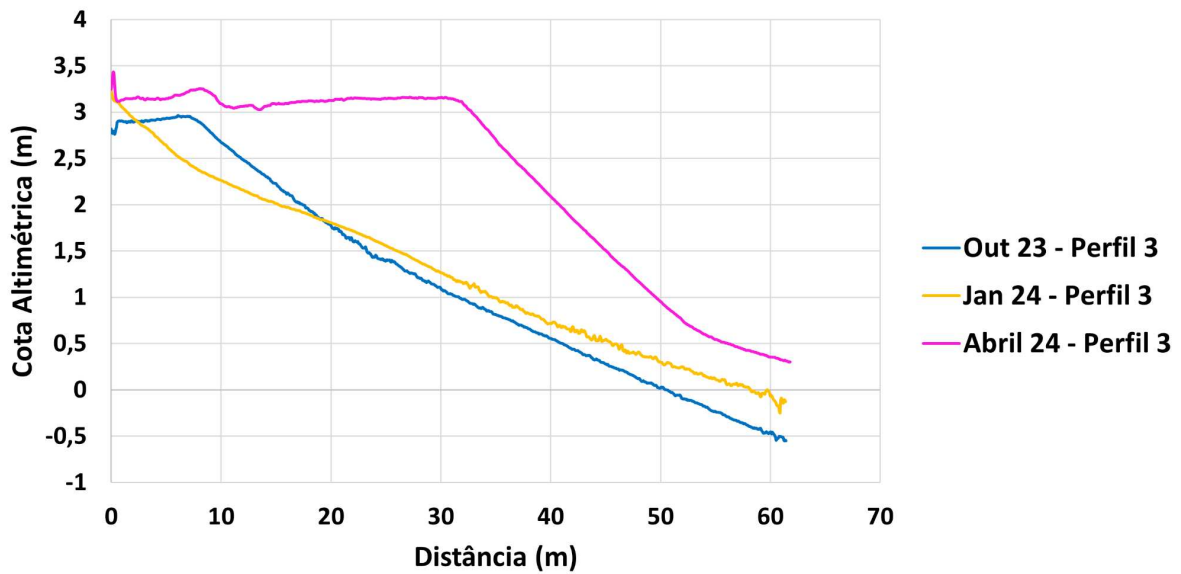
Gráfico 2 - Perfil topográfico 2



Fonte: Elaborado pela autora.

O Perfil 3, no Gráfico 3, apresenta comportamento intermediário entre os setores mais estáveis e aqueles diretamente influenciados pela drenagem pluvial. A comparação entre outubro de 2023, janeiro de 2024 e abril de 2024 evidencia variação progressiva da posição da berma e da inclinação da face praial, com variação paralela a costa. Em outubro, o perfil é mais íngreme e apresenta berma menos desenvolvida, enquanto em janeiro ocorre leve atenuação da declividade. Em abril, observa-se avanço significativo da berma e preenchimento do estirâncio, indicando fase deposicional mais homogênea quando comparada ao Perfil 2 (Gráfico 2). Esse comportamento sugere que embora o Perfil 3 responda à variabilidade sazonal, ele não sofre influência direta da drenagem superficial, refletindo predominantemente a dinâmica hidrodinâmica regional.

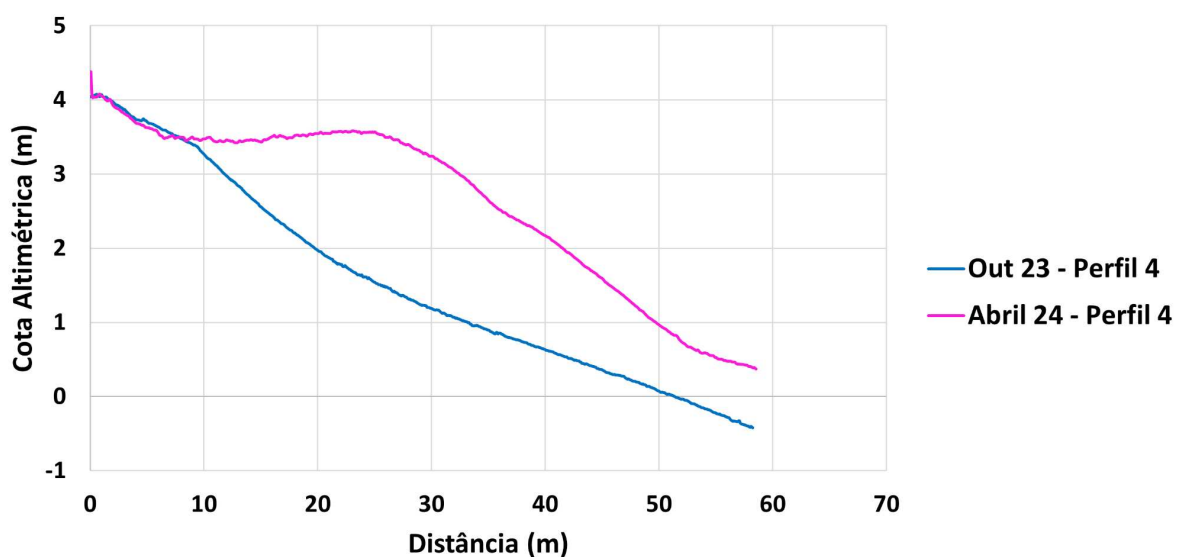
Gráfico 3 - Perfil topográfico 3



Fonte: Elaborado pela autora.

No Perfil 4, presente no Gráfico 4, observa-se que em outubro a faixa de praia estava mais inclinada e berma menos desenvolvida, compatível com condições erosivas relativas. Em abril, o perfil apresenta berma elevada, deslocada para a antepraia, e redução da inclinação do estirâncio, caracterizando clara fase de acreção sedimentar. A magnitude dessas alterações indica elevada capacidade de resposta morfológica do setor, associada ao balanço sedimentar positivo no período pós-chuvoso, conforme descrito para praias intermediárias sujeitas a variações sazonais de energia (Wright & Short, 1984).

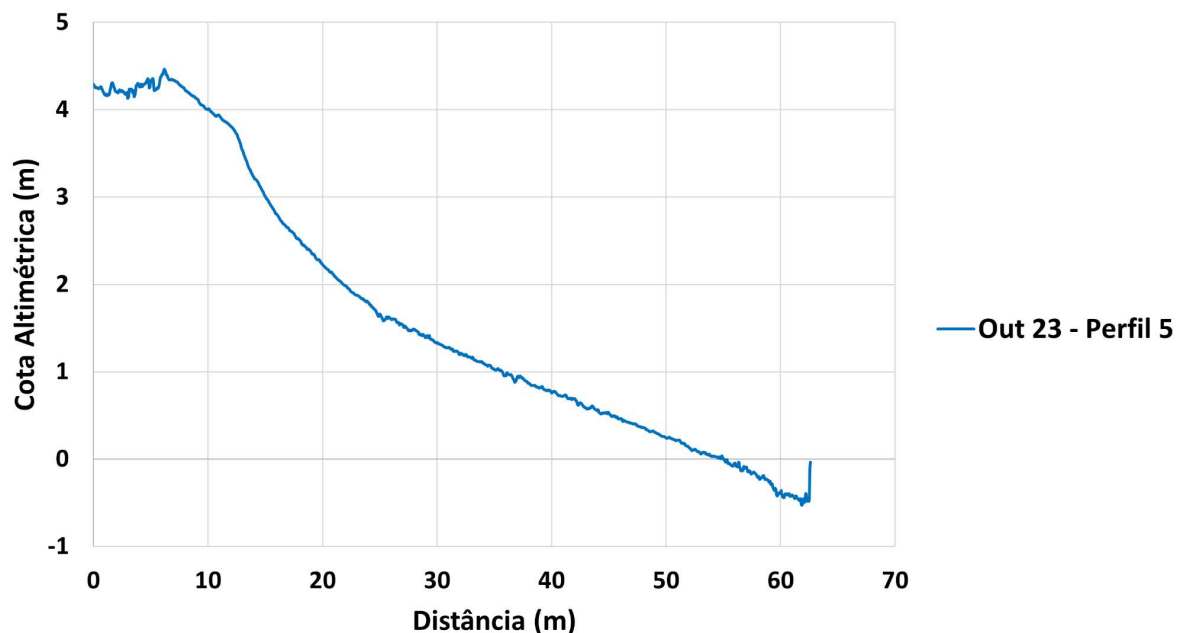
Gráfico 4 - Perfil topográfico 4



Fonte: Elaborado pela autora.

O Perfil 5, representado pelo Gráfico 5 é analisado apenas em outubro de 2023, apresenta berma elevado e face praial íngreme, compatíveis com condições de maior energia hidrodinâmica. Esse comportamento está associado ao aumento da energia de ondas incidentes do tipo *swell*, que são geradas por sistemas meteorológicos distantes da área costeira e caracterizam-se por maior período e comprimento de onda, propagando-se de forma mais organizada e transportando elevada energia até a costa, onde intensificam o espraiamento das ondas e o retrabalhamento sedimentar da face praial (Komar, 1977), além da intensificação dos ventos alísios, típicos do período seco no litoral do Ceará.

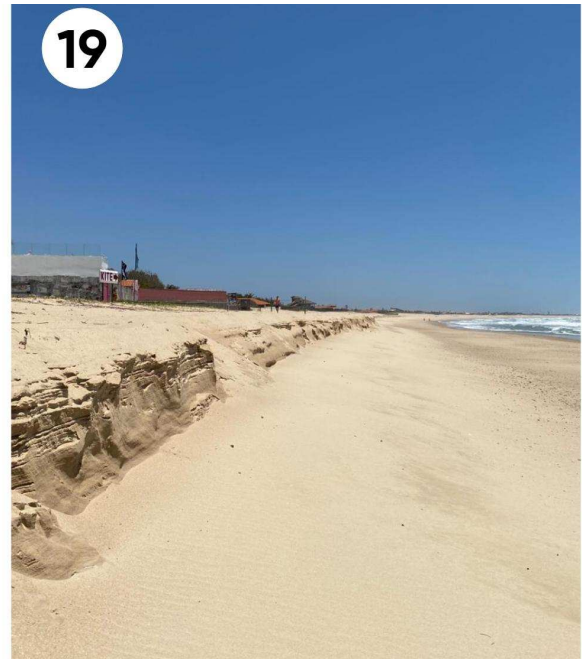
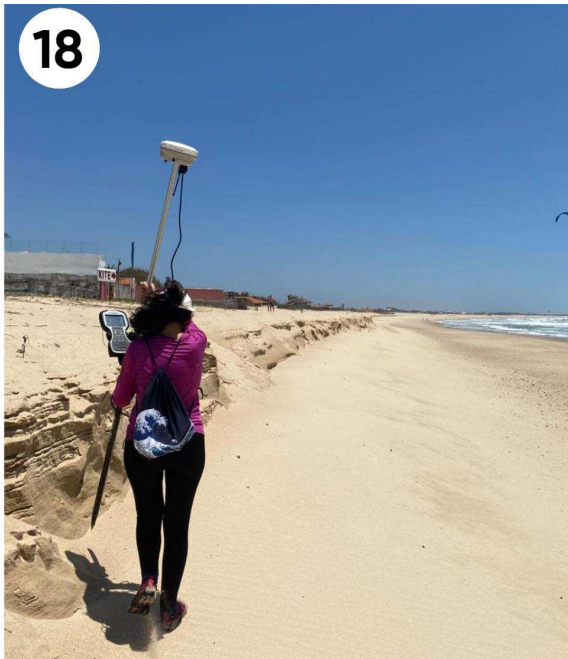
Gráfico 5 - Perfil topográfico 5



Fonte: Elaborado pela autora.

Embora não esteja associada ao lançamento de efluentes, a galeria pluvial atua como elemento condicionante local da morfodinâmica praial, ao concentrar o escoamento das águas provenientes do sistema dunar. Esse processo favorece a remoção localizada de sedimentos, resultando em instabilidade do estirâncio e na formação de bermas assimétricas.

Figuras 18 e 19 - Formação de “berma natural” por ação das ondas



Fonte: Elaborado pela autora.

As imagens de campo (Figuras 20 e 21) evidenciam a presença de um canal erosivo transversal à faixa de praia, com margens abruptas, fundo rebaixado e acúmulo de algas, feições coerentes com as discontinuidades topográficas identificadas nos perfis derivados do MDT.

Figuras 20 e 21 - Formação de “berma artificial” por acumulação sedimentar da galeria pluvial



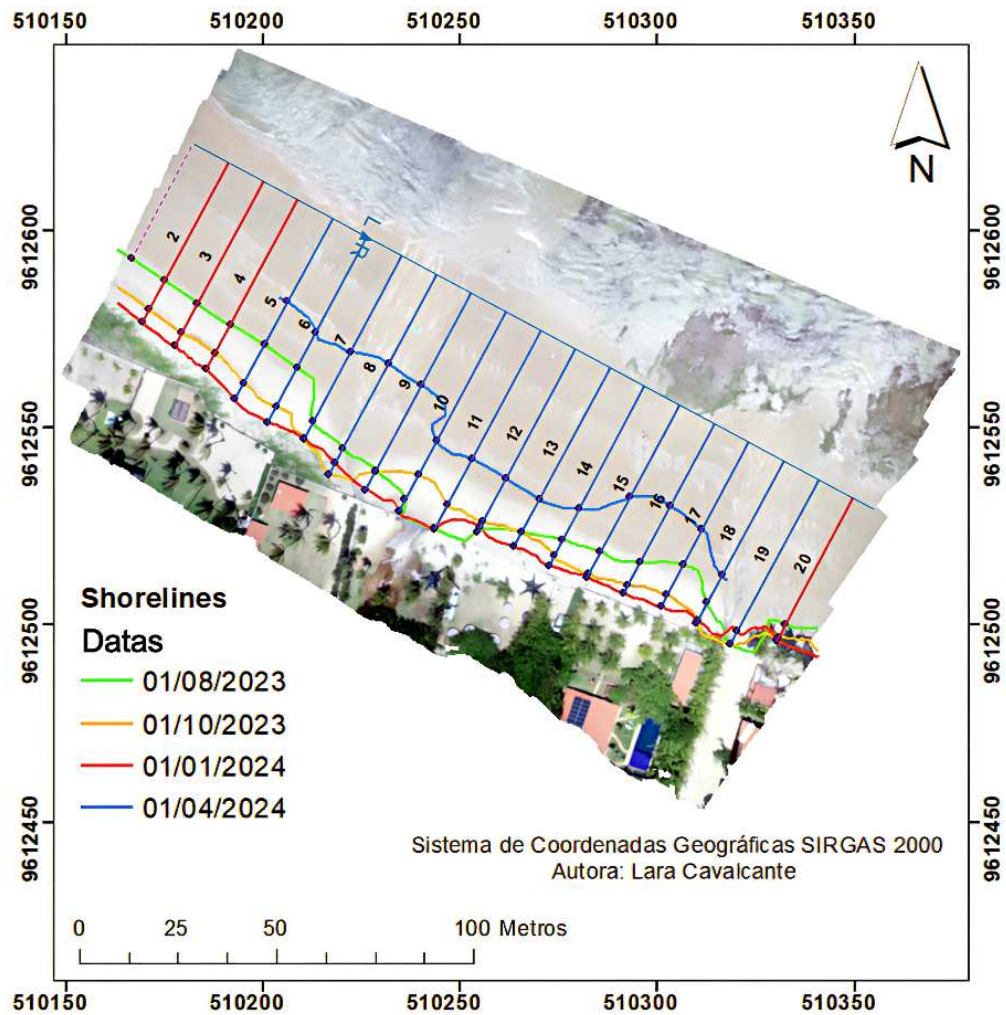
Fonte: Elaborado pela autora.

Os monitoramentos em campo foram fundamentais para a interpretação dos resultados morfodinâmicos, pois permitiram diferenciar a berma natural (Figuras 18 e 19), formada pelo empilhamento sedimentar induzido pelo espraiamento das ondas, da berma artificial (Figuras 20 e 21) associada ao escoamento concentrado das águas pluviais. As observações, corroboradas pelos registros fotográficos, evidenciam que a descarga pluvial promove acúmulo localizado de sedimentos imediatamente a jusante, gerando uma feição assimétrica e descontínua, marcada pela formação de degraus íngremes e ressaltos topográficos elevados. Essa geometria contrasta com as bermas naturais, que tendem a apresentar maior continuidade lateral e transições mais suaves, e resulta na segmentação do estirâncio e na interrupção da conectividade lateral da faixa de areia, com implicações diretas para a estabilidade morfológica e o uso recreativo do trecho analisado.

Os transectos não diretamente influenciados pela galeria pluvial apresentam perfis mais contínuos e homogêneos, compatíveis com a morfodinâmica geral do trecho analisado, indicando que a heterogeneidade espacial observada decorre principalmente da interferência localizada da drenagem, e não de alterações generalizadas do sistema praial. Do ponto de vista funcional, as imagens evidenciam que a berma artificial e o canal erosivo associados à galeria promovem irregularidade do substrato, redução da faixa de areia seca e aumento do risco à circulação de usuários, especialmente em áreas de travessia, corroborando a abordagem sistêmica proposta por Muehe (2006) ao destacar a relevância de processos erosivos localizados na gestão do uso público em praias arenosas.

A análise da variação da linha de costa em escala mensal (Gráfico 6) evidencia um comportamento sazonal bem definido, marcado por alternância entre fases erosivas e deposicionais, conforme ilustrado no gráfico de variação entre os meses (Figura 22) e pela sobreposição das *shorelines*.

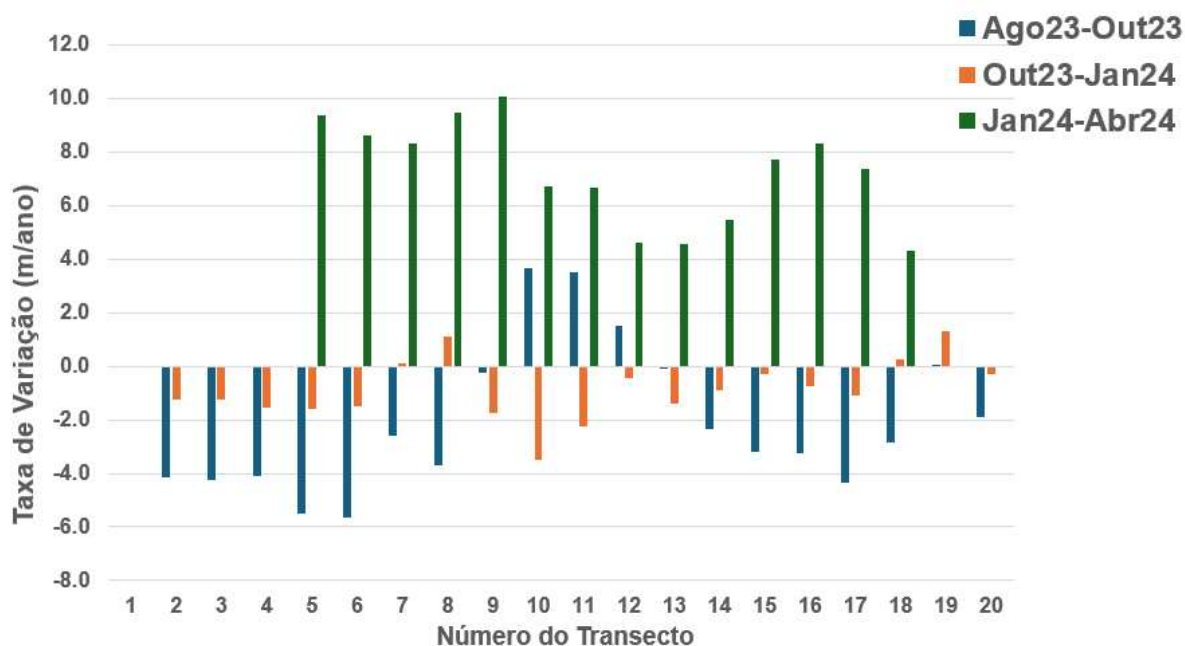
Figura 22 - Distribuição dos transectos e variações da linha de costa no trecho monitorado, segundo DSAS.



Fonte: Elaborado pela autora.

Entre agosto de 2023 e outubro de 2023, as taxas de variação da linha de costa variaram aproximadamente entre  $-5.6$  m/ano e  $+3.7$  m/ano, com predominância de valores negativos ao longo da maioria dos transectos, indicando recuo da linha de costa e perda sedimentar nesse intervalo. As *shorelines* correspondentes posicionam-se de forma sistematicamente mais recuada, corroborando a interpretação de uma fase erosiva associada a períodos de maior energia hidrodinâmica, caracterizados pelo retrabalhamento do estirâncio e pela redução da largura da faixa de areia exposta.

Gráfico 6 - Taxa de variação da linha de costa por ano, entre todos os meses analisados



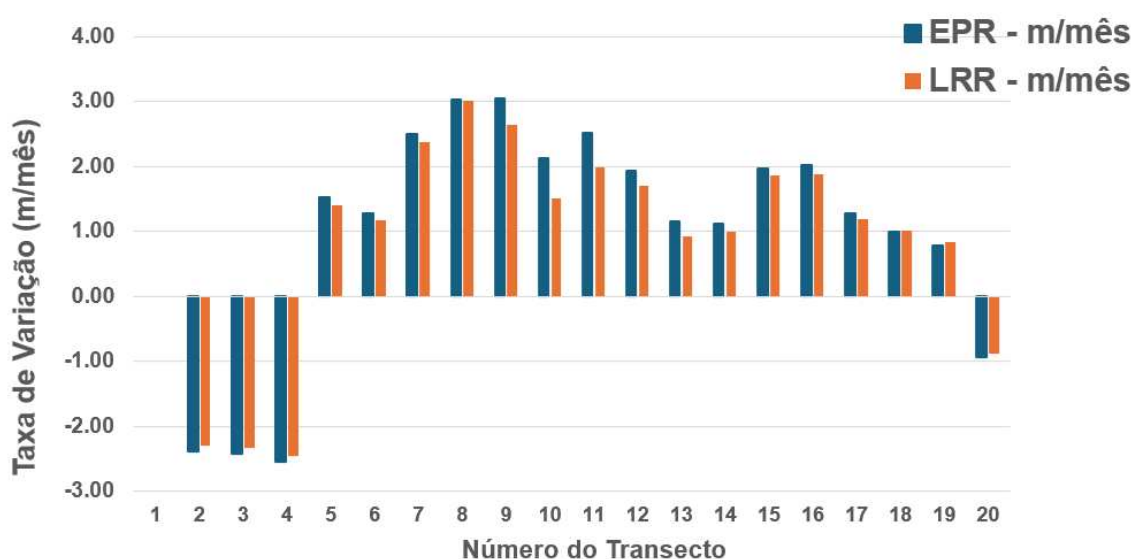
Fonte: Elaborado pela autora.

No intervalo subsequente, entre outubro de 2023 e janeiro de 2024, observa-se atenuação da erosão e maior proximidade da estabilidade morfodinâmica, com alternância pontual entre recuo e avanço da linha de costa. As taxas de variação registraram valores negativos de até  $-3.5$  m/ano no transecto 11, localizado em frente à galeria pluvial, refletindo a influência localizada da drenagem superficial sobre a dinâmica sedimentar. Em contraste, o transecto 10 apresentou valores positivos de até  $+1.3$  m/ano (Gráfico 6), indicando deposição pontual e reorganização do estirâncio. As shorelines correspondentes a esse período exibem menor deslocamento espacial, caracterizando uma fase de transição morfodinâmica, na qual o sistema passa por ajustes progressivos após o período de maior energia hidrodinâmica, sem deposição sedimentar expressiva em escala geral.

Por sua vez, entre janeiro de 2024 e abril de 2024, não foram registrados valores negativos de variação da linha de costa, predominando exclusivamente taxas positivas ao longo da maior parte dos transectos, com valores máximos de até  $+10.1$  m/ano. Esse comportamento caracteriza um avanço da linha de costa e a predominância de processos deposicionais (acréscimo sedimentar). As shorelines mais recentes evidenciam avanço relativo em diversos setores, refletindo a reorganização do sistema praial e a recuperação da faixa de areia, compatíveis com a diminuição relativa da energia hidrodinâmica e com o aporte sedimentar associado ao período chuvoso.

A análise das taxas de variação mensal e anual da linha de costa, estimadas pelos métodos *End Point Rate* (EPR) e *Linear Regression Rate* (LRR) (Gráficos 7 e 8), evidencia um comportamento sazonal bem definido, marcado pela alternância entre fases erosivas e deposicionais no trecho analisado. Em escala mensal, os valores de LRR variaram entre  $-2.46$  m/mês e  $+3.01$  m/mês, enquanto o EPR apresentou amplitudes semelhantes, entre  $-2.54$  m/mês e  $+3.06$  m/mês, indicando elevada variabilidade de curto prazo associada às condições hidrodinâmicas sazonais.

Gráfico 7 - Variação da linha de costa de metros por mês



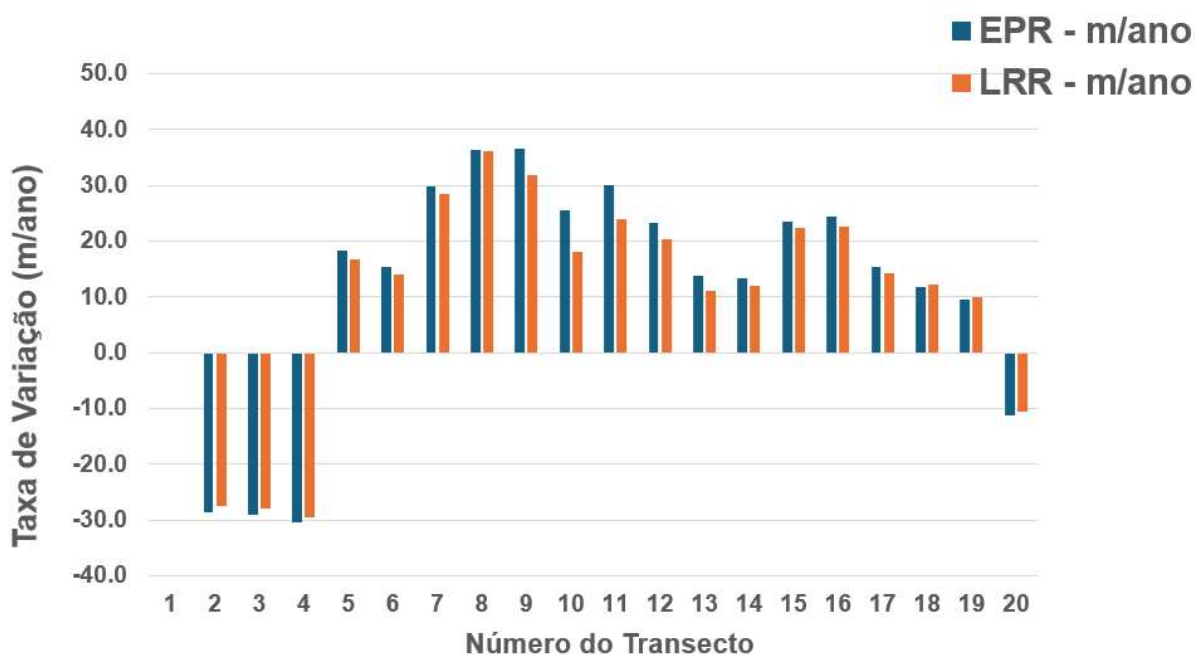
Fonte: Elaborado pela autora.

Entre agosto e outubro de 2023 (Gráfico 7), predominam valores negativos de EPR e LRR, caracterizando recuo da linha de costa e transporte sedimentar temporário para *offshore*, típico de períodos de maior energia hidrodinâmica. No intervalo subsequente, entre outubro de 2023 e janeiro de 2024, observa-se atenuação da erosão, com taxas próximas da estabilidade e alternância pontual entre recuo e avanço, configurando uma fase de transição morfodinâmica. Já entre janeiro e abril de 2024, predominam valores positivos, com migração sedimentar em direção à faixa emersa (*onshore*), avanço da linha de costa e reconstrução da berma.

Em escala anual (Gráfico 8), as taxas estimadas pelo LRR variaram entre  $-29.5$  m/ano e  $+36.1$  m/ano, enquanto o EPR apresentou valores entre  $-29.1$  m/ano e  $+36.7$  m/ano, evidenciando a coexistência de setores com comportamento erosivo e deposicional. A concordância entre os padrões mensais observados pelo EPR e as tendências anualizadas pelo

LRR, com predominância de valores positivos, indica que o sistema não apresenta tendência erosiva persistente, mas sim ajustes morfodinâmicos sazonais, resultando em estabilidade relativa ou progradação moderada ao longo do ano.

Gráfico 8 - Variação da linha de costa de metros por ano



Fonte: Elaborado pela autora.

Esse encadeamento de erosão com transporte *offshore* temporário, seguida por estabilização e acresção com retorno *onshore*, é coerente com o comportamento descrito para praias arenosas por Masselink et al. (2009), indicando que as variações observadas refletem a dinâmica natural do sistema praial no trecho analisado.

#### 4.2 Análise da capacidade de carga na praia da Taibinha

A CCF constitui um dos principais instrumentos conceituais para a gestão do uso público em praias arenosas, ao estabelecer limites quantitativos de ocupação compatíveis com a manutenção das funções ambientais e com a qualidade da experiência dos usuários. No campo da oceanografia costeira e do planejamento recreativo, esse conceito é compreendido como um indicador dinâmico, fortemente condicionado pela largura útil da praia, pela morfologia do estirâncio, pela variabilidade hidrodinâmica e pelos padrões temporais de uso humano, e não como um valor fixo ou universal.

Estudos clássicos demonstram que o espaço necessário por usuário em praias varia amplamente conforme o contexto físico e sociocultural. De Ruyck (1997), ao analisar praias arenosas da África do Sul, identificou intervalos de conforto entre 6,3 e 25 m<sup>2</sup> por indivíduo, ressaltando que esses valores refletem tanto a largura disponível da faixa emersa quanto o tipo de atividade predominante. Em perspectiva semelhante, Andric (1962) indicou que limites entre 5 e 25 m<sup>2</sup> por usuário são comuns em praias europeias, variando conforme o grau de urbanização e a intensidade do uso. Forbatha & Mawhinney (1973), ao tratarem do planejamento costeiro na Irlanda, propuseram 10 m<sup>2</sup> por frequentador como valor de referência, sobretudo em praias com menor largura útil. Em praias portuguesas, Da Silva (2002) apontou que valores entre 5 e 10 m<sup>2</sup> por usuário representam um limiar adequado para evitar congestionamento em contextos de uso turístico sazonal.

As diferenças observadas entre os valores propostos nesses estudos evidenciam que a CCF não constitui um parâmetro fixo ou universal, mas sim um indicador que deve ser interpretado à luz das características geomorfológicas da praia, das condições ambientais locais, do padrão de uso recreativo e das expectativas socioculturais dos usuários. Dessa forma, a comparação entre diferentes realidades costeiras reforça a necessidade de ajustes metodológicos e de análises contextualizadas na aplicação do conceito de CCF a estudos de caso específicos, como o da Praia da Taibinha.

Tabela 2 - Apresenta os meses analisados, destacando os dias com menor e maior número de visitantes, juntamente com o valor total do número de usuários e a área ocupada em metros quadrados

| Mês/Ano | Dia com menor número de usuários | Nº de usuários | Área média por usuário (m <sup>2</sup> ) | Dia com maior número de usuários | Nº de usuários | Área média por usuário (m <sup>2</sup> ) |
|---------|----------------------------------|----------------|--|----------------------------------|----------------|--|
| ago./23 | 03 (quinta-feira)                | 4              | 1.724                                    | 06 (domingo)                     | 301            | 23                                       |
| set./23 | 20 (quarta-feira)                | 4              | 1.724                                    | 16 (sábado)                      | 91             | 76                                       |
| out./23 | 17 (terça-feira)                 | 3              | 2.298                                    | 14 (sábado)                      | 167            | 41                                       |
| nov./23 | 14 (terça-feira)                 | 6              | 1.149                                    | 19 (domingo)                     | 116            | 59                                       |
| dez./23 | 18 (segunda-feira)               | 3              | 2.298                                    | 17 (domingo)                     | 95             | 73                                       |
| jan./24 | 17 (quarta-feira)                | 7              | 985                                      | 14 (domingo)                     | 167            | 41                                       |
| jan./24 | 17 (quarta-feira)                | 7              | 985                                      | 14 (domingo)                     | 167            | 41                                       |

Fonte: Elaborado pela autora.

Com base nessas referências e na Tabela 2, foi adotada uma margem máxima de 10 m<sup>2</sup> por usuário para a determinação da CCF da Praia da Taibinha. A partir da contagem de usuários realizada entre os dias especificados apresentados na Tabela 1, foram obtidos os números de capacidade de carga para o trecho analisado durante os períodos de alta e baixa estação.

Na definição da CCF da área da Praia da Taibinha foram utilizados os seguintes dados:

- Área total do setor analisado: 6.894,5 m<sup>2</sup>
- Densidade de ocupação adotada: 10 m<sup>2</sup> por usuário

Conforme apresentado no 3.4 “Determinação da Capacidade de Carga Física (CCF)”, a estimativa da CCF foi realizada por meio da aplicação de uma fórmula simplificada, que desconsidera o fator tempo, permitindo a determinação do número máximo de usuários simultâneos admissíveis na área estudada. Aplicando os valores:

$$CCF = \frac{S}{v} = \frac{6.894,5 \text{ m}^2}{10 \text{ m}^2/\text{usuário}} = 689,45 \text{ usuários}$$

Portanto, a capacidade de suporte da Praia da Taibinha foi estimada em 689 usuários simultâneos para a área analisada. No entanto, ao longo do período de monitoramento, o número máximo registrado foi de 301 usuários, indicando que a ocupação observada não atingiu o limite máximo estimado segundo o cálculo da CCF, permanecendo, assim, dentro de níveis considerados adequados de uso.

Durante a análise dos meses considerados, foi constatado que o dia com maior número de usuários em um intervalo de carga para a Taibinha ocorreu em 6 de agosto, um domingo, com 301 usuários ocupando uma área média de aproximadamente 23 m<sup>2</sup>/usuário, no intervalo horário das 10:00 às 11:00. Por outro lado, os dias com menor número de visitantes foram 17 de outubro, terça-feira, e 18 de dezembro, segunda-feira, ambos com apenas 3 usuários presentes no horário entre 17:00 e 18:00, e 08:00 e 09:00, respectivamente, ocupando uma área média de 2298 m<sup>2</sup>/usuário.

$$\frac{6.894,5 \text{ m}^2}{301 \text{ usuários}} = 22,91 \text{ m}^2/\text{usuário}$$

De modo geral, a maior intensidade de uso concentrou-se entre 10:00 e 16:00 horas, com predomínio consistente do intervalo entre 10:00 e 11:00 horas como principal horário de pico ao longo dos meses analisados. Esse padrão temporal foi recorrente em diferentes dias da semana, indicando que o período da manhã concentra os maiores níveis de uso público na área estudada, resultado compatível com estudos sobre o uso recreativo de praias brasileiras, nos quais a ocupação varia ao longo do dia em função de fatores ambientais e funcionais, como temperatura, insolação e tipo de atividade desenvolvida (Silva et al., 2006; Medeiros et al., 2015).

A maior concentração de usuários no período matutino pode ser associada às condições térmicas relativamente mais amenas, com temperaturas médias em torno de 28 °C, quando comparadas aos horários do início da tarde, nos quais os valores tendem a se elevar no litoral cearense (INMET, 2023). Esse intervalo térmico é considerado favorável à permanência prolongada dos usuários e à prática de atividades recreativas e esportivas ao ar livre em praias de clima tropical, evidenciando que fatores ambientais e socioeconômicos, como o conforto térmico e a organização do tempo livre, exercem influência direta na dinâmica de uso da Praia da Taibinha.

Para avaliar o nível de congestionamento de uma praia, empregou-se a metodologia de classificação estabelecida pelo Instituto Brasileiro de Turismo (Embratur, 1975), o qual, a partir do ano de 2003, passou a integrar o Ministério do Turismo. Esta classificação compreende seis categorias distintas de congestionamento, conforme descrito na Tabela 3, destacando-se a categoria “confortável” que apresenta uma média entre 10 a 25 m<sup>2</sup> por usuário, acima de 25m<sup>2</sup> é considerado como “muito confortável”.

Os valores obtidos neste estudo são inferiores aos registrados por Albuquerque (2017) para a Praia do Futuro (239,32 m<sup>2</sup>/usuário) e para a Praia do Porto das Dunas (181,72 m<sup>2</sup>/usuário) durante a alta estação, no mesmo estado. Essa diferença evidencia uma maior intensidade de uso e menor disponibilidade espacial por indivíduo no trecho analisado da Praia da Taibinha, refletindo características específicas relacionadas à escala territorial, ao padrão de ocupação e à dinâmica de uso público local. Ainda assim, mesmo nos intervalos de maior concentração de usuários, a ocupação observada manteve-se dentro dos limites estabelecidos pela metodologia adotada, não caracterizando situação de saturação ou proximidade do limite máximo de uso da área analisada.

Tabela 3 - Classificação do grau de congestionamento segundo a Embratur (1975).

| Grau de congestionamento | Capacidade de carga       |
|--------------------------|---------------------------|
| Muito confortável        | 25m <sup>2</sup> /usuário |
| Confortável              | 10m <sup>2</sup> /usuário |
| Conforto regular         | 5m <sup>2</sup> /usuário  |
| Saturação                | 3m <sup>2</sup> /usuário  |
| Intolerável              | 2m <sup>2</sup> /usuário  |

Fonte: Elaborado pela autora.

O grau de congestionamento examinado neste estudo é classificado como "confortável" em todos os casos, tendo alcançado sua máxima frequência ou ocupação com a presença de 301 visitantes e uma média de 23 m<sup>2</sup> por usuário, enquadrando-se, assim, nesta categoria. A capacidade de suporte da Praia da Taibinha, estabelecida em 301 usuários, manteve-se dentro do limite definido, assegurando que a ocupação não ultrapassasse e consequentemente comprometesse o bem-estar e a experiência dos visitantes. Essa análise foi realizada a partir da contagem de usuários utilizando ferramentas de vídeo, que permitiram a estimativa precisa do número de frequentadores em diferentes horários. Vale ressaltar que à medida que a capacidade de carga aumenta, o nível de conforto usufruído pelo usuário também se eleva. Esse fenômeno resulta em uma extensão de área mais generosa disponível para a realização de atividades de lazer e recreação.

O presente estudo estabelece relação direta com pesquisas anteriores sobre capacidade de carga em praias urbanas, especialmente aquelas desenvolvidas no litoral de Fortaleza. Em comparação a esses trabalhos, a análise aqui proposta aplica o conceito de CCF em um contexto com menor grau de urbanização e maior influência de processos naturais, como a dinâmica erosiva e a sazonalidade do turismo de sol e vento. Ademais, a utilização de imagens de vídeo contínuas para a quantificação de usuários representa um avanço metodológico em relação às abordagens baseadas em registros fotográficos pontuais, permitindo maior detalhamento da variação temporal do uso recreativo. Esses resultados ampliam a compreensão sobre a aplicabilidade da CCF em diferentes realidades costeiras, evidenciando a necessidade de adaptações metodológicas conforme as características ambientais e funcionais da área analisada (Silva Filho, 2015).

### 4.3 Influência da morfodinâmica praial sobre a capacidade de carga física

A interpretação dos perfis topográficos, da variação da linha de costa e dos produtos altimétricos considerou as limitações operacionais descritas no subtópico 3.5, relacionadas à cobertura parcial do VANT e ao campo de visão fixo das imagens de vídeo. Ainda assim, as análises temporais foram realizadas de forma consistente, com integração entre dados de campo, GNSS RTK e aerofotogrametria, não comprometendo a confiabilidade dos resultados.

A CCF de praias arenosas não é condicionada exclusivamente pela demanda de usuários, mas sobretudo pelo estado morfodinâmico do sistema praial, que define a extensão, a continuidade e a segurança da faixa de areia disponível ao uso recreativo. No trecho analisado, a integração entre a variação da linha de costa, os perfis topográficos e a configuração da berma evidencia que alterações morfológicas, mesmo quando localizadas, exercem influência direta sobre a distribuição espacial dos usuários e sobre o limite funcional de ocupação da praia.

A alternância sazonal entre fases erosivas e deposicionais, observada na variação da linha de costa, reflete-se de forma direta na largura útil da praia e na estabilidade do estirâncio. Em períodos marcados por recuo da linha de costa e transporte sedimentar *offshore*, a redução da faixa de areia seca impõe restrições físicas à permanência dos usuários, independentemente da intensidade da visitação. Por outro lado, fases de acréscimo e migração sedimentar *onshore* favorecem a reconstrução da berma e a ampliação temporária do espaço disponível, aumentando a capacidade de suporte do sistema. Esses ajustes morfodinâmicos reforçam que a CCF deve ser interpretada como um parâmetro dinâmico, sensível às variações do balanço sedimentar e da energia hidrodinâmica.

A berma praial exerce papel central na definição da CCF, atuando simultaneamente como elemento de proteção costeira e condicionante do uso recreativo. Bermas elevadas, íngremes ou assimétricas, associadas a eventos erosivos, geram desníveis abruptos que reduzem a acessibilidade e aumentam o risco aos usuários, sobretudo crianças e idosos, além de restringirem a circulação longitudinal e concentrarem a ocupação em setores mais estreitos da praia. Esse efeito é intensificado pela atuação da galeria pluvial, que concentra o escoamento superficial, promove remoção localizada de sedimentos e gera descontinuidades morfológicas no estirâncio, induzindo o deslocamento dos usuários para áreas adjacentes. Embora não associada a efluentes, a galeria favorece a formação de uma berma artificial e de

zonas de instabilidade, reduzindo a atratividade, a segurança e, conseqüentemente, a CCF efetiva do trecho analisado.

Adicionalmente, com os métodos utilizados para esse estudo, é notório que os processos erosivos recorrentes e a exposição de setores da pós-praia reduzem o espaço funcional disponível ao uso recreativo, independentemente do número de visitantes. Mesmo em intervalos de menor fluxo de usuários, a perda sedimentar e a presença de feições erosivas impõem limitações físicas que não são captadas apenas pela contagem de pessoas, mas que condicionam o conforto, a segurança e a permanência dos usuários.

A intensificação do uso recreativo tende ainda a ampliar a circulação de veículos automotores sobre a faixa de areia (Figuras 23 e 24), prática observada em determinados setores da praia. O tráfego veicular observado apresenta padrão claramente concentrado no período da manhã, entre 09:00 e 12:00 horas, independentemente do mês analisado. Esse intervalo coincide com a maior presença de esportes náuticos, especialmente nos meses de ventos mais intensos, como agosto, enquanto o período da tarde concentra majoritariamente banhistas e apresenta menor densidade de usuários. Essa organização temporal do uso indica que a CCF não é homogênea ao longo do dia, sendo fortemente influenciada pela combinação entre condições ambientais favoráveis, tipo de atividade praticada e disponibilidade espacial da faixa de areia.

Figuras 23 e 24 – Fluxo de veículos automotores na Taibinha.



Fonte: *SurfView*.

Além da dinâmica natural e do padrão temporal de uso, a circulação de veículos automotores sobre a faixa de praia constitui um fator adicional de influência indireta sobre a CCF. A literatura demonstra que o tráfego veicular em ambientes praias pode intensificar processos erosivos ao promover compactação do sedimento, alteração do perfil praias e

interferência no transporte sedimentar natural, conforme demonstrado por Vieira, Calliari e Oliveira (2004). No contexto analisado, a circulação de motocicletas, automóveis e tratores foi identificada como prática recorrente, sobretudo em trechos com faixa de areia estreita ou já afetados por processos erosivos. Embora não quantificado, o tráfego veicular atua como fator agravante da instabilidade morfodinâmica, reduzindo a qualidade do sedimento e a área efetivamente disponível ao uso recreativo.

## 5 CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que a Capacidade de Carga Física (CCF) da Praia da Taibinha é fundamentalmente controlada pela morfodinâmica praial, evidenciando forte sensibilidade às variações sazonais da linha de costa, à configuração e evolução da berma e à atuação de condicionantes locais, como a galeria pluvial. Os resultados confirmam que a disponibilidade espacial ao uso recreativo não depende exclusivamente do número de usuários, mas, sobretudo, da largura funcional do estirâncio e da estabilidade morfológica do sistema praial.

Entre agosto e outubro de 2023, predominaram taxas negativas de variação da linha de costa (até  $-5,6$  m/ano), caracterizando uma fase erosiva. Entre outubro de 2023 e janeiro de 2024, observou-se atenuação da erosão, com influência localizada da galeria pluvial ( $-3,5$  m/ano no transecto 11) e deposição pontual ( $+1,3$  m/ano no transecto 10). Já entre janeiro e abril de 2024, ocorreram apenas taxas positivas, com valores máximos de  $+10,1$  m/ano, indicando acresção sedimentar e recuperação da faixa de areia. Em escala mensal e anual, as estimativas por EPR e LRR indicam elevada variabilidade, porém com predominância de tendências positivas, caracterizando ajustes morfodinâmicos sazonais e ausência de erosão persistente.

Os perfis topográficos evidenciaram que a berma praial é o principal elemento controlador da morfologia do estirâncio, condicionando a acessibilidade, a segurança e a distribuição espacial dos usuários. Variações em sua posição e geometria, especialmente a formação de bermas íngremes ou assimétricas associadas a processos erosivos e à atuação da galeria pluvial, reduzem a conectividade lateral da faixa de areia e concentram o uso em setores mais estáveis, restringindo a capacidade de carga física efetiva. Embora a capacidade estimada tenha sido de 689 usuários, a ocupação máxima observada (301 usuários) enquadrou-se como “confortável” a “muito confortável” (Embratur, 1975), demonstrando que o conforto espacial não elimina as limitações físicas impostas pela morfologia praial e pelos processos erosivos locais.

A estimativa da CCF mostrou-se dependente da precisão da contagem de usuários, sendo a metodologia manual limitada pelo esforço operacional e pela variabilidade espacial e temporal do uso recreativo. Embora viável, esse procedimento apresenta limitações, evidenciando a necessidade de avanços metodológicos. Nesse sentido, a literatura aponta o

uso de ferramentas automatizadas baseadas em visão computacional e aprendizado de máquina como alternativa promissora para a contagem de pessoas em imagens e vídeos, permitindo estimativas mais consistentes mesmo em cenários de alta densidade e oclusão parcial (Chan et al., 2008; Zhang et al., 2016; Li et al., 2018). Técnicas modernas de *crowd counting*, como análise automatizada de imagens, geração de mapas de densidade e integração com sensores complementares, representam caminhos viáveis para o aprimoramento do monitoramento do uso recreativo e para o fortalecimento das análises de capacidade de carga em ambientes praias.

Conclui-se que a integração entre morfodinâmica praias e capacidade de carga física é fundamental para o planejamento sustentável da Praia da Taibinha, devendo a gestão do uso recreativo considerar a variabilidade espacial e temporal do sistema costeiro e seus condicionantes físicos.

## REFERÊNCIAS

- Albuquerque, S. S. **Capacidade de carga recreacional de praias arenosas turísticas do estado do Ceará**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.
- Andric, N. **Aspects régionaux de la planification touristique**. *Tourist Review*, v. 17, n. 3, p. 230–236, 1962.
- Assis, L. F. **Entre o turismo e o imobiliário: velhos e novos usos das segundas residências sob o enfoque da multiterritorialidade – Camocim/CE**. 2012. Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. DOI: 10.11606/T.8.2012.tde-23052012-220752. Acesso em: 24 nov. 2025.
- Baptista Neto, J. A.; Ponzi, V. R. A.; Sichel, S. E. **Introdução à geologia marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.
- Barbosa, L. M.; Furtado, J. R. **Ventos e uso turístico do litoral nordestino**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, n. 2, p. 345–360, 2013.
- Bender, M. A. et al. **Modeled impact of anthropogenic warming on the frequency of intense Atlantic hurricanes**. *Science*, v. 327, n. 5964, p. 454–458, 2010.
- Beni, M. C. **Análise estrutural do turismo**. São Paulo: Senac, 2000.
- Bird, E. C. F. **Submerging coasts: the effects of a rising sea level on coastal environments**. Chichester: Wiley, 1993.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Informações sobre a zona costeira brasileira**. Brasília: MMA, 2018. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br>. Acesso em: 10 fev. 2025.
- Brasil. Ministério do Turismo. **Segmentação do turismo: marcos conceituais**. Brasília: Ministério do Turismo, 2006.
- Buckley, R. **Environmental impacts of ecotourism**. Cambridge: CABI Publishing, 2002.
- Butler, R. W. (1980) **The concept of a tourist area cycle of evolution: Implications for management of resources**, *The Canadian Geographer*, 24 (1): 5–12.

Calliari, L. J. et al. **Erosão costeira no Brasil**. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 28, n. 2, p. 185–198, 1998.

Calliari, L. J. et al. **Gerenciamento costeiro integrado**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003.

Campos, A. A. et al. **Expansão urbana e conflitos de uso na zona costeira do Ceará**. *Revista de Geografia*, v. 20, n. 1, p. 55–72, 2003.

Chan, A. B.; Vasconcelos, N. **Counting people with low-level features and Bayesian regression**. *IEEE Transactions on Image Processing*, v. 17, n. 11, p. 2160–2177, 2008.

Cifuentes, M. **Determination of visitor carrying capacity in protected areas**. Washington, D.C.: World Wildlife Fund, 1992.

Crowell, M.; Leatherman, S. P.; Buckley, M. K. **Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy**. *Journal of Coastal Research*, v. 7, n. 3, p. 839–852, 1991.

Da Silva, C. P. **Beach carrying capacity assessment**. *Journal of Coastal Research*, v. 36, p. 190–197, 2002.

De Ruyck, M. C.; Alexander, G. S.; Mclachlan, A. **Social carrying capacity as a management tool for sandy beaches**. *Journal of Coastal Research*, v. 13, n. 3, p. 822–830, 1997.

Dias, J. A.; Rocha-Barreira, C. A. **Morfodinâmica praias no litoral do Ceará**. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 11, n. 1, p. 45–60, 2011.

Diegues, Antônio Carlos Sant'Ana. **"Mito moderno da natureza intocada."** (1994).

Douglas, B. C. **Global sea level rise**. *Journal of Geophysical Research*, v. 96, n. C4, p. 6981–6992, 1991.

Embratur. **Manual de classificação das praias quanto ao grau de congestionamento**. Brasília: Embratur, 1975.

Eugenio-Martin, J. L. **Monitoring the congestion level of competitive destinations with mixed logit models**. Nottingham: University of Nottingham, 2004.

Farias, E. G. G.; Maia, L. P. **Monitoramento da linha de costa no litoral do Ceará.** *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 10, n. 2, p. 23–34, 2009.

Farias, E. G. G.; Maia, L. P. **Aplicação do DSAS na análise de variações costeiras.** *Revista de Geografia Física*, v. 3, n. 1, p. 55–70, 2010.

Fennell, D. A. **Ecotourism: principles and practices.** London: Routledge, 2002.

Forbatha, J.; Mawhinney, K. A. **Brittas Bay: a planning and conservation study.** Dublin: Foras Forbartha, 1973.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Climatologia do Estado do Ceará. Fortaleza, 2023.** Disponível em: <https://www.funceme.br>. Acesso em: 26 jan. 2026.

Hall, C. Michael. **"Trends in ocean and coastal tourism: the end of the last frontier?."** *Ocean & coastal management* 44.9-10 (2001): 601-618.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas geográfico escolar.** 6. ed. Rio de Janeiro: Ibge, 2012.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas do Brasil (1991–2020).** Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 2023.

Komar, Paul D. **"Beach processes and sedimentation."** (1977).

Li, Y.; Zhang, X.; Chen, D. **CSRNet: dilated convolutional neural networks for understanding highly congested scenes.** In: *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2018. p. 1091–1100.

Lime, D. W.; Stankey, G. H. **Carrying capacity: maintaining outdoor recreation quality.** New York: Routledge, 1971.

Maia, L. P. **Geomorfologia costeira.** Fortaleza: Edições UFC, 2014.

Masselink, G. et al. **Introduction to coastal processes and geomorphology.** London: Hodder Education, 2009.

Medeiros, Elana Carolina de Souza. "**Capacidade de carga e percepção ambiental da Praia do Icarai-Caucaia-CE.**" (2012).

Medeiros, E. C. S.; Maia, L. P.; Araújo, R. C. P. **Capacidade de carga de uma praia sob impacto da erosão costeira.** *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 15, n. 2, p. 221–234, 2015.

Moraes, A. C. R. **Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil.** São Paulo: Annablume, 2007.

Morais, J. O. et al. **Processos costeiros e gestão ambiental no Nordeste brasileiro.** *Revista Brasileira de Geociências*, v. 39, n. 3, p. 421–435, 2009.

Muehe, D. **Geomorfologia costeira.** In: *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

Muehe, D. **Erosão costeira: conceitos e processos.** Rio de Janeiro: Oficina de Textos, 2006.

ORDENAMENTO TURÍSTICO COMO FERRAMENTA DE GESTÃO PÚBLICA: **avaliação da capacidade de carga das praias na Área de Proteção Ambiental Municipal da Serra do Guararu, Guarujá – SP.** In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE (ENGEMA), 24., 2022, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: ENGEMA, 2022.

Organização Mundial do Turismo. **Tourism highlights.** Madrid: World Tourism Organization, 2019.

Pinheiro, L. S. et al. **Análise da linha de costa e impactos da urbanização.** *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 16, n. 1, p. 1–15, 2016.

Rosati, J. D. **Concepts in coastal engineering.** *Journal of Coastal Research*, n. 42, p. 1–15, 2005.

Ruschmann, D. **Turismo e planejamento sustentável.** Campinas: Papirus, 1997.

Ruschmann, D.; Paolucci, L.; Maciel, N. **Capacidade de carga no planejamento turístico.** *Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo*, v. 2, n. 2, p. 41–63, 2008.

Short, A. D.; Wright, L. D. **Physical variability of sandy beaches**. *Marine Geology*, v. 52, p. 37–60, 1983.

Silva, J. S. et al. **Ocupação da praia da Boa Viagem (Recife/PE)**. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, v. 1, p. 91–98, 2006.

Silva Filho, F. J. N. **Qualidade ambiental de praias urbanas**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

Souza, G. P. et al. **Impactos da drenagem urbana em praias arenosas**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 6, n. 1, p. 33–45, 2005.

Suguio, K. **Dicionário de geologia marinha**. São Paulo: T. A. Queiroz, 1992.

Thieler, E. R. et al. **Digital shoreline analysis system (DSAS) version 3.0**. *U.S. Geological Survey Open-File Report*, 2005-1304, 2005.

Vieira, H.; Calliari, L. J.; Oliveira, G. P. **Impacto da circulação de veículos em praias arenosas**. *Engevista*, v. 6, n. 3, p. 20–28, 2004.

Wagar, J. A. **The carrying capacity of wild lands for recreation**. Washington, D.C.: Society of American Foresters, 1964.

Zhang, Y. et al. **Single-image crowd counting via multi-column convolutional neural network**. In: *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2016. p. 589–597.