



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**MUDANÇAS MORFOLÓGICAS EM PRAIAS DA COSTA
LESTE DA ILHA DO MARAJÓ E OS NÍVEIS DE
VULNERABILIDADE À EROSÃO**

Dissertação apresentada por:

MARIA BÁRBARA PEREIRA DE SOUSA

Orientadora: Prof. Dra. Leilanne Almeida Ranieri (UFPA)

BELÉM - PARÁ

2021

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

S725m Sousa, Maria Bárbara Pereira de.
Mudanças morfológicas em praias da costa Leste da ilha do
Marajó e os níveis de vulnerabilidade à erosão / Maria Bárbara
Pereira de Sousa. — 2021.
xiv, 69 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^ª. Dra. Leilanne Almeida Ranieri
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em
Oceanografia, Belém, 2021.

1. Morfodinâmica de praia. 2. Vulnerabilidade costeira. 3.
Erosão. 4. Geoprocessamento. I. Título.

CDD 551.457098115



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

**MUDANÇAS MORFOLÓGICAS EM PRAIAS DA COSTA
LESTE DA ILHA DO MARAJÓ E OS NÍVEIS DE
VULNERABILIDADE À EROSÃO**

Dissertação apresentada por

MARIA BÁRBARA PEREIRA DE SOUSA

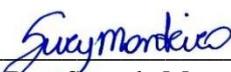
Como requisito parcial à obtenção de Grau de Mestre em OCEANOGRAFIA e Linha de Pesquisa em Processos em Sistemas Costeiros e Oceânicos.

Data de Aprovação: 29/06/2021

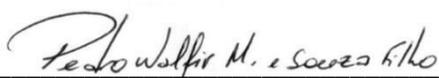
Banca Examinadora:



Profa. Dra. Leilanche Almeida Ranieri
(Orientadora – UFPA)



Profa. Dra. Surya de Moura Monteiro
(Membro – UFPA)



Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho
(Membro – UFPA)



Profa. Dra. Milena Marília Nogueira de Andrade
(Membro – UFPA)

*Dedico este trabalho à minha família e a
minha orientadora Leilanne, por todo
apoio e incentivo.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pelo maravilhoso dom da vida, por sempre me dar forças para continuar e não me permitir desistir mesmo nos momentos mais difíceis, principalmente durante o último ano.

Agradeço à minha família e aos meus pais, João e Telma, por todo amor, carinho, incentivo e dedicação durante toda a minha vida. E ao meu irmão Mário Neto pela parceria e por ser o estresse da minha vida. Amo vocês!

À professora Leilanne Ranieri, por ser uma orientadora maravilhosa e compreensível, por acreditar e confiar em mim durante esses dois anos, sempre me incentivando a concluir o mestrado.

Um enorme obrigado aos meus amigos de curso (F.R.I.E.N.D.S), pela amizade e por tornarem todos os dias mais leves e divertidos durante esses oito anos, principalmente neste último ano atípico. Vocês são os melhores amigos que a vida e a oceanografia poderiam me dar. Somos mais que friends, somos amigos!

Um agradecimento mais que especial aos meus trevos da sorte (Marcus Coimbra, Priscila Pavão e Irla Ribeiro) que são a minha panelinha, aqueles amigos com quem eu posso contar em todos os momentos e em qualquer situação, que sempre me deram força e torceram por mim. Love you, amigos!

Ao meu parceiro, companheiro, melhor amigo e noivo, Marcos Paulo Freitas, que é a minha fonte de inspiração. Obrigada por todos os momentos em que você não me deixou desistir e me apoiou em todos os meus sonhos. Serei eternamente grata por todo seu amor, dedicação, carinho e compreensão.

Ao professor Pedro Walfir e à professora Sury Monteiro pelo empréstimo de equipamentos.

Ao Lohan, Rafael e Gabriel por toda ajuda e dicas com o tratamento das imagens de satélite. Ao Augusto, Yan, Arnaldo e Adrielle pela ajuda nos trabalhos de campo.

Obrigada à FAPESPA pela concessão da bolsa de estudos, a qual foi essencial para o desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço de coração a todos que contribuíram direta ou indiretamente para que esta dissertação fosse concluída.

*“To the stars who listen and the dreams
that are answered.”*

(Sarah J. Maas)

RESUMO

A zona costeira é uma área de transição entre o mar e o continente, sendo um dos espaços geográficos mais vulneráveis no planeta. À vista disso, a avaliação de mudanças morfológicas e vulnerabilidade costeira à erosão é essencial, pois contribui para o planejamento de ações protetivas e mitigatórias de impactos ocorrentes no ambiente, seja ele natural ou antropizado. Dessa forma, o trabalho tem como objetivo verificar as mudanças morfológicas em praias da costa leste da Ilha de Marajó/PA e seus níveis de vulnerabilidade à erosão em diferentes escalas de tempo. Para isso, foram realizadas duas campanhas de campo (estação seca e chuvosa) na praia da Barra Velha (município de Soure) e Praia Grande (município de Salvaterra). A metodologia consistiu numa análise semiquantitativa, determinada por parâmetros de ocupação humana e naturais avaliados nas praias. Técnicas de sensoriamento remoto (dados de médio período) e coleta de dados *in situ* (dados de curto período) foram utilizadas. De acordo com os resultados obtidos, a praia da Barra Velha foi classificada como dissipativa nos dois períodos estudados e a maioria dos perfis topográficos mostrou tendência erosiva da passagem do período seco para o chuvoso. A praia Grande apresentou comportamento de praias intermediárias a refletivas tanto na estação seca quanto na chuvosa. A fase de acreção sedimentar desta praia ocorreu durante o período chuvoso, refletindo um padrão atípico para a morfodinâmica praias. A praia da Barra Velha exibiu uma vulnerabilidade à erosão moderada no setor noroeste e vulnerabilidade alta no setor sudeste, principalmente devido à alta taxa de erosão ao longo de 16 anos estudados. Já a praia Grande apresentou grau de vulnerabilidade moderado à erosão, sendo considerada uma praia mais estável, aliada às obras de proteção costeira. Nas duas praias, o risco costeiro foi baixo devido ao reduzido nível de ocupação próximo à linha de costa. Acredita-se que os resultados desta pesquisa podem contribuir para futuros estudos sobre o tema de vulnerabilidade à erosão em áreas pouco ou muito antropizadas e, para possíveis ações de gerenciamento costeiro na região amazônica, considerando suas particularidades ambientais.

Palavras-chave: morfodinâmica de praia; vulnerabilidade costeira; erosão costeira; geoprocessamento.

ABSTRACT

The coastal zone is a transition area between the sea and the continent, being one of the most vulnerable geographic spaces on the planet. In view of this, the assessment of morphological changes and coastal vulnerability to erosion is essential, as it contributes to the planning of protective and mitigating actions against impacts that occur on the environment, whether natural or anthropic. Thus, the work aims to verify the morphological changes in beaches on the east coast of Ilha de Marajó/PA and their levels of vulnerability to erosion at different time scales. For this purpose, two field campaigns (dry and rainy seasons) were carried out at Barra Velha beach (municipality of Soure) and Praia Grande (municipality of Salvaterra). The methodology consisted of a semi-quantitative analysis, determined by parameters of human and natural occupation evaluated on the beaches. Remote sensing techniques (medium period data) and in situ data collection (short period data) were used. According to the results obtained, Barra Velha beach was classified as dissipative in the two periods studied and most profiles topographic showed an erosive trend from the dry to the rainy period. Praia Grande showed behavior of intermediate to reflective beaches in both the dry and rainy seasons. The sedimentary accretion phase of this beach occurred during the rainy season, reflecting an atypical pattern for beach morphodynamics. Barra Velha beach exhibited moderate erosion vulnerability in the northwest sector and high vulnerability in the southeast sector, mainly due to the high erosion rate over the 16 years studied. Praia Grande, on the other hand, presented a moderate degree of vulnerability to erosion, being considered a more stable beach, combined with coastal protection works. On both beaches, the coastal risk was low due to the low level of occupation close to the coastline. It is believed that the results of this research can contribute to future studies on the theme of vulnerability to erosion in areas that are little or very anthropized and, for possible actions of coastal management in the Amazon region, considering their environmental particularities.

Keywords: beach morphodynamics; coastal vulnerability; coastal erosion; geoprocessing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação do perfil de praia segundo a zonação hidrodinâmica e morfológica. Fonte: Ranieri (2014).....	6
Figura 2 - Caracterização da técnica do DSAS. Fonte: Himmelstoss (2009).....	11
Figura 3 - Parâmetros estatísticos utilizados pelo DSAS. Fonte: Himmelstoss (2009).....	13
Figura 4 - Mapa da área de estudo. Imagem Sentinel-2A de 27/11/2019.....	14
Figura 5 - Mapa climatológico da ilha do Marajó de Koppen. Fonte: Modificado de Lima <i>et al.</i> (2005, Miranda (2010)).....	15
Figura 6 - Mapa de precipitação pluviométrica da Ilha do Marajó. Fonte: Adaptado de Lima <i>et al.</i> 2005).....	16
Figura 7 - Mapa de linhas de corrente de ventos da Ilha do Marajó. Fonte: Adaptado de Lima <i>et al.</i> 2005).....	16
Figura 8 - Contexto tecno-sedimentar da área com indicação das bacias e lineamentos. Fonte: Miranda (2010).....	18
Figura 9 - Mapa morfológico da zona costeira de Soure e Salvaterra. Fonte: França (2003)..	19
Figura 10 - Divisão hidrográfica da ilha do Marajó. Fonte: Lima <i>et al.</i> (2005).....	20
Figura 11 - Fluxograma da metodologia.....	22
Figura 12 - Localização dos perfis topográficos realizados na Praia Grande (A) e Praia da Barra Velha (B).....	23
Figura 13 - Estação total e prisma refletor utilizados no levantamento topográfico. Fotografias retiradas em 13/09/2019.....	24
Figura 14 - Correlação entre a declividade da face praial e a característica granulométrica dos sedimentos em função da exposição às ondas. Fonte: Muehe (2001).....	28
Figura 15 - Linhas de costa dos anos estudados para a praia da Barra Velha. Imagem Landsat 7/ETM de 2003 (A) e imagem Landsat 8/OLI de 2019 (B).....	32
Figura 16 - Variações na linha de costa da praia da Barra Velha entre os anos de 2003 a 2019 com os valores de taxa anual de evolução costeira.....	33
Figura 17 - Linhas de costa dos anos estudados para a Praia Grande e área adjacente, à noroeste. Imagem Landsat 7/ETM de 2003 (A) e imagem Landsat 8/OLI de 2019 (B).....	34
Figura 18 - Variações na linha de costa da Praia Grande até a área adjacente à margem do rio Paracauari (sentido acima) entre os anos de 2003 a 2019, com os valores de taxa anual de evolução costeira.....	35

Figura 19 - Perfis topográficos de A a C da Praia da Barra Velha (Setor Sudeste) realizados em 14/09/2019 (período seco) e 13/02/2020 (período chuvoso). As áreas de erosão e deposição são referentes à ordem temporal: período seco ao chuvoso.....	39
Figura 20 - Perfis topográficos de E a G da Praia da Barra Velha (Setor Noroeste) realizados em 14/09/2019 (período seco) e 13/02/2020 (período chuvoso). As áreas de erosão e deposição são referentes à ordem temporal: período seco ao chuvoso.....	40
Figura 21 - Perfis topográficos de A a D da Praia Grande (Setor Sudeste) realizados em 13/09/2019 (período seco) e 11/02/2020 (período chuvoso). As áreas de erosão e deposição são referentes à ordem temporal: período seco ao chuvoso.....	41
Figura 22 - Perfis topográficos de E a H da Praia Grande (Setor Noroeste) realizados em 13/09/2019 (período seco) e 11/02/2020 (período chuvoso). As áreas de erosão e deposição são referentes à ordem temporal: período seco ao chuvoso.....	42
Figura 23 - Grau de exposição às ondas na Praia da Barra Velha.....	44
Figura 24 - Grau de exposição às ondas na Praia Grande.....	45
Figura 25 - Mapa da ocupação humana próxima da linha de costa na praia da Barra Velha no setor noroeste e setor sudeste.....	46
Figura 26 - Áreas ocupadas (A, B, C e D) no setor noroeste e áreas sem ocupação no setor sudeste (E e F) na praia da Barra Velha. Fotografias retiradas em: 02/05/21 (B e D) e 14/09/19 (as demais).....	47
Figura 27 - Mapa da ocupação humana próxima da linha de costa na praia Grande no setor noroeste e setor sudeste.....	48
Figura 28 - Áreas ocupadas (A, B, C e D) e áreas sem ocupação (E e F) na praia Grande. Fotografias retiradas em: 02/05/21 (A e B) e 13/09/19 (as demais).....	49
Figura 29 - Mapa de vulnerabilidade à erosão da praia da Barra Velha. Imagem Google Earth (2020).....	51
Figura 30 - Mapa do grau de risco da praia da Barra Velha. Imagem Google Earth (2020)....	52
Figura 31 - Mapa de vulnerabilidade à erosão da praia Grande. Imagem Google Earth (2020).....	53
Figura 32 - Mapa do grau de risco da praia Grande. Imagem Google Earth (2020).....	54
Figura 33 - Tombamento de mangue na Praia da Barra Velha no setor NW (A) e setor SE (B)...	56
Figura 34 - Restaurantes e barracas na praia da Barra Velha. Fotografia retirada em 02/05/2021.....	58
Figura 35 - Muro de contenção/orla na praia Grande. Fotografia retirada em 02/05/2021.....	60

Figura 36 - Rua erodida que dava acesso à praia Grande. Fotografia retirada em:
11/02/2020.....61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das imagens Landsat utilizadas.....	25
Tabela 2 - Margem de erro geométrico acumulativo das imagens.....	25
Tabela 3 - Classificação de estados morfodinâmicos de praias arenosas e características com destaque ao parâmetro declividade média, utilizado como referência neste estudo.....	27
Tabela 4 - Parâmetros, classes, pesos e definições para a classificação do grau de vulnerabilidade à erosão.....	29
Tabela 5 - Classificação quanto ao grau de vulnerabilidade à erosão.....	30
Tabela 6 - Classificação quanto ao grau de risco.....	31
Tabela 7 - Parâmetros morfométricos da Praia da Barra Velha.....	37
Tabela 8 - Parâmetros morfométricos da Praia Grande.....	37
Tabela 9 - Volume sedimentar da Praia da Barra Velha.....	37
Tabela 10 - Volume sedimentar da Praia Grande.....	38
Tabela 11 - Percentagem de ocupação humana próxima da linha de costa na praia da Barra Velha.....	46
Tabela 12 - Percentagem de ocupação humana próxima da linha de costa na praia Grande....	48
Tabela 13 - Classificação da vulnerabilidade à erosão na praia da Barra Velha, a partir da determinação de parâmetros (I a VII), respectivos pesos e nível de vulnerabilidade resultante.....	50
Tabela 14 - Classificação do grau de risco na Praia da Barra Velha, a partir da determinação da vulnerabilidade e ocupação humana próximo da linha de costa.....	50
Tabela 15 - Classificação da vulnerabilidade à erosão na Praia Grande, a partir da determinação de parâmetros (I a VII), respectivos pesos e nível de vulnerabilidade resultante.....	52
Tabela 16 - Classificação do grau de risco na Praia Grande, a partir da determinação da vulnerabilidade e ocupação humana próximo da linha de costa.....	53

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPÍGRAFE	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE TABELAS	xii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 HIPÓTESES.....	2
2 OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
3.1 PRAIAS ARENOSAS.....	5
3.2 MORFODINÂMICA PRAIAL.....	6
3.3 VULNERABILIDADE E RISCO.....	7
3.4 SENSORIAMENTO REMOTO.....	8
3.5 DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM (DSAS).....	10
4 ÁREA DE ESTUDO	14
4.1 CLIMA E PARÂMETROS METEOROLÓGICOS.....	15
4.2 VEGETAÇÃO.....	17
4.3 SOLO.....	17
4.4 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA.....	17
4.5 HIDROGRAFIA.....	19
4.6 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS.....	20
5 MATERIAL E MÉTODOS	22
5.1 COLETA DE DADOS.....	22
5.1.1 Levantamento do perfil topográfico.....	22
5.1.2 Amostragem de sedimento.....	24
5.2 ANÁLISE LABORATORIAL.....	24
5.3. ANÁLISE DE DADOS.....	25
5.3.1 Taxa de variação da linha de costa.....	25

5.3.2 Ocupação humana próxima da linha de costa.....	26
5.3.3 Classificação morfodinâmica e parâmetros morfométricos.....	26
5.3.4 Classificação da granulometria.....	27
5.3.5 Classificação quanto ao grau de exposição às ondas.....	28
5.3.6 Classificação do grau de vulnerabilidade.....	28
5.3.7 Classificação do grau de risco.....	31
6 RESULTADOS.....	32
6.1 VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA.....	32
6.1.1 Praia da Barra Velha.....	32
6.1.2 Praia Grande.....	33
6.2 COMPORTAMENTO MORFODINÂMICO SAZONAL.....	35
6.3 PARÂMETROS ESTATÍSTICOS GRANULOMÉTRICOS.....	43
6.3.1 Praia da Barra Velha.....	43
6.3.2 Praia Grande.....	43
6.4 GRAU DE EXPOSIÇÃO ÀS ONDAS.....	44
6.5 OCUPAÇÃO HUMANA.....	45
6.5.1 Praia da Barra Velha.....	45
6.5.2 Praia Grande.....	47
6.6 VULNERABILIDADE À EROSÃO E RISCO.....	49
6.6.1 Praia da Barra Velha.....	50
6.6.2 Praia Grande.....	52
7 DISCUSSÃO.....	55
7.1 COMPORTAMENTO MORFODINÂMICO SAZONAL.....	55
7.2 RISCO E VULNERABILIDADE À EROSÃO.....	57
8 CONCLUSÃO.....	62
REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

A Zona Costeira (ZC) é um ambiente bastante diversificado e altamente produtivo, e o seu conceito atual surge ao se entender que os ambientes atmosféricos, terrestres e o marinho adjacente constituem um sistema cujos elementos interagem entre si (Moraes 1999, Szlafsztein 2009, Lins-de-Barros & Milanés 2020), sendo um dos espaços mais vulneráveis em nosso planeta. Seu monitoramento aplicado ao gerenciamento costeiro integrado torna-se necessário para mitigar impactos como os da erosão costeira, que podem ser detectados e avaliados a partir de fatores naturais e antrópicos (Nascimento & Dominguez 2009, Silva *et al.* 2013).

A erosão é um fenômeno frequente que pode ser causado, desta forma, por complexas interações entre os fatores naturais (climáticos, geológicos e oceanográficos), que associados à ação antrópica, podem provocar a intensificação do processo erosivo bem como gerar perdas para outros setores da costa adjacente (Maia 2005).

Uma maneira eficaz de saber se uma praia está sofrendo erosão é através do estudo da morfodinâmica praial. A abordagem morfodinâmica considera as interações entre a hidrodinâmica e a morfologia, seus feedbacks positivo e negativo e o acoplamento resultante que mantém alterável a sua configuração ao longo da ZC (Short 2012), sempre levando em consideração as condições de ondas e marés, as características da praia e a sazonalidade.

As evidências destas alterações são constatadas por vários métodos e equipamentos destinados à análise da morfossedimentação em praias. Eles se baseiam, por exemplo, em dados adquiridos indiretamente, como por técnica de sensoriamento remoto, para verificar mudanças morfológicas multitemporais de pequena a grande escala. Ou por meio de dados adquiridos *in situ*, como a realização de perfis de praia para obtenção das modificações do volume sedimentar (Ranieri & El-Robrini 2015, 2020).

Para estabelecer medidas de gestão adequadas é especialmente importante compreender a morfodinâmica e as vulnerabilidades das praias, as origens dos seus impactos e o funcionamento dos processos que resultam nas suas configurações atuais (Peña-Alonso *et al.* 2017). A avaliação da vulnerabilidade é um processo complexo que deve considerar várias dimensões da vulnerabilidade, incluindo fatores físicos e sociais (Parthasarathy & Natesan 2015).

Em consonância à abordagem de Dal Cin & Simeoni (1994), para este trabalho, o conceito de vulnerabilidade é definido como o grau em que um sistema pode sofrer danos devido a um determinado fenômeno, que neste caso é a erosão.

As técnicas para determinar a vulnerabilidade são diversas como: sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica (GIS), uso de geoindicadores, análise multivariada e modelos numéricos (Cooper & McLaughlin 1998, Dominguez *et al.* 2005, Srinivasa Kumar *et al.* 2010). Sendo a vulnerabilidade à erosão costeira partindo da análise de variações verticais e horizontais na linha de costa, seja por processos de erosão ou deposição sedimentar.

Estas modificações no volume sedimentar podem variar dependendo da morfologia, sedimentologia das praias e hidrodinâmica local. Na costa leste da Ilha do Marajó, as principais praias se inserem nos municípios de Soure e Salvaterra, que apresentam uma diversidade de feições sedimentares, resultante da atuação de processos geomorfológicos ligados às mudanças relativas do nível do mar, à neotectônica e à dinâmica costeira (Santos *et al.* 2011).

Na área de estudo destacam-se pesquisas na Baía de Marajó e no rio Paracauari que abordam a geomorfologia, a deposição e o transporte sedimentar, bem como a atuação dos processos oceanográficos, hidrodinâmica, batimetria local e comunidade planctônica (Souza 2006, França *et al.* 2007, Martins 2010, Baltazar *et al.* 2011, Menezes *et al.* 2013, Ferreira 2013, Monteiro *et al.* 2015, Monteiro & El-Robrini 2016, Zacardi *et al.* 2016, Costa *et al.* 2018). No entanto, ainda se tem poucos trabalhos sobre o risco e vulnerabilidade à erosão costeira na Ilha do Marajó com avaliações em diferentes escalas (curto e médio período), que são os propósitos desta pesquisa.

O monitoramento da morfodinâmica praial, sedimentação e da ocupação humana nas linhas de costa dos ecossistemas da região devem acontecer de forma contínua, especialmente ao destacar que se trata de uma Área de Proteção Ambiental (APA). Sendo este estudo uma contribuição para a aplicabilidade de um melhor gerenciamento costeiro e uso sustentável dos recursos locais.

1.1 HIPÓTESES

A área de estudo apresenta características fisiográficas contrastantes. Em Soure, a paisagem caracteriza-se pela presença da planície costeira, com suaves gradientes topográficos, enquanto em Salvaterra, o planalto costeiro aproxima-se da linha de costa, configurando um tabuleiro rebaixado. Consequentemente, os dois locais estudados possuem ambientes sedimentares distintos entre si, além de apresentar diferentes tipos de ocupação humana e resposta à hidrodinâmica local.

Questiona-se se a maior ocupação humana na Praia Grande (Salvaterra) favorece, junto aos processos naturais, uma maior vulnerabilidade e risco à erosão costeira.

Questiona-se também se as praias com baixo gradiente topográfico na Ilha do Marajó, como Barra Velha (Soure), apresentam maior vulnerabilidade à erosão costeira a médio prazo do que praias com alto gradiente topográfico, como a Praia Grande (Salvaterra).

Dessa forma, as seguintes hipóteses são apresentadas:

- I. A construção de pousadas, bares e residências, principalmente na zona de supramaré e sobre falésias, na Praia Grande (Salvaterra), são aspectos que se correlacionados aos processos oceanográficos atuantes nessa praia, contribuem para o alto grau de vulnerabilidade e risco à erosão costeira.
- II. As praias de Soure, como a de Barra Velha, exibem baixo gradiente topográfico, propiciando maior influência do nível relativo do mar nas variações diárias, sazonal e, principalmente, anuais (médio período). São locais de difícil acesso e apresentam baixo a médio adensamento de construções e população residente, porém elevada dinâmica sedimentar, implicando num grau de vulnerabilidade à erosão de moderado a alto.
- III. Acredita-se que na praia Grande o processo de sedimentação e morfologia praial seja mais modificável sazonalmente, devido seu alto gradiente topográfico, por estar bordejando o tabuleiro costeiro e a maior granulometria dos sedimentos, que propicia tanto o aparecimento de escarpas erosivas, como de depósitos sedimentares típicos (bermas), de acordo com a sazonalidade.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar as mudanças morfológicas em praias da costa leste da Ilha do Marajó/PA e seus níveis de vulnerabilidade à erosão em diferentes escalas de tempo (curto e médio período).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar o comportamento morfodinâmico sazonal (curto período) da Praia Grande (Salvaterra) e da Praia da Barra Velha (Soure).
- b) Analisar as variações da linha de costa nas praias estudadas entre os anos de 2003 a 2019 (médio período).
- c) Avaliar as praias Grande e Barra Velha quanto ao grau de vulnerabilidade e risco à erosão.
- d) Comparar as praias Grande e Barra Velha quanto às características naturais e antrópicas observadas e, resultados obtidos.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 PRAIAS ARENOSAS

Komar (1976) definiu como uma acumulação de sedimentos inconsolidados de tamanhos diversos, que se estende, em direção à costa, do nível médio da maré baixa até alguma alteração fisiografia com uma falésia, um campo de dunas ou simplesmente até o ponto de fixação permanente de vegetação. Vale ressaltar que em áreas urbanizadas este limite interno pode ser inclusive uma orla ou calçada.

Para outros autores, e levando em consideração o limite externo, as praias se estendem em direção ao oceano, para além da linha de maré baixa de sizígia, atingindo até profundidades de 20 m, ou a região onde a ação das ondas, em condições de bom tempo, não influencia no fundo submarino (Batista Neto *et al.* 2004).

As praias são ambientes de dinâmica alta, onde suas características morfológicas são modeladas segundo o agente modificador dominante, no caso as ondas ou maré, e os atributos dos sedimentos que a compõe, principalmente a granulometria, normalmente arenosa (Sousa 2010).

O entendimento da dinâmica sedimentar no ambiente praias é de grande importância para o planejamento ambiental das ZC's, auxiliando na compreensão de modelos físicos de previsão de mudanças nos posicionamentos da linha de praia, em resposta às variações do nível do mar, e na alteração da taxa de sedimentação (Suguio *et al.* 2005).

Existe uma zonação hidrodinâmica e uma zonação morfológica da praia, no entanto, não há uma padronização na nomenclatura para os seus ambientes ou feições na literatura internacional e brasileira. Dessa forma, neste trabalho foi adotada a zonação hidrodinâmica sugerida por Davis (1985) e a zonação morfológica sugerida por Souza Filho *et al.* (2003) (Figura 1).

A zonação hidrodinâmica da praia é dividida em:

- Zona de Espraimento: região delimitada entre a máxima e a mínima excursão das vagas (ondas) sobre a face da praia e local onde ocorre os transportes transversais, longitudinais e eólico de sedimentos;
- Zona de Surf: caracterizada pela dissipação da energia das ondas incidentes, está diretamente relacionado com o tipo de quebra, e depende, secundariamente, da amplitude de maré;

- Zona de Arrebentação: é a porção da praia individualizada por esse processo, caracterizada no modo de dissipação energética da onda sobre a praia, onde inicia-se a quebra delas.

A zonação morfológica da praia é dividida em:

- Zona de Supramaré: região compreendida desde a linha de maré alta de sizígia até o limite topográfico da praia em direção ao continente ou mudança na fisiografia, e ocorre o transporte eólico de sedimento;
- Zona de Intermaré: é a face da praia e está limitada entre as linhas de maré alta e baixa de sizígia, e ocorrem os três tipos de transporte de sedimento;
- Zona de Inframaré: está compreendida desde a linha de maré baixa de sizígia até a costa a fora, onde ocorrem o transporte transversal e longitudinal de sedimento.

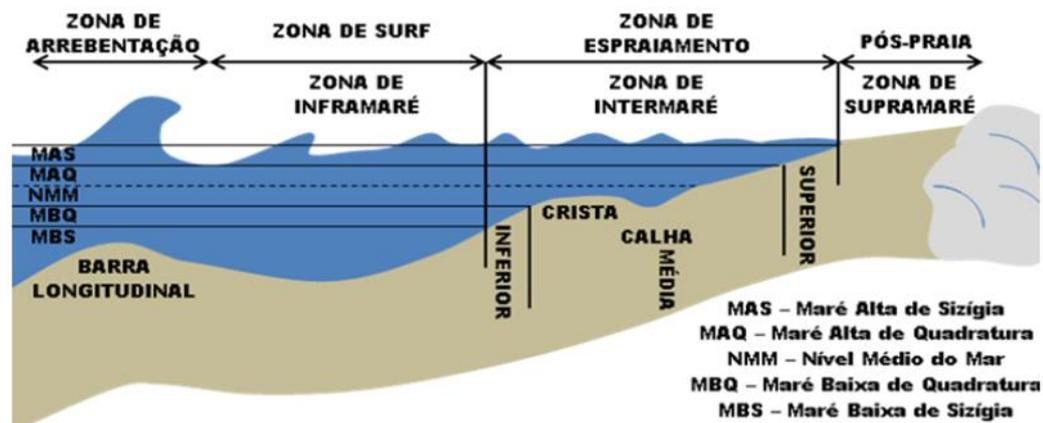


Figura 1 - Representação do perfil de praia segundo a zonação hidrodinâmica e morfológica. Fonte: Ranieri (2014).

3.2 MORFODINÂMICA PRAIAL

Segundo Duarte (1997), a praia varia em suas características granulométricas e morfológicas por meio de agentes modificadores e condicionantes da costa. Por meio de estudo desses condicionantes em certo período de tempo que podemos classificar as praias em seu estágio modal ou morfodinâmico predominante.

O termo “morfodinâmica praias” foi introduzido na literatura pela primeira vez por Wright & Thom (1977), que definem morfodinâmica costeira como sendo o ajustamento mútuo da topografia e dinâmica dos fluidos envolvendo o transporte de sedimentos.

Diferentes modelos conceituais de praias têm sido propostos, mas os modelos da escola Australiana de Geomorfologia Costeira se destacam. Wright & Short (1984) e Short (1991, 1999) classificaram as praias da costa australiana em seis estados morfodinâmicos: um dissipativo, um refletivo e quatro estágios intermediários: o Banco e Calha Longitudinal (BCL), Banco e Praia de Cúspides (BPC), Bancos Transversais (BT) e o Terraço de Baixa Mar (TBM).

Sazaki (1980) estabeleceu um modelo baseado nas características ambientais principais das praias, segundo três estágios ou estados morfodinâmicos – dissipativo, reflexivo (ou refletivo) e intermediário. Esse modelo é bastante útil quando os dados sobre o clima de ondas não estão disponíveis, como no presente trabalho e por isso foi o método escolhido.

3.3 VULNERABILIDADE E RISCO

As temáticas vulnerabilidade e risco são tratadas em diversos trabalhos desde a década de 1940, desenvolvendo um campo de pesquisas de caráter multidisciplinar dedicadas ao estudo da população humana em ambientes ou zonas de risco (Iwama *et al.* 2016). Segundo Brooks (2003), o crescente corpo de literatura sobre vulnerabilidade e risco contém uma série de termos como sensibilidade, resiliência, adaptação, capacidade adaptativa, risco, *hazard*, faixa de sobrevivência, linha de base de adaptação, entre outras. As relações entre esses termos geralmente não são claras, e têm diferentes significados quando usado em diferentes contextos e por diferentes autores.

Em contribuição, Lins-de-Barros (2010) apresenta uma proposta conceitual-metodológica para análise da vulnerabilidade costeira e riscos associados. A proposta assume que a vulnerabilidade costeira depende de dois fatores indissociáveis: (a) exposição da linha de costa, ecossistemas e população aos perigos relacionados a dinâmica física costeira; (b) capacidade da linha de costa, ecossistemas e população de resistir, recuperar-se ou adaptar-se aos impactos causados por esses perigos.

Segundo o terceiro relatório do *International Panel of Climate Change* (2001 *apud* Adger *et al.* 2004), vulnerabilidade refere-se à suscetibilidade de um sistema ou o grau de incapacidade para lidar com os efeitos adversos da mudança climática, incluindo variabilidade climática e extremos. Vulnerabilidade é função da característica, magnitude e taxa de variação climática ao qual um sistema está exposto, sua sensibilidade, e sua capacidade adaptativa.

A questão da erosão e vulnerabilidade costeira também pode ser abordada a partir de uma curta escala temporal. De acordo com Dal Cin & Simeoni (1994), o termo vulnerabilidade deve ser entendido como a função da possibilidade de ocorrer um episódio de erosão da costa - quanto mais baixo este índice, maior é a segurança das construções na orla costeira. Neste caso, qualquer episódio de erosão costeira é considerado na avaliação da vulnerabilidade.

Já o risco é entendido, de acordo com a Agência das Nações Unidas para Redução de Riscos de Desastres (UNISDR 2009), como a probabilidade de ocorrência de um evento e suas consequências negativas. Ele está relacionado aos danos que um evento pode causar a uma população, estando associado a probabilidade de determinado perigo gerar danos à sociedade

sejam estes materiais ou para a vida humana (Lins-de-Barros 2005). Desta forma, deve-se compreender que o risco só existe na presença do homem visto que se refere sempre à exposição à determinado perigo de um aspecto valorizado pela sociedade (Lins-de-Barros 2010), sendo este o conceito de risco utilizado neste trabalho.

Existem várias metodologias utilizadas na avaliação de vulnerabilidade de ambientes costeiros e a grande maioria usa a ideia de índices de vulnerabilidade, os quais permitem a simplificação dos parâmetros físicos ou socioeconômicos, que são representados por diversos dados espaciais (McLaughlin & Cooper 2010). Outra forma comum de analisar a vulnerabilidade é através de geoindicadores. Segundo Bush *et al.* (1999), os geoindicadores são ferramentas qualitativas com validade científica para um rápido reconhecimento de risco potencial, permitindo uma rápida execução de planos de gerenciamento e mitigação.

Na Amazônia, trabalhos foram realizados sobre vulnerabilidade e risco para várias tipologias de ameaça, apesar da carência no que diz respeito à erosão costeira nas praias amazônicas. Logo abaixo estão alguns estudos recentes sobre essa temática na região.

Andrade & Szlafsztein (2018), avaliaram a vulnerabilidade à inundação em escala local de uma área urbana da Amazônia (cidade de Santarém), usando métodos interdisciplinares e considerando componentes tangíveis e intangíveis.

Oliveira & Borges (2018), identificaram e caracterizaram a situação de vulnerabilidade populacional aos riscos tecnológicos ambientais na cidade de Manaus/AM, por meio do levantamento de informações disponibilizadas pelos órgãos locais, federais e agências nacionais, trabalho de campo e uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Por fim, Braga *et al.* (2019), analisaram a vulnerabilidade à ação energética do mar no Município de Salinópolis na Zona Costeira Amazônica, a partir dos agentes físicos: geológicos/geomorfológicos e oceanográficos, utilizando o Índice de Vulnerabilidade Costeira Geral (IVCG).

3.4 SENSORIAMENTO REMOTO

De acordo com Meneses (2012), Sensoriamento Remoto é uma tecnologia que foi desenvolvida para obter dados, representado por imagens, que são captados remotamente. Ele nos proporciona análises geoespaciais, comumente utilizada por profissionais, tendo aplicações em diversas áreas, tais como biológica, química, física e intensamente geológica. É uma área do conhecimento que utiliza a radiação eletromagnética (REM) para realizar os registros da radiação refletida pelo objeto (reflectância) por meio de sensores, resultando como produto as imagens de satélites.

Já Lillesand & Kiefer (1994) definem que: sensoriamento remoto é a ciência e a arte de se obter informações sobre um objeto (alvo), área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por um dispositivo (sensor) que não está em contato direto com o objeto, área ou fenômeno sob investigação.

Para gerar informações relevantes, o processo é composto por alguns elementos fundamentais: a) Uma fonte de energia ou iluminação, podendo ser o Sol ou o próprio sensor; b) Radiação eletromagnética e atmosfera, que funcionam com condutores do dado; c) Interação com o alvo; d) Registro da energia pelo sensor; e) Transmissão, recepção e processamento dos dados; e f) Interpretação e análise dos resultados (Souza 2010).

A técnica do sensoriamento remoto pode permitir uma análise multitemporal de processos erosivos e deposicionais nas regiões costeiras. Isto pelo fato de fornecer informação confiável sobre objetos físicos e do ambiente por meio dos processos de registro, medição, e interpretação de imagens, proveniente de sensores que são capazes de representar digitalmente as diferentes classificações de energia sem contato físico (Colwell 1997).

De acordo com Zhu (2017), o programa Landsat é o mais utilizado pelos cientistas para analisar as mudanças ambientais a curtos e longo prazo (também usado neste trabalho), com mais de 254 artigos publicados, desde 2004, nas 15 principais revistas científicas do mundo. Conforme este autor, isso ocorre porque é possível conseguir imagear a mesma área de estudo a cada 18 dias (resultando entre 20 a 21 imagens por ano) e operando em quatro comprimentos de onda, do visível (verde e vermelho) ao infravermelho (proximal e médio) de forma gratuita.

Segundo Forbes & Liverman (1996), o estudo da variação da linha de costa concede registro da direção das mudanças e dos setores costeiros com erosão e acreção. Assim como, de modo geral, são de suma importância para o planejamento de uso e ocupação da zona costeira.

Nesse sentido, vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos nesta temática na região amazônica, como o de França & Souza Filho (2003), que realizaram uma análise multitemporal das mudanças morfológicas costeiras de médio período (1986-2001) na margem leste da Ilha de Marajó (PA) com imagem Landsat. Rodrigues & Souza Filho (2011), que analisaram a movimentação da linha de costa no extremo nordeste do estado do Pará através de imagens Landsat TM e ETM+ e CBERS 2B. E Baía *et al.* (2021) analisaram as variações na linha de costa em praias estuarinas do litoral amazônico (município de Marapanim), nos anos de 1988, 1994, 2001, 2008 e 2016, por meio de imagens do satélite Landsat.

No que concerne ao estudo da vulnerabilidade com o uso do sensoriamento remoto, diversos trabalhos estão sendo realizados no mundo, como Jana & Bhattacharya (2013) que

avaliaram a vulnerabilidade à erosão costeira em torno da costa de Midnapur-Balasore, leste da Índia usando imagens de satélite Landsat e a extensão DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*). Segundo estes autores, o estudo prova conclusivamente a utilidade dos dados de sensoriamento remoto, observações *in situ* e ferramentas de análise GIS em estudos de vulnerabilidade costeira.

Cooper *et al.* (2013), avaliou a vulnerabilidade à elevação do nível do mar no Hawaii utilizando dados LiDAR (*Light Detection and Ranging*) para produzir DEMs (Modelo Digital de Elevação) de alta resolução para avaliar os impactos potenciais. Já Marzouk *et al.* (2021), usou técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas (SIG) para desenvolver um modelo de dados SIG (Modelo Clima-Costeiro), para avaliar os impactos de longo prazo das mudanças climáticas e delinear as áreas mais vulneráveis na zona costeira de uma cidade ao norte do Egito, na costa do Mar Mediterrâneo.

3.5 DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM (DSAS)

O *Digital Shoreline Analysis System* – DSAS, elaborado por Thieler e colaboradores em 2003, é um software capaz de realizar cálculos estatísticos da variação da linha de costa ao longo do tempo, permitindo a automatização de grande parte das tarefas relacionadas com a análise quantitativa da evolução das tendências de erosão e deposição através de uma série estatística de tempo e posições múltiplas da linha de costa (Thieler *et al.* 2003, 2005).

O cálculo das taxas de variação da linha de costa obtidas pelo DSAS é baseado na geração de linhas perpendiculares equidistantes (*transectos* ortogonais) que são desenhadas em uma base da linha costeira (*baseline*), uma linha paralela às linhas costeiras, cuja posição é anterior ou posterior a elas (Figura 2); essa *baseline* serve como referência para as *polylines*, que são as várias posições da linha de costa obtidas através de imagens de satélite multitemporais. As taxas de mudança são mostradas em uma tabela de atributos de acordo com distintos métodos estatísticos (Thieler *et al.* 2005).

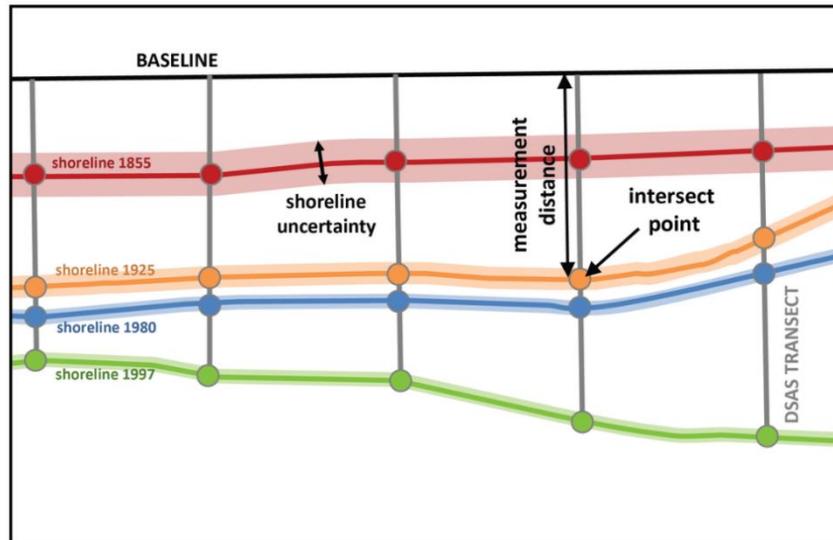


Figura 2 - Caracterização da técnica do DSAS. Fonte: Himmelstoss (2009).

O DSAS integra os seguintes parâmetros estatísticos (Thieler *et al.* 2017) (Figura 3):

- *Net Shoreline Movement* (NSM): O NSM expõe uma distância em metros entre duas *polylines*, a mais antiga e a mais nova. Isso representa a distância total entre as linhas de costa mais longínqua e mais atual, presentes nos transectos.

- *End Point Rate* (EPR): O método EPR é calculado dividindo a distância do movimento da linha de costa pelo tempo decorrido entre as medições mais antigas e mais recentes, ou seja, é uma relação espaço-temporal, onde a distância é dada em metros, que em seguida é dividida pelo intervalo de tempo tendo assim um produto com unidade em m/ano. A principal vantagem do EPR é sua facilidade de cálculo e exigência mínima de dados de linha de costa, bastando apenas duas linhas de costa para que seja efetuado o cálculo das taxas de variação. A principal desvantagem é que, nos casos em que mais de duas linhas de costa estejam disponíveis, a informação existente sobre o comportamento das outras linhas é desconsiderada. Assim, mudanças no sinal ou magnitude da tendência do movimento da linha costeira, ou ciclicidade do comportamento podem ser perdidas.

- *Shoreline Change Envelope* (SCE): O SCE descreve a distância entre os extremos das linhas de costa em relação a linha de base (recoo e avanço), não levando em consideração as datas e representando o movimento total realizado pela costa.

- *Linear Regression* (LRR): O método LRR calcula as taxas de recuo de linha de costa através de regressão linear simples, considerando para tal as inflexões existentes ao longo de cada linha de costa. É um método que utiliza conceitos estatísticos aceitados aonde todos os *transectos* são considerados para efeito de cálculo. O método nada mais é do que uma regressão

linear da taxa de variação entre a primeira e a última linha de costa, considerando todas as que estão entre elas.

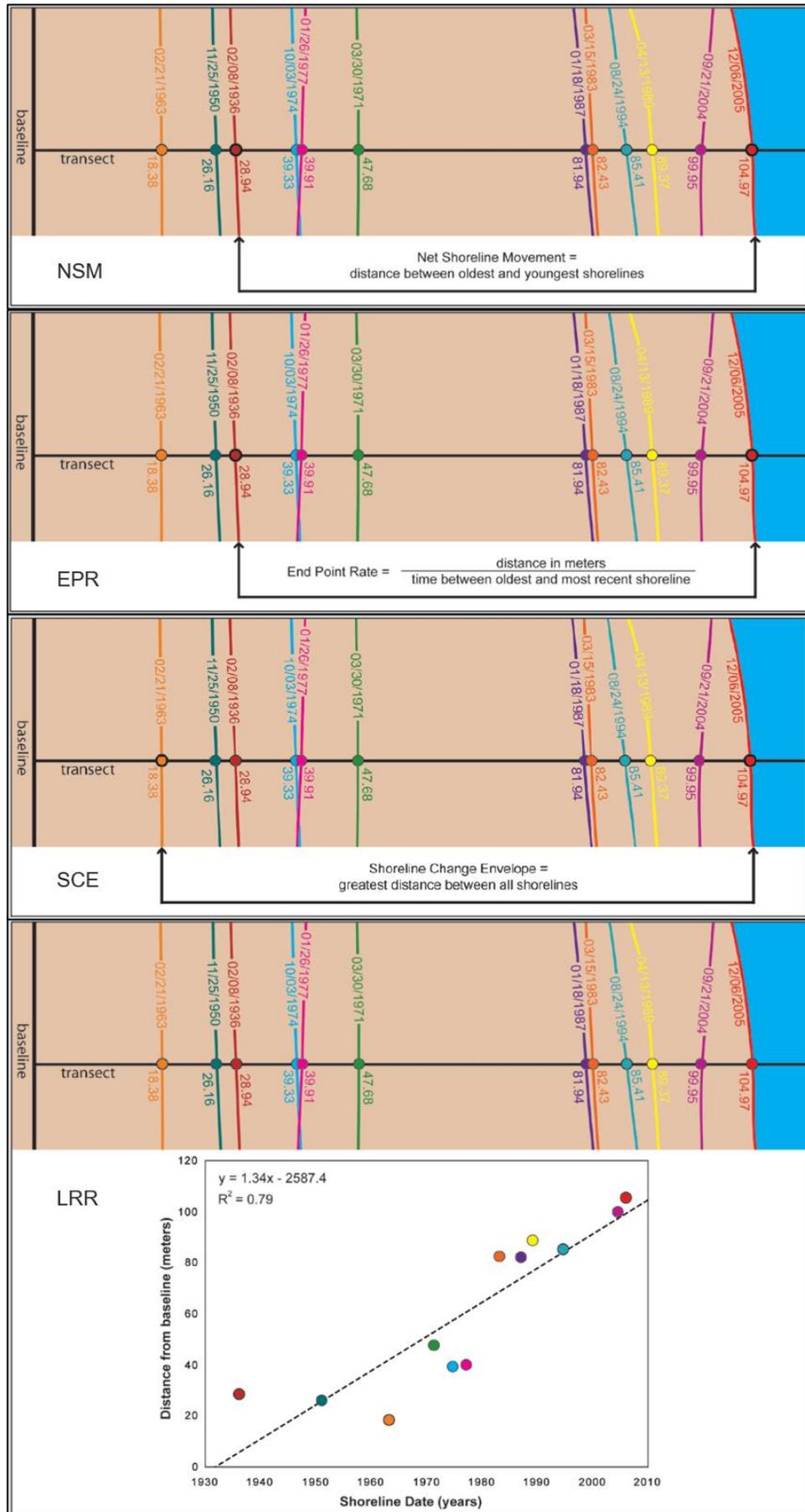


Figura 3 - Parâmetros estatísticos utilizados pelo DSAS. Fonte: Himmelstoss (2009).

4 ÁREA DE ESTUDO

A Ilha do Marajó localiza-se no Norte do Estado do Pará, na foz do Rio Amazonas, com uma superfície de 49.000 km², tendo como limites: o Oceano Atlântico (Norte), o rio Pará (Sul), o rio Amazonas (Oeste) e a Baía do Marajó (Leste). A área de estudo compreende a zona costeira dos municípios de Salvaterra e Soure, na margem Leste da ilha do Marajó (Figura 4), mais especificamente as praias Grande e da Barra Velha.

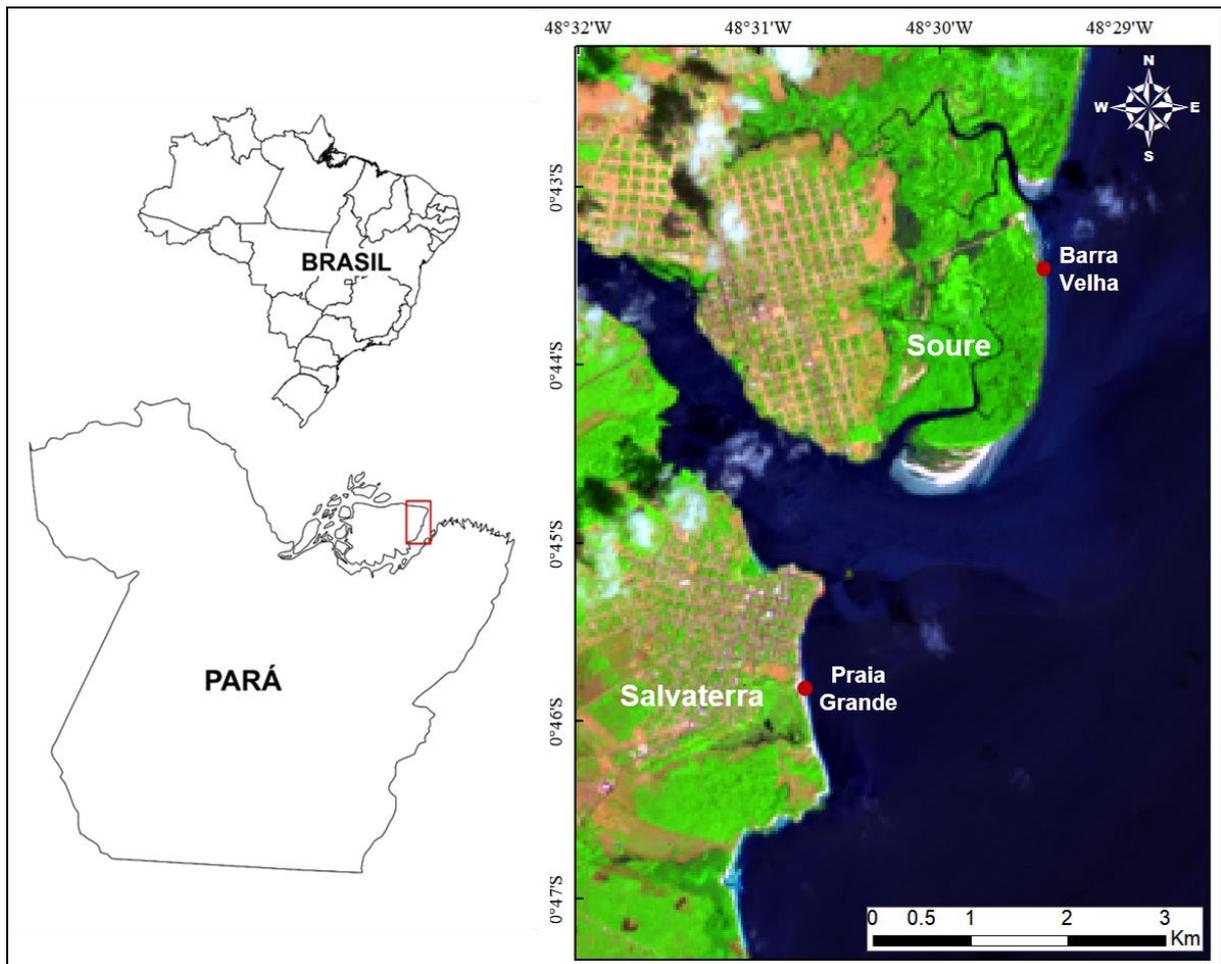


Figura 4 - Mapa da área de estudo. Imagem Sentinel-2A de 27/11/2019.

Em Soure, a praia da Barra Velha possui extensão de aproximadamente 1 km. Pertence a uma costa de baixo gradiente, cujo aporte sedimentar representado pela embocadura de grandes canais de maré e do estuário do Paracauari favorece o desenvolvimento de praias-barreiras, com formas retilínea a convexa, declives suaves e areias finas bem selecionadas, que bordejam os manguezais (França & Souza Filho 2006).

A praia Grande de Salvaterra possui cerca de 1,2 km de extensão e está inserida em uma costa com características distintas de Soure. Esta praia desenvolve-se em grande parte no sopé de falésias e promontórios, apresenta uma forma espacial aproximadamente côncava, com

maior gradiente topográfico e areias médias. O processo erosivo atuante nas falésias e promontórios gera depósitos de seixos e areia grossa, que são retrabalhados pelas ondas e redistribuídos longitudinalmente (França & Souza Filho 2006).

4.1 CLIMA E PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

A ilha do Marajó apresenta dois climas distintos nas porções Leste e Oeste. Na porção leste, onde a área de estudo está inserida, de acordo com a classificação climática de Köppen, o clima é tropical úmido de monção do subtipo “Am” (Figura 5), com temperatura média anual de 27° C e pluviosidade anual superior a 3.000 mm (Lima *et al.* 2005) (Figura 6).

Segundo os mesmos autores, existe a estação chuvosa compreendendo os meses de dezembro a maio, com os maiores índices entre fevereiro e abril e a estação seca que vai de junho a novembro, com os menores índices entre setembro e novembro. Apresentando entre as duas estações um período de transição, em que pode haver antecipação ou retardo das chuvas, com maior ou menor intensidade.

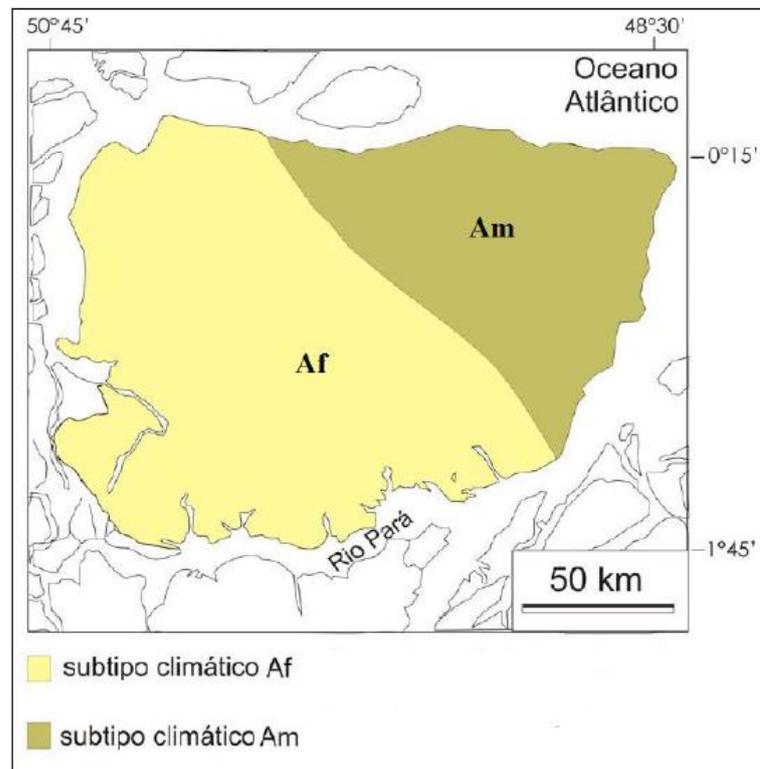


Figura 5 - Mapa climatológico da ilha do Marajó de Köppen. Fonte: Modificado de Lima *et al.* (2005, Miranda (2010).

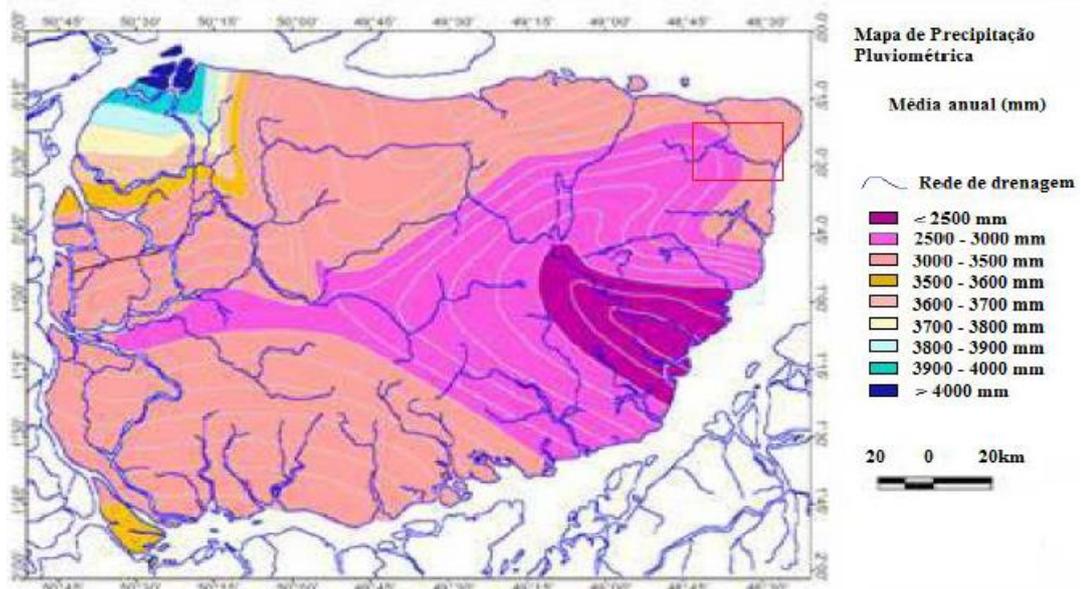


Figura 6 - Mapa de precipitação pluviométrica da Ilha do Marajó. Fonte: Adaptado de (Lima *et al.* 2005).

Os ventos na Ilha do Marajó sopram na direção preferencial nordeste, que em função da influência do Oceano Atlântico atingem velocidades mais fortes na porção leste da ilha, com velocidade maior que 3,0 m/s. Adentrando o continente, os ventos encontram como barreira natural a vegetação de floresta (com árvores de grande porte), gerando uma queda de velocidade. (Figura 7) (Lima *et al.* 2005).

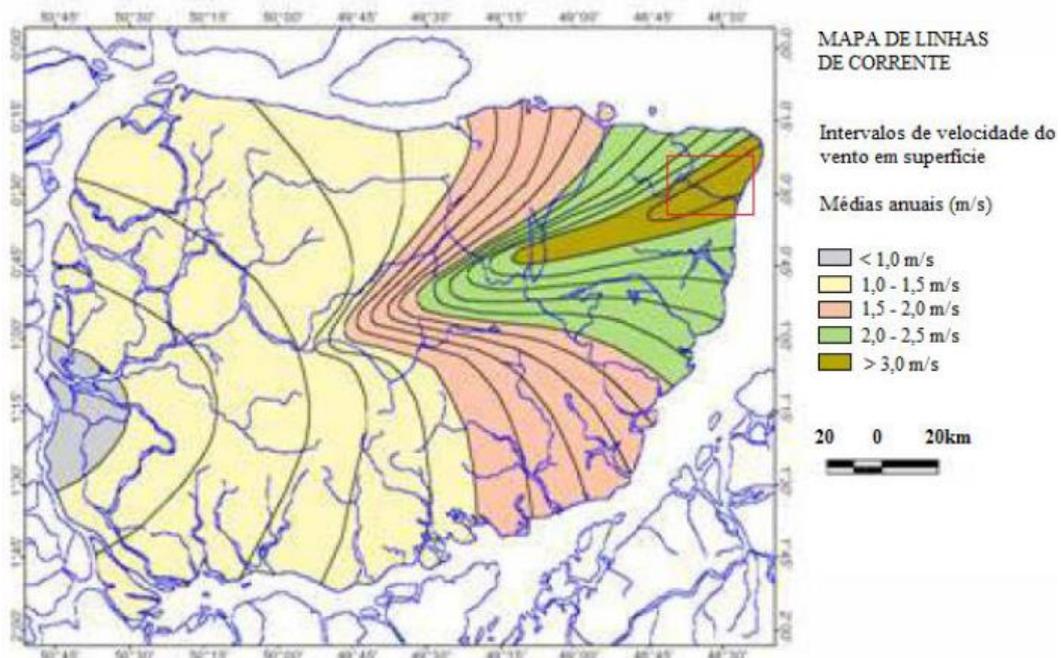


Figura 7 - Mapa de linhas de corrente de ventos da Ilha do Marajó. Fonte: Adaptado de (Lima *et al.* 2005).

4.2 VEGETAÇÃO

A vegetação da Ilha do Marajó é constituída por província fitogeográfica caracterizada por predomínio de campos naturais e de florestas úmidas susceptíveis às inundações anuais durante o período de chuvas (Rosseti *et al.* 2008). No litoral ocorrem densas florestas aluviais (várzea), com árvores como a ucuúba (*Virola surinamensis* Warb.), o açáí (*Euterpe oleracea* Mart.), a andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), o buruti (*Mauritia flexuosa* L.) e os manguezais, onde predomina o mangue vermelho (*Rhizophora mangle* L.), a aninga (*Montrichardia arborescens* Shott.) e o aturiá (*Machaerium lunatum* L.) (IDESP 1974, Barbosa 2003).

4.3 SOLO

Os solos que ocorrem com maior expressão na Ilha do Marajó são classificados como Hidromórficos Indiscriminados e Hidromórficos Gleyzados (Correa *et al.* 1974). Os solos indiscriminados apresentam perfis com horizonte superficial orgânico e orgânico-mineral, com grande variação em espessura, nos quais a matéria orgânica está total ou parcialmente decomposta. Este tipo de solo é pouco evoluído, medianamente profundo, pouco poroso, ácido, com baixa capacidade de troca de cátions e saturação de bases. Já os gleyzados são constituídos por solos desenvolvidos sobre sedimentos relativamente recentes, em geral fortemente ácidos, podendo apresentar-se neutros e alcalinos, de textura argilosa e, às vezes, com considerável conteúdo de silte. Adicionalmente, solos halomórficos ocorrem no litoral da ilha, sendo eles de pouca expressão e representados por solos indiscriminados de mangue (Bemerguy *et al.* 2003).

4.4 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

A parte leste da ilha do Marajó está inserida em grande parte na Plataforma do Pará (Figura 8), que corresponde a uma extensa área tectonicamente estável entre as bacias paleozóicas do Amazonas e do Parnaíba, limitada pela Sub-bacia de Mexiana, a noroeste, Graben do Limoeiro, a sudoeste, e Bacia Pará-Maranhão, a sudeste. Essa plataforma apresenta inúmeras pequenas fossas com profundidades na ordem de 3.500 m (Rezende & Ferradaes 1971).

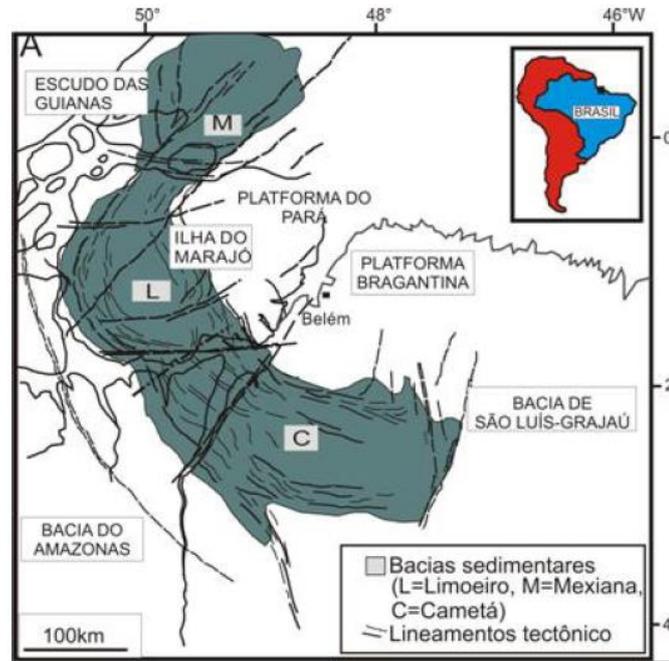


Figura 8 - Contexto tecno-sedimentar da área com indicação das bacias e lineamentos. Fonte: Miranda (2010)

A geomorfologia da ilha do Marajó é caracterizada por: planícies fluviais colmatadas em sua porção leste e oeste; e superfícies pediplanadas em sua porção central. Estas feições fazem parte das unidades morfoestruturais denominadas de Planalto Rebaixado da Amazônia e Planície Amazônica. O Planalto Rebaixado da Amazônia abrange toda a porção centro-sul da ilha, sendo limitado a oeste com as planícies fluviais em processo de colmatagem, e a Leste com planícies fluviais colmatadas. A Planície Amazônica apresenta um conjunto particular de paleocanais, furos, igarapés, paranás e lagos (Bemerguy *et al.* 2003).

A compartimentação morfológica da margem leste da ilha de Marajó (foco do estudo), evidencia dois tipos de costas, separados pelo rio Paracauari: (1) a costa alta do município de Salvaterra, ao sul da desembocadura do rio Paracauari, caracteriza-se pela proximidade dos baixos platôs amazônicos com a linha de costa, originando um alinhamento de falésias, de até 6 m de altura, esculpidas nos sedimentos terciários e quaternários do Grupo Barreiras/Pós-Barreiras; a linha de costa apresenta-se recortada pela alternância de promontórios e enseadas, que abrigam praias com estreitas zonas de estirâncio e gradiente significativo, com areias médias a grossas, moderadamente selecionadas; e (2) a costa baixa do município de Soure, ao sul daquela desembocadura, caracteriza-se pela presença de uma planície costeira, onde se desenvolvem manguezais, bordejados por dunas e praias-barreiras de baixo gradiente, largas zonas de estirâncio e areias finas bem selecionadas (França 2003) (Figura 9).

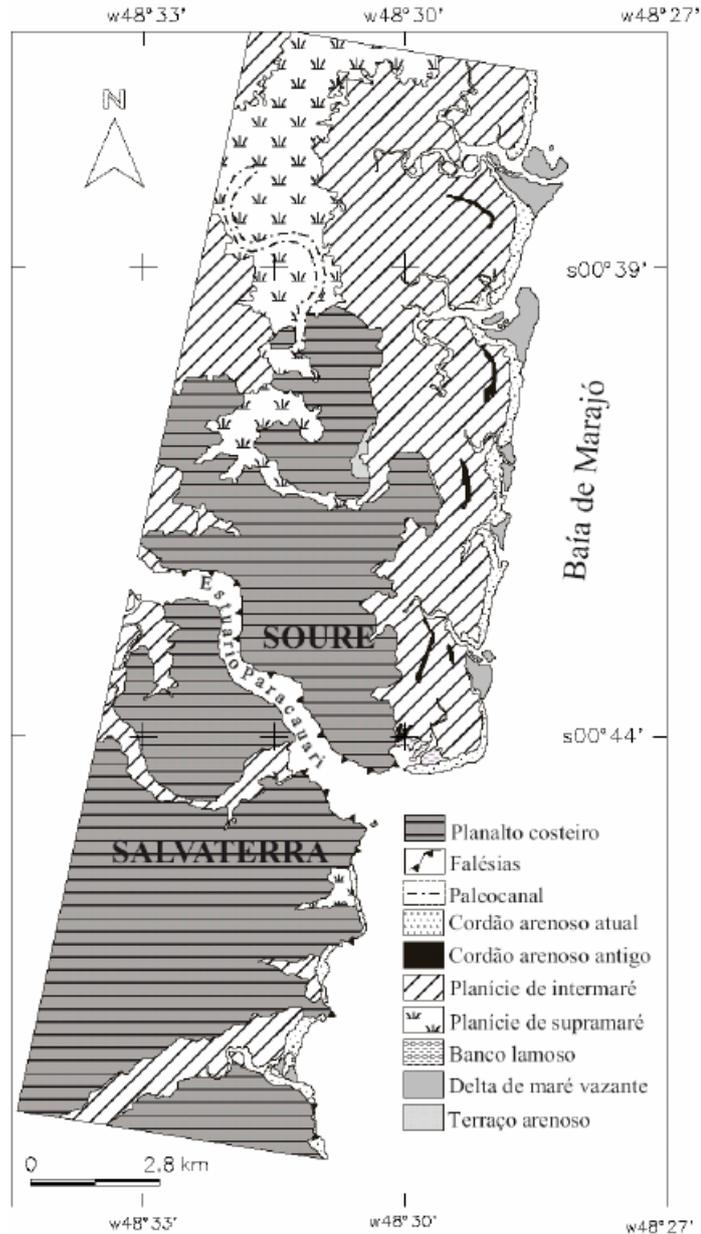


Figura 9 - Mapa morfológico da zona costeira de Soure e Salvaterra. Fonte: França (2003).

4.5 HIDROGRAFIA

Na ilha do Marajó a hidrografia é constituída de dois setores (Figura 10). O setor ocidental com “furos” e igarapés, que se interligam durante o período das cheias; neste setor destacam-se três bacias, a do rio Anajás, rio Pracúba e rio Canaticú. E o setor oriental, no qual está inserido o município de Soure e Salvaterra, com bacias dos rios Arari, Paracauari, Camará e Afuá (Miranda 2010).

A drenagem do município de Salvaterra é representada principalmente pelo rio Paracauari, o qual corre de oeste para leste, servindo de limite, em grande parte, com o município de Soure, a norte. Este rio segue o seu curso apresentando-se meandrante, principalmente, em segmentos localizados a alguns quilômetros da foz. Seu maior afluente é o

rio Maichará, que possui dois outros afluentes: os rios Nazaré e Mangueira. Outro rio de expressão no município é o rio Camará, que serve de limite natural entre Salvaterra e Cachoeira do Arari. Esse rio corre de noroeste para sudeste, apresentando, também, seu baixo curso com características meândricas (SEPOF 2004).

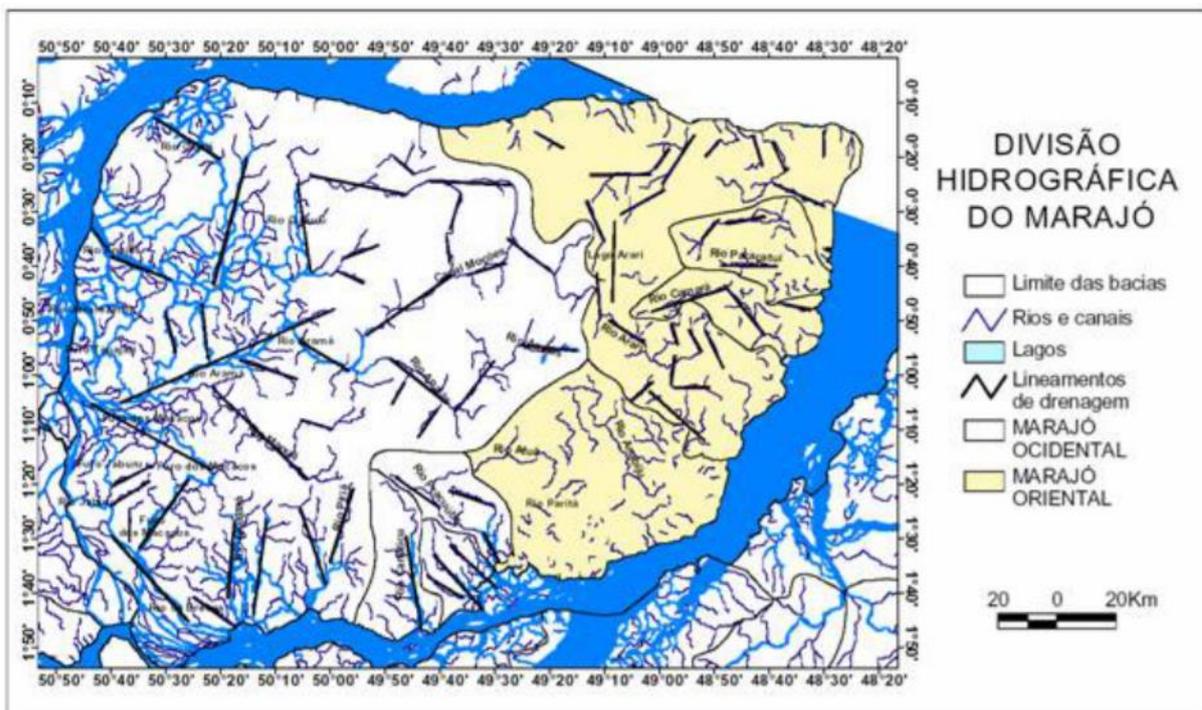


Figura 10 - Divisão hidrográfica da ilha do Marajó. Fonte: Lima *et al.* (2005).

4.6 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS

A ilha do Marajó é influenciada por meso a macromarés semi-diurnas com amplitudes variando de 2 a 5 m. A amplitude e duração das marés, bem como a intensidade das correntes é função da quantidade de chuva, da intensidade dos ventos reinantes e das variações das direções das correntes nos canais, igarapés, rios e bancos (Corrêa 2005). A influência das marés é evidenciada pela presença de manguezais nos entornos da ilha do Marajó e ao longo das drenagens até a influência máxima das marés (Mello 2016).

Na costa paraense, as correntes de marés, e secundariamente, as correntes litorâneas, são responsáveis pelo transporte de sedimentos da plataforma continental para o litoral. Na área de estudo estas podem alcançar velocidade média igual a 130 cm/s, com maiores intensidades durante a estação menos chuvosa (Ferreira 2010).

Rosário (2016) realizou um estudo no estuário do Rio Pará, no qual foi medido as correntes de maré em dois períodos distintos e em dois pontos da margem esquerda do rio (sentido foz), próximos do município de Soure e Salvaterra na Ilha do Marajó. Durante o período de baixa descarga, no primeiro ponto, a máxima velocidade de corrente vazante foi 1,4

m/s e a máxima velocidade de enchente foi de -1,76 m/s. No segundo ponto, a máxima velocidade durante a vazante foi de 1,64 m/s, enquanto a máxima velocidade de enchente foi de -1,1 m/s. Já no período de alta descarga, no primeiro ponto, a máxima velocidade de corrente vazante foi de 1,3 m/s e a máxima corrente de enchente foi de -1,6 m/s. No segundo ponto, a máxima corrente de vazante foi de 1 m/s e a máxima corrente de maré enchente foi -0,9 m/s. De forma geral, a propagação da onda de maré na margem esquerda apresentou características de maré mista.

5 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia está especificada no fluxograma abaixo (Figura 11).

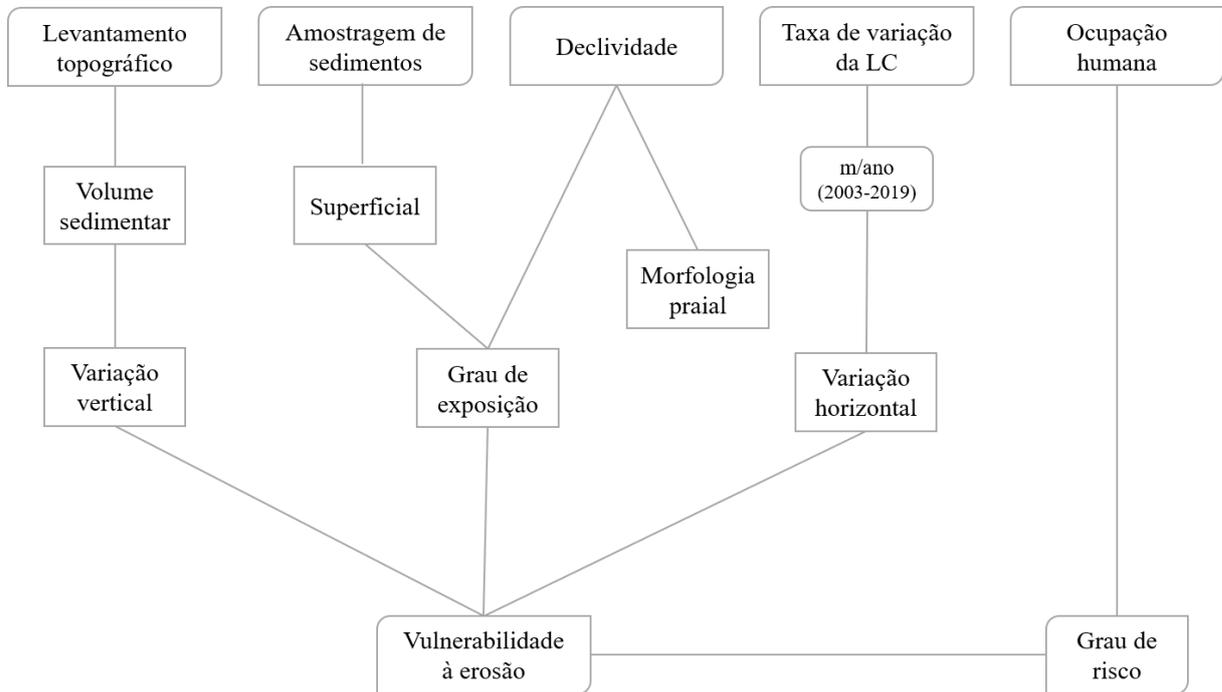


Figura 11 - Fluxograma da metodologia.

5.1 COLETA DE DADOS

Este trabalho foi realizado através de duas campanhas (setembro/2019 – período seco e fevereiro/2020 – período chuvoso) na praia da Barra Velha e na Praia Grande, município de Soure e Salvaterra, respectivamente. Essas duas praias foram escolhidas como estudo de caso por serem as mais populosas, próximas ao perímetro urbano, com evidentes indícios de erosão e pela necessidade de mais estudos na região. Para facilitar a análise, cada praia foi dividida em setor noroeste (NW) e sudeste (SE). Os trabalhos desempenhados foram: levantamento topográfico, amostragem de sedimentos e aplicação de planilhas de descrição da paisagem costeira (análise geoambiental).

5.1.1 Levantamento do perfil topográfico

O objetivo no estabelecimento do perfil topográfico ou perfil praial é de verificar a tendência erosiva ou progradacional nos setores das praias, nos fornecendo o balanço sedimentar. Conseqüentemente, o dado resultante das variações verticais na face praial (parâmetro VII da Tabela 4), necessário para a classificação da vulnerabilidade. Para isso, foram feitos 8 perfis praiais (*transectos*) transversais a linha de costa na Praia Grande e 7 perfis praiais em Barra Velha (Figura 12), com espaçamento entre perfis de aproximadamente 150 metros. As coletas dos dados foram feitas utilizando-se como equipamentos principais uma Estação

Total, marca Topcon ES105, e um prisma refletor (mira do instrumento) (Figura 13), aplicando-se o método proposto por Birkemeier (1985).

As medições foram realizadas em situação de maré baixa de sizígia, com início na linha de maré alta de sizígia de cada perfil praiial. Marcos previamente determinados (postes, casas, marcações em árvores, etc) e GPS (*Global Positioning System*) serviram de identificação dos perfis praiiais durante todos os períodos de coleta.



Figura 12 - Localização dos perfis topográficos realizados na Praia Grande (A) e Praia da Barra Velha (B).



Figura 13 - Estação total e prisma refletor utilizados no levantamento topográfico. Fotografias retiradas em 13/09/2019.

5.1.2 Amostragem de sedimento

As coletas de sedimentos superficiais foram realizadas simultaneamente aos perfis topográficos durante a maré baixa de sizígia, envolvendo os 3 subambientes praias (supramaré, intermaré e inframaré), totalizando 24 amostras para a Praia Grande e 21 amostras para a praia da Barra Velha em cada campanha. O último ponto de coleta de cada perfil foi um pouco além da linha de maré baixa de sizígia, objetivando-se amostrar os sedimentos mobilizados naquele momento pela deriva costeira. O conhecimento do diâmetro médio dos sedimentos é necessário para obtenção do grau de exposição às ondas, referente ao parâmetro V da tabela 4 de vulnerabilidade à erosão.

5.2 ANÁLISE LABORATORIAL

As amostras de sedimentos coletadas em campo foram submetidas a tratamentos em laboratório. Esta etapa consiste, em primeiro caso, no tratamento das amostras brutas visando a separação das diferentes frações granulométricas. Este tratamento foi feito através de peneiramento à seco.

O método inicia-se com a lavagem das amostras e decantação dos grãos, para que haja a melhor remoção de sais contidos nestas amostras. Depois, os sedimentos são secados em estufa a 60°C até adquirirem condições ideais, e logo após esta etapa, é feito o quarteamento destas amostras, a seleção de alíquotas de 100g para cada amostra quarteada e peneiramento dos sedimentos por cerca de 10 minutos, utilizando-se peneiras com os seguintes intervalos em mm: 1,40 – 1,00 – 0,71 – 0,50 – 0,35 – 0,25 – 0,18 – 0,125 – 0,09 – 0,063 – <0,063, de acordo com a metodologia sugerida por Suguio (1973). Por fim, as diferentes frações granulométricas encontradas no processo de peneiramento são pesadas em balança e os pesos anotados.

5.3. ANÁLISE DE DADOS

5.3.1 Taxa de variação da linha de costa

Imagens dos satélites Landsat ETM 7 (ano 2003) e Landsat OTI 8 (ano 2019) (Tabela 1) foram utilizadas e adquiridas previamente ortorretificadas, no formato *geotiff*, projeção UTM (*Universal Transverse Mercator*), zona 22N e datum WGS-84, gratuitamente através do site do *United States Geological Survey* (2020).

Tabela 1 - Características das imagens Landsat utilizadas.

Satélite	Sensor	Data de Aquisição	Resolução Espacial	Condição da Maré
Landsat 7	ETM	04/01/2003	30/15 m	Baixa
Landsat 8	OLI	24/11/2019	30/15 m	Baixa

Para o tratamento das imagens, primeiramente foi feito o recorte em uma delas com o intuito de delimitar apenas a área de estudo. Posteriormente, foi aplicado o recorte para as imagens restantes utilizando as mesmas coordenadas para que ficassem padronizadas.

As imagens foram reprojatadas para a zona 22S do sistema de coordenadas UTM, e em datum WGS-84, para posterior composição de bandas em RGB mais adequada. Após esse procedimento, as imagens foram correlacionadas espacialmente com base em pontos de controle notáveis em todas as cenas, com o intuito de que as mesmas apresentem correspondência de posicionamento. Para garantir a precisão dos resultados, foi calculado o erro geométrico acumulativo das imagens de satélite (Tabela 2) a partir de um cálculo de regra de três simples. Nesse sentido, obteve-se o erro linear acumulativo de 11,8 metros, isso significa que valores entre 11,8 e -11,8 metros representam estabilidade da linha de costa.

Tabela 2 - Margem de erro geométrico acumulativo das imagens.

Imagens	Erro do pixel	Erro geométrico linear
Landsat ETM 7	0,23	6,91 m
Landsat OLI 8	0,16	4,89 m
Erro geométrico acumulativo		11,8 m

Foi realizada a fusão de bandas nas duas imagens no programa *ArcGis*, utilizando a banda pancromática (8) para proporcionar o melhoramento da resolução espacial de 30 para 15 metros. Visando o realce da vegetação, foi utilizada a composição de falsa cor, sendo a combinação 4R5G3B para a imagem Landsat 7 (ano 2003) e combinação 5R6G4B para a imagem Landsat 8 (ano 2019).

A fim de representar a linha de costa foram criados *shapefiles*, em *polylines*, para cada ano (2003 e 2019) de linha de costa estudada, utilizando-se como base a linha de vegetação. Além de uma *polyline* específica para a linha de base (*baseline*). A *baseline* que foi digitalizada na região da baía do Marajó e serviu de referência para analisar a variação da linha de costa.

Após digitalizar os arquivos vetoriais das linhas de costa para cada ano estudado, os dados foram processados na extensão *Digital Shoreline Analysis (DSAS)* do *software ArcGIS 10* para calcular as taxas de variação entre os vetores. O DSAS permite a geração de *transectos* (perfis) ortogonais à uma linha de base determinada pelo usuário (*baseline*) e, então, calcula a taxa de variação horizontal da linha de costa (parâmetro VI da tabela 4) ao longo do tempo com base em parâmetros estatísticos. As estatísticas de variação possuem algumas categorias, sendo que neste trabalho foi utilizada o NSM, ou *Net Shoreline Movement* que mostra a distância em metros entre as linhas de costa mais recente e mais antiga; e o EPR, ou *End Point Rate* que determina a taxa de variação entre duas linhas de costa por razão de distância por tempo (m/ano), sendo que apenas este último foi utilizado para o cálculo da vulnerabilidade à erosão.

Os dados calculados pelo DSAS foram exportados para o *Microsoft Office Excel* para as devidas análises. Os valores negativos foram considerados como processos erosivos ou recuo costeiro e, os valores positivos como processos acrecionais ou avanço costeiro.

5.3.2 Ocupação humana próxima da linha de costa

A concentração de ocupação humana próxima à linha de costa (parâmetro II da tabela 4) foi calculada a partir de imagens de satélite de 2020 extraídas do software Google Earth. No programa de mapeamento *ArcGis 10.5* foram medidas as áreas totais de cada setor das praias, contando 200 m da linha de costa em direção ao continente, atendendo ao limite máximo proposto no Projeto Orla (Brasil, 2004). Foi realizada também a medição das áreas ocupadas (m²), obtendo-se assim a percentagem de área ocupada por setor em comparação com a área total, por regra de três simples.

5.3.3 Classificação morfodinâmica e parâmetros morfométricos

Para a representação gráfica dos perfis topográficos foi utilizado o programa *Grapher 14* da *Golden Software*. A projeção e superposição dos perfis topográficos possibilita o cálculo dos parâmetros morfométricos: variação do volume sedimentar (V_v); declividade da face praial (β); largura média da praia (Y_b), expresso em metros.

Para obtenção do volume sedimentar, expresso em m³/m, o software *Grapher* 14 verifica automaticamente as mudanças de volume para distâncias comuns a duas superfícies topográficas.

A declividade da face praial (β), expressa em graus, é obtida através da fórmula:

$$\tan\beta = \text{oposto/adjacente.}$$

Onde o dado oposto corresponde à altura e o dado adjacente corresponde à distância entre o máximo e o mínimo valor registrado do perfil topográfico.

A classificação morfodinâmica utilizada foi baseada no modelo proposto por Sazaki (1980), que leva em consideração as características ambientais principais das praias (Tabela 3), sendo o parâmetro de principal referência, a declividade média (β).

Tabela 3 - Classificação de estados morfodinâmicos de praias arenosas e características com destaque ao parâmetro declividade média, utilizado como referência neste estudo.

PARÂMETROS	DISSIPATIVO	INTERMEDIÁRIO	REFLEXIVO
ONDAS			
Tipo de Quebra	deslizante	deslizante/mergulhante	mergulhante/frontal
Número de Quebras	> 3	1-3	1
Refletividade	baixa	-	alta
Nível Relativo de Energia	alto	médio	baixo
Ângulo de Incidência	normal à costa	médio (0-10°)	oblíquo (10-45°)
CORRENTES			
Horizontais	grandes giros	pequenos giros	unidirecional
Costa afora	correntes de retorno intensas	correntes de retorno médias	fluxo rumo sotamar
MORFOLOGIA			
Barras	múltiplas, paralelas	em crescente	sem barras
Declividade média	< 2°	2-4°	> 4°
Cúspides e irregularidades da linha de costa	embaixamentos rítmicos / aperiódicos	cúspides de surfe	cúspides de espraiamento
Perfil Praial	plano	Transicional (berma)	em degraus (berma)
TRANSPORTE DE SEDIMENTOS			
Longitudinal	baixo	médio	alto
Costa-adentro / Costa-afora	alto	médio	baixo
Modo Dominante	suspensão	misto	carga de fundo
Granulometria	fina	média	grossa
Atividade Eólica	alta	média	baixa

Fonte: Sazaki (1980).

5.3.4 Classificação da granulometria

Para realizar o tratamento estatístico (média, seleção, assimetria e curtose) das amostras de sedimentos, as mesmas foram inseridas no programa *SysGran* 3.0, para calcular as características texturais dos mesmos. Sendo utilizado neste programa as classificações estatísticas de Folk & Ward (1957) e, de Wentworth (1922) para o tamanho do grão.

5.3.5 Classificação quanto ao grau de exposição às ondas

Segundo Muehe (2001), a inferência mais simples do grau de exposição, isto é, sem conhecer o clima de ondas, é a utilização da relação entre a inclinação da face praial e a característica granulométrica dos sedimentos expressos em termos de diâmetro médio ou mediano ou em velocidade de decantação (Figura 14).

A classificação de Exposta, Semi-exposta e Protegida fornece uma ideia da atuação do clima de ondas em termos de causar erosão e da capacidade de mobilização dos sedimentos da face praial. O grau de exposição às ondas corresponde ao parâmetro V da tabela 4, que possibilita analisar a vulnerabilidade à erosão nas praias.

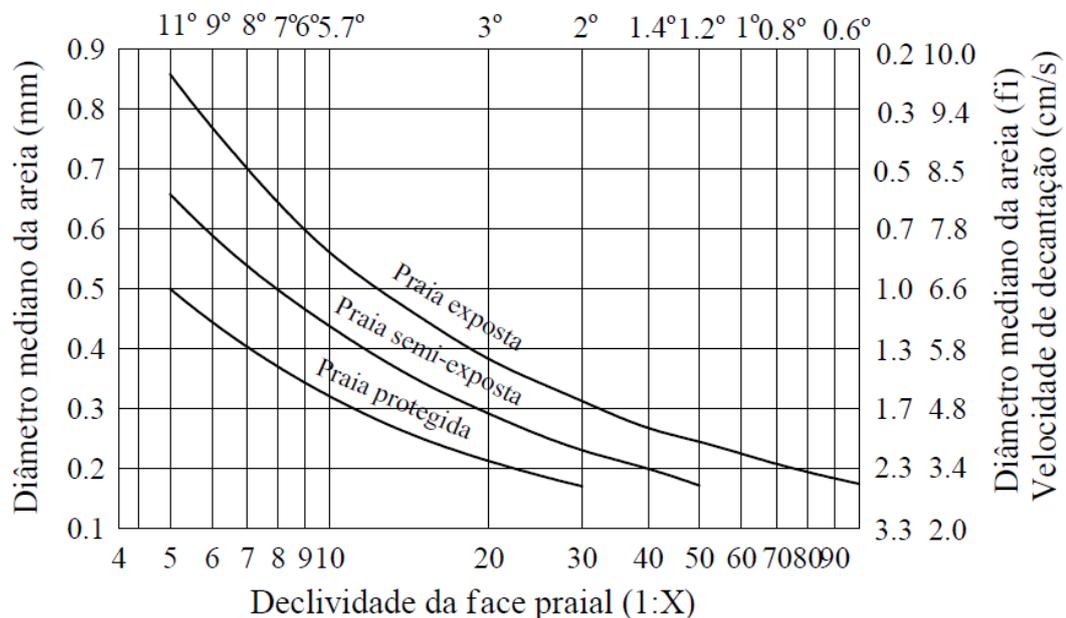


Figura 14 - Correlação entre a declividade da face praial e a característica granulométrica dos sedimentos em função da exposição às ondas. Fonte: Muehe (2001).

5.3.6 Classificação do grau de vulnerabilidade

Para a análise da vulnerabilidade costeira foi criada uma metodologia semiquantitativa (Tabela 4) baseada em modelos propostos por Dal Cin & Simeoni (1994), Coelho (2006) e Marcomini & López (2007).

Com o intuito de integralizar os parâmetros, foi escolhida uma abordagem semiquantitativa, na qual todas as variáveis, qualitativas ou quantitativas, foram codificadas em pesos (0, 1, 2 e 3) de acordo com o seu grau de influência sobre a vulnerabilidade à erosão nas praias estudadas.

O grau de vulnerabilidade para a área de estudo foi determinado em função das interações humanas e as características naturais da praia, pelos seguintes critérios: I) estabilidade dos depósitos sedimentares no pós-praia; II) ocupação humana próxima da linha

de costa (até 200m em direção ao continente); III) estruturas de proteção natural (presença ou ausência de promontórios ou afloramentos rochosos, manguezais, dunas); IV) estruturas artificiais de proteção (presença ou ausência); V) exposição às ondas; VI) variações horizontais na linha de costa e VII) variações verticais na face praial. Para cada parâmetro considerado é atribuído a classe e o peso.

A determinação dos dois últimos parâmetros supracitados é dependente dos resultados de taxa de variação da linha de costa e levantamento topográfico, que também foram determinadas no presente estudo, por meio de análise temporal da linha de costa e por meio do volume sedimentar dos perfis praias, respectivamente.

Tabela 4 - Parâmetros, classes, pesos e definições para a classificação do grau de vulnerabilidade à erosão.

(continua)

PARÂMETROS		CLASSES	PESOS	DEFINIÇÕES
I	Estabilidade do depósito sedimentar no pós-praia	Estável	0	Falésias inativas, dunas vegetadas e manguezais preservados
		Instável	1	Falésias ativas, escarpas de dunas e tombamento de mangue
II	Ocupação humana próxima da linha de costa	Baixo	1	Baixa concentração da área costeira ocupada (< 30% da área do setor)
		Moderado	2	Média concentração da área costeira ocupada (30 a 60% da área do setor)
		Alto	3	Alta concentração de ocupações da área costeira ocupada (> 60% da área do setor)
III	Estruturas de proteção natural	Ausente	2	Sem a presença de proteção natural (manguezal, dunas e promontórios rochosos)
		Presente	1	Presença de proteção natural (manguezal, dunas e promontórios rochosos)

(conclusão)

PARÂMETROS		CLASSES	PESOS	DEFINIÇÕES
IV	Estruturas artificiais	Ausente	1	Sem estruturas de proteção ou contenção à erosão costeira
		Presente	2	Com estruturas de proteção ou contenção à erosão costeira
V	Exposição às ondas	Protegida	1	Áreas protegidas da incidência direta de ondas
		Semi-exposta	2	Características intermediárias entre praias protegidas e expostas
		Exposta	3	Áreas com maior incidência da ação dominante das ondas
VI	Variações horizontais na linha de costa	Acreção	0	> 0,5 m/ano
		Estável	1	0,5 a -0,5 m/ano
		Erosão	2	-0,5 a -1,0 m/ano
		Alta erosão	3	> -1,0 m/ano
VII	Variações verticais na face praial	Tendência à acreção	0	Saldo de balanço sedimentar positivo
		Tendência ao equilíbrio	1	Saldo de balanço sedimentar equilibrado
		Tendência erosiva	2	Saldo de balanço sedimentar negativo

São atribuídos valores de zero a três para os pesos de cada parâmetro, os quais foram somados. A soma simples destas características gerou uma tabela definindo o grau efetivo de vulnerabilidade à erosão, em uma escala de 0 a 16, variando do menor para o maior grau de vulnerabilidade (Tabela 5).

Tabela 5 - Classificação quanto ao grau de vulnerabilidade à erosão.

GRAU DE VULNERABILIDADE	
Baixo	0 a 5
Moderado	6 a 10
Alto	11 a 16

O mapa de vulnerabilidade à erosão foi feito no *software ArcGIS 10.5* através de polilinhas traçadas ao longo das linhas de costa da Praia Grande e Barra Velha identificando o grau de vulnerabilidade com cores distintas, que representam o grau de vulnerabilidade oriundo das características geoambientais específicas por setor de praia.

5.3.7 Classificação do grau de risco

Para a classificação do grau de risco foi adaptada a metodologia aplicada por Lins-de-Barros (2005), onde foi utilizado os resultados de grau de vulnerabilidade e de ocupação humana (parâmetro II da tabela 4) para obtenção do grau de risco de cada praia, como descrito na Tabela 6. Ressalta-se que a existência do risco está atrelada primordialmente à presença humana.

Tabela 6 - Classificação quanto ao grau de risco.

Grau de Risco	Vulnerabilidade	Nível de Ocupação Humana
Baixo	Baixa	Baixa
	Moderada a Alta	Baixa
Moderado	Baixa	Moderada
	Moderada	Moderada
Alto	Moderada	Alta
	Alta	Moderada
	Alta	Alta

6 RESULTADOS

6.1 VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA

6.1.1 Praia da Barra Velha

As linhas de costa (2003 e 2019) obtidas para a praia da Barra Velha estão representadas na imagem abaixo (Figura 15). Nota-se que a linha de costa de 2019 está mais extensa que a de 2003 devido a uma evolução morfológica do canal do Araruna no decorrer dos anos, aliado ao transporte sedimentar. A corrente de maré erodiu a margem direita da desembocadura do canal do Araruna. Com a nova morfologia, o aporte sedimentar no canal ficou mais a SE e os sedimentos transportados longitudinalmente na praia foram sendo depositados mais no sentido NW, dessa forma, aumentando a faixa da praia (linha de costa).

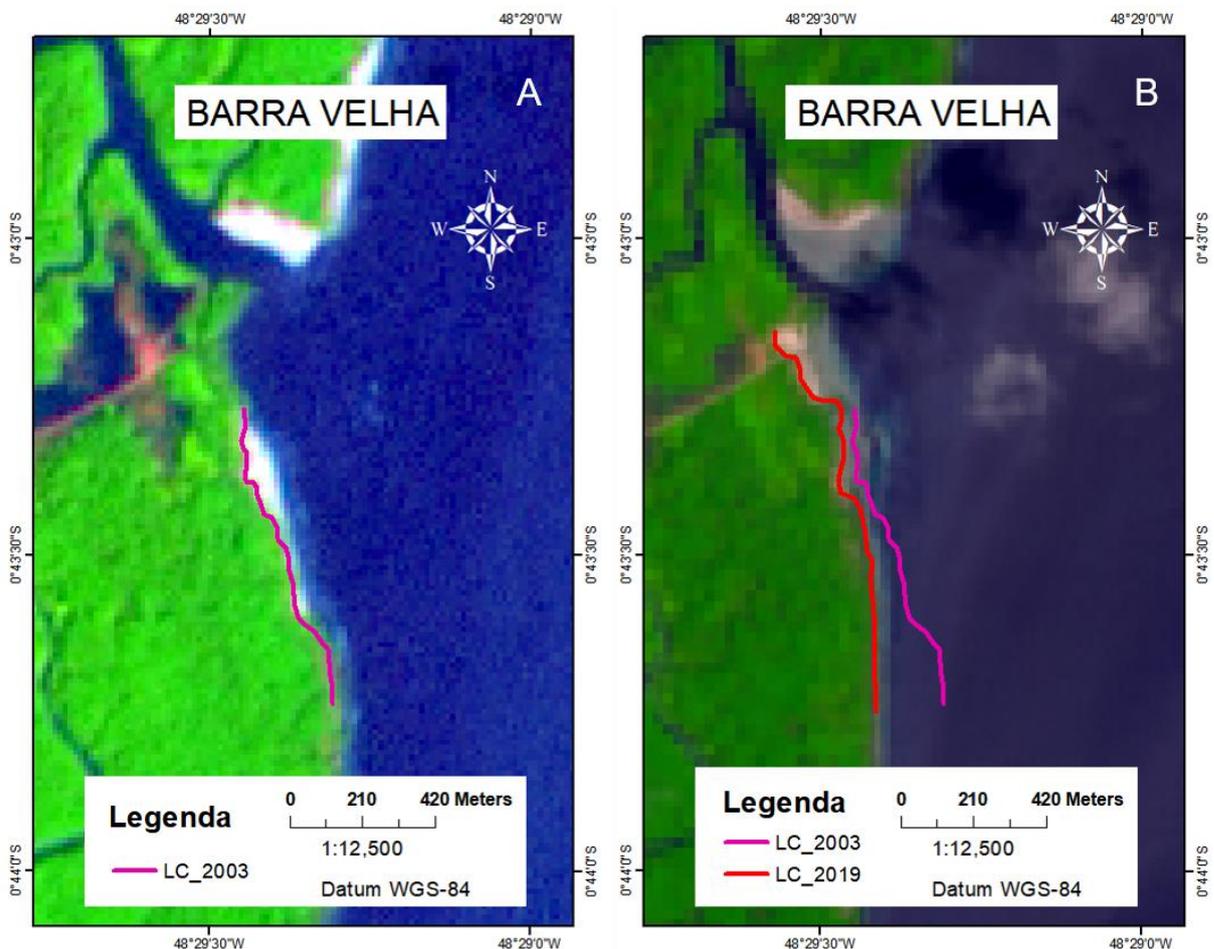


Figura 15 - Linhas de costa dos anos estudados para a praia da Barra Velha. Imagem Landsat 7/ETM de 2003 (A) e imagem Landsat 8/OLI de 2019 (B).

Para o período de 16 anos estudados, a amplitude espacial média foi de -81,34 metros, sendo que nesta praia houve apenas recuo (somente valores negativos), indicando uma tendência mais erosiva da costa, como é possível observar na figura 15. No setor noroeste a

variação média linear foi de -18,81 metros. Já no setor sudeste foi de -150,2 metros, demonstrando maior erosão costeira neste setor.

Os resultados da estatística do EPR (*End Point Rate*) mostram uma taxa de variação média da praia de -9,93 m/ano, com -3,15 m/ano no setor noroeste e -9,58 m/ano no setor sudeste (Figura 16). Vale ressaltar que esses resultados foram utilizados para a determinação da variação horizontal da linha de costa (parâmetro VI).

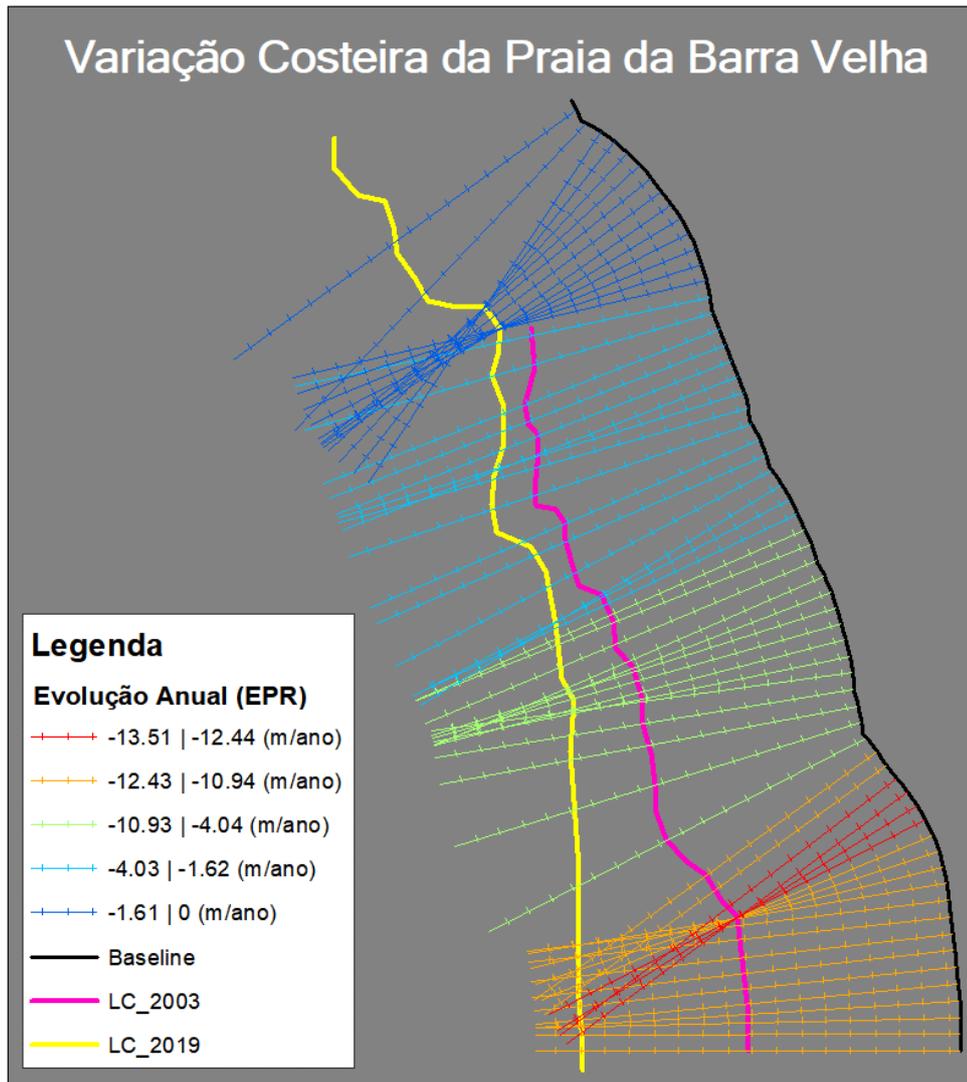


Figura 16 - Variações na linha de costa da praia da Barra Velha entre os anos de 2003 a 2019 com os valores de taxa anual de evolução costeira.

6.1.2 Praia Grande

As linhas de costa obtidas para o período de 2003 a 2019 na Praia Grande estão indicadas na figura abaixo (Figura 17).

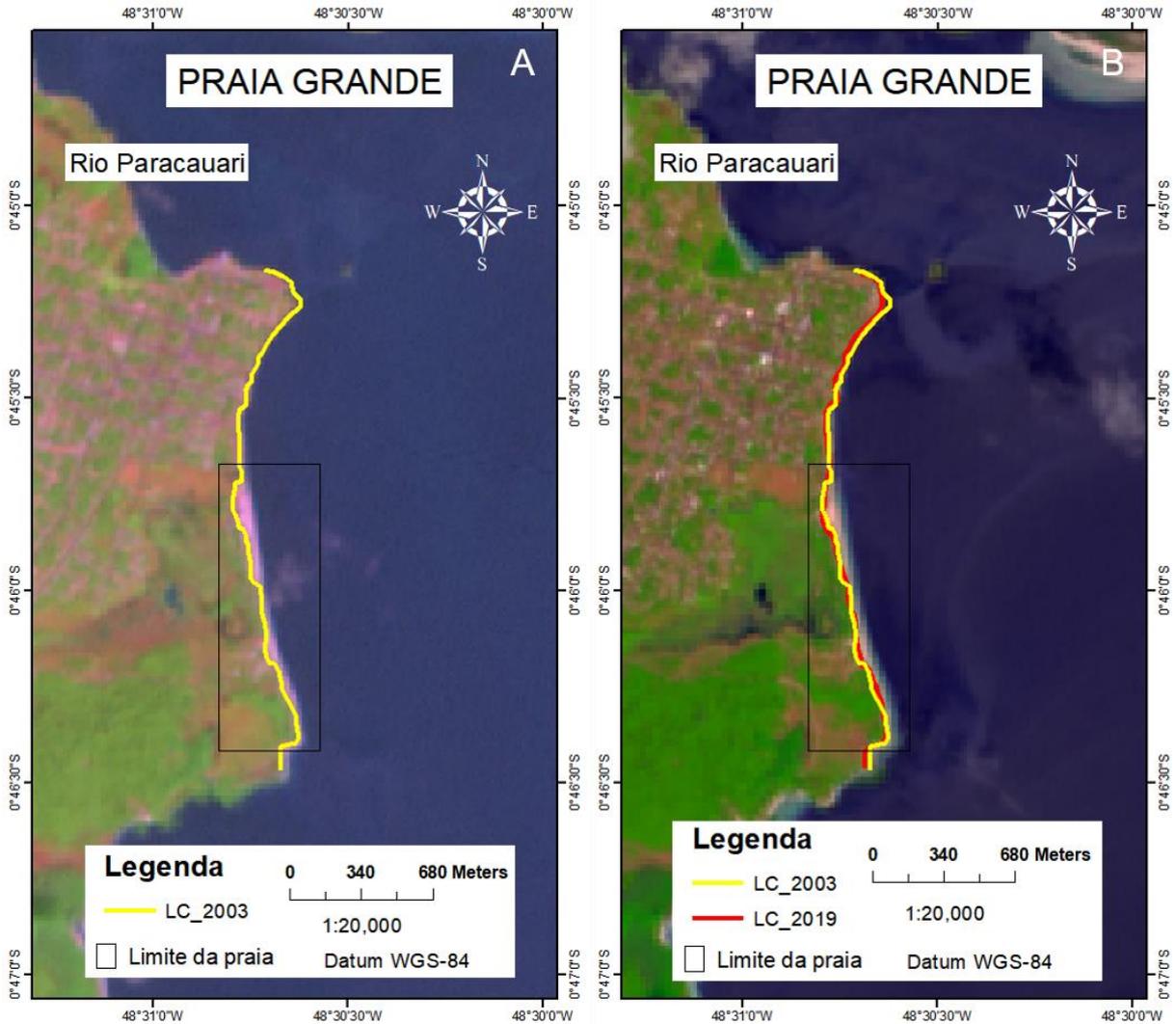


Figura 17 - Linhas de costa dos anos estudados para a Praia Grande e área adjacente, à noroeste. Imagem Landsat 7/ETM de 2003 (A) e imagem Landsat 8/OLI de 2019 (B).

A Praia Grande apresentou valor médio de amplitude espacial de -0,54 metros, com avanço médio de 10,61 metros e recuo médio de -11,03 m. O setor noroeste e o setor sudeste tiveram variação média linear de -6,04 metros e 5,67 metros, respectivamente. O estudo da variação da linha de costa foi estendido para além da Praia Grande, englobando a área adjacente à praia que vai até a foz do rio Paracauari. Dessa forma, considerando uma extensão maior, a amplitude espacial média foi de -7,49 metros, com avanço médio de 14,07 metros e recuo médio de -17,51, indicando que a Praia Grande sofreu menor variação no período estudado se comparado com o restante da costa de Salvaterra à noroeste.

A taxa de variação média da Praia Grande foi de -0,03 m/ano, enquanto que na área compreendida pela praia mais a área adjacente, à noroeste, a taxa foi de -0,54 m/ano, sugerindo leve tendência erosiva na área adjacente. O setor noroeste e sudeste da praia apresentou variação

média de $-0,35$ m/ano e $0,33$ m/ano, respectivamente (Figura 18), ou seja, a praia Grande mostrou-se estável no período estudado.

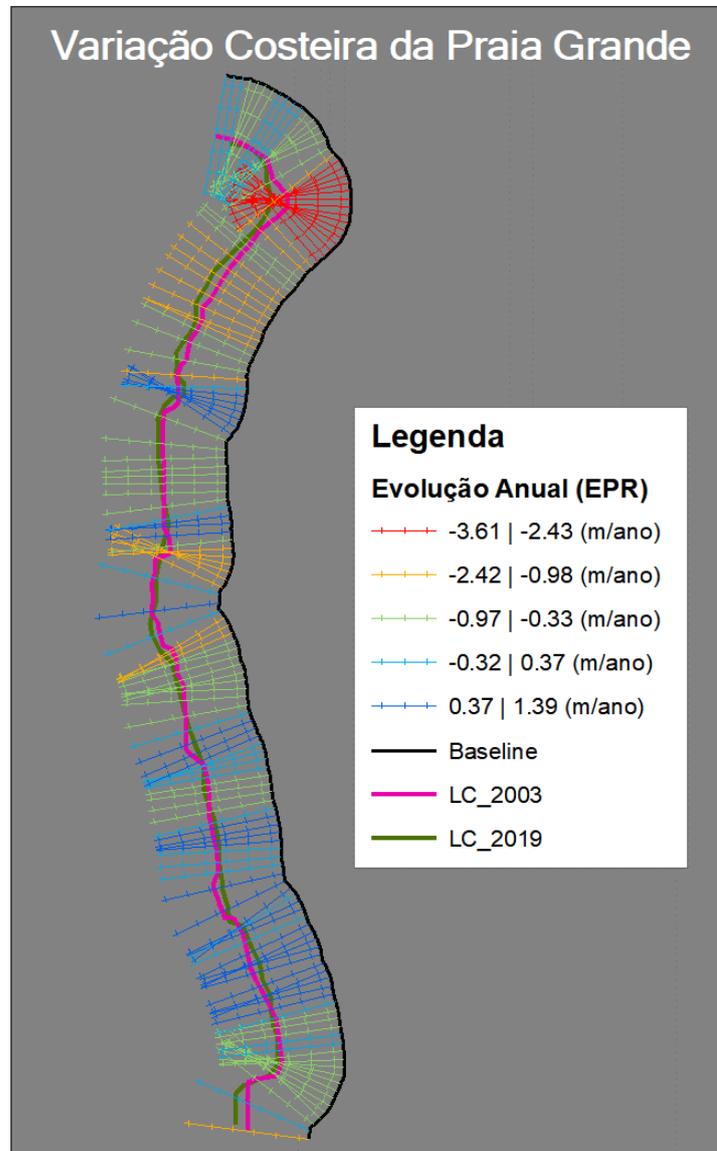


Figura 18 - Variações na linha de costa da Praia Grande até a área adjacente à margem do rio Paracauari (sentido acima) entre os anos de 2003 a 2019, com os valores de taxa anual de evolução costeira.

6.2 COMPORTAMENTO MORFODINÂMICO SAZONAL

A Praia da Barra Velha possui cerca de 1 km de extensão, sendo recoberta por areia fina. A largura (Y_b) variou entre 68 a 281 m no período seco e entre 81 a 263 m no período chuvoso (Tabela 7). Nesta praia foram realizados 7 perfis topográficos (A, B, C, D, E, F e G) que estão representados nas figuras 19 e 20. Já a Praia Grande possui aproximadamente 1,2 km de extensão, recoberta por areia média. A largura oscilou entre 54 a 115 m no período seco e entre 74 a 142 m no período chuvoso (Tabela 8). Nela foram produzidos 8 perfis topográficos (A, B,

C, D, E, F, G e H), apresentados nas figuras 21 e 22, onde as áreas de erosão e deposição apresentadas são referentes à comparação do período seco ao chuvoso, conforme a ordem temporal da coletas de dados.

Os menores declives foram verificados na Praia da Barra Velha e os maiores na Praia Grande. Na Praia da Barra Velha, os menores declives ocorreram no setor noroeste e os maiores no setor sudeste, em ambos os períodos sazonais (Tabela 7). A noroeste: mínimo de 0.62° no perfil D, período seco e, a sudeste: máximo de 1.76° no perfil B, período chuvoso. A maior declividade da Praia Grande ocorreu no perfil G (setor noroeste) com $4,84^\circ$ no período seco e, no perfil C (setor sudeste), com $4,49^\circ$ no período chuvoso (Tabela 8). As mínimas ocorreram no perfil B (2.93°) durante o período seco e no perfil H (2.76°) durante o período chuvoso.

De acordo com a classificação de Sazaki (1980), a Praia da Barra Velha apresentou estado morfodinâmico dissipativo ($< 2^\circ$) tanto no período chuvoso quanto no período seco. Enquanto a Praia Grande apresentou estado morfodinâmico intermediário ($2-4^\circ$) e refletivo ($> 4^\circ$) nos dois períodos estudados, sendo mais íngreme (mais refletivo) na porção central (Tabela 8).

As variações da largura praial foram dispares entre as duas estações do ano nas praias estudadas, sendo que a Praia Grande teve a menor variação (perfil C) em relação a Praia da Barra Velha, a qual teve a maior variação no perfil D (Tabela 7 e 8).

Quanto à variação do volume sedimentar (ΔV_v), na Praia da Barra Velha (Tabela 9), a transição do período seco para o chuvoso foi negativa em cinco perfis (A, B, C, D e G), com o máximo de $-30 \text{ m}^3/\text{m}$ no perfil B; e nos perfis restantes (E e F) foi positiva, alcançando $48 \text{ m}^3/\text{m}$ no perfil E. Enquanto na Praia Grande (Tabela 10), essa transição foi positiva (maior deposição sedimentar) em seis perfis (A, B, D, E, G e H) com valor máximo de $77 \text{ m}^3/\text{m}$ no perfil G; e negativa nos dois perfis restantes (C e F), alcançando $-48 \text{ m}^3/\text{m}$ no perfil F.

Estes resultados de variação do volume sedimentar foram utilizados como parâmetro (VII) para obtenção do grau de vulnerabilidade costeira à erosão.

Tabela 7 - Parâmetros morfométricos da Praia da Barra Velha.

PERFIL	ESTADO MORFODINÂMICO		LARGURA DA PRAIA (Yb)		ΔYb	DECLIVIDADE (°)	
	SECO	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO		SECO	CHUVOSO
A	Dissipativo	Dissipativo	68	81	13	1.58	1.67
B	Dissipativo	Dissipativo	98	85	13	1.33	1.76
C	Dissipativo	Dissipativo	154	100	54	1.02	1.33
D	Dissipativo	Dissipativo	219	118	101	0.62	1.07
E	Dissipativo	Dissipativo	281	263	18	0.71	0.93
F	Dissipativo	Dissipativo	265	237	28	0.68	0.65
G	Dissipativo	Dissipativo	197	195	2	0.95	0.8

*Linhas cinza escuras: setor sudeste. Linhas cinza claras: setor noroeste.

Tabela 8 - Parâmetros morfométricos da Praia Grande.

PERFIL	ESTADO MORFODINÂMICO		LARGURA DA PRAIA (Yb)		ΔYb	DECLIVIDADE (°)	
	SECO	CHUVOSO	SECO	CHUVOSO		SECO	CHUVOSO
A	Intermediário	Intermediário	100	85	15	3.09	3.3
B	Intermediário	Intermediário	115	91	24	2.93	3.28
C	Refletivo	Refletivo	78	78	0	4.26	4.49
D	Refletivo	Refletivo	75	74	1	4.55	4.16
E	Refletivo	Refletivo	74	77	3	4.6	4.04
F	Intermediário	Refletivo	74	79	5	3.5	4.18
G	Refletivo	Intermediário	54	94	40	4.84	3.79
H	Intermediário	Intermediário	84	142	58	3.54	2.76

*Linhas cinza escuras: setor sudeste. Linhas cinza claras: setor noroeste.

Tabela 9 - Volume sedimentar da Praia da Barra Velha.

		Vv (m ³ /m)	ΔVv (m ³ /m)	Erosão (m ³ /m)	Deposição (m ³ /m)
A	Seco	110	-20	20	0
	Chuvoso	90			
B	Seco	149	-35	30	0
	Chuvoso	114			
C	Seco	122	-17	16	1
	Chuvoso	105			
D	Seco	180	-4	16	10
	Chuvoso	176			
E	Seco	476	48	11	37
	Chuvoso	524			
F	Seco	314	23	6	17
	Chuvoso	337			
G	Seco	409	-19	14	5
	Chuvoso	390			

Tabela 10 - Volume sedimentar da Praia Grande.

		Vv (m3/m)	ΔVv (m3/m)	Erosão (m3/m)	Deposição (m3/m)
A	Seco	190	5	1	4
	Chuvoso	195			
B	Seco	219	10	1	9
	Chuvoso	229			
C	Seco	194	-9	10	7
	Chuvoso	185			
D	Seco	168	37	0	37
	Chuvoso	205			
E	Seco	154	52	0	52
	Chuvoso	206			
F	Seco	230	-48	47.5	0.5
	Chuvoso	182			
G	Seco	169	37	0	77
	Chuvoso	206			
H	Seco	174	23	0.5	22.5
	Chuvoso	197			

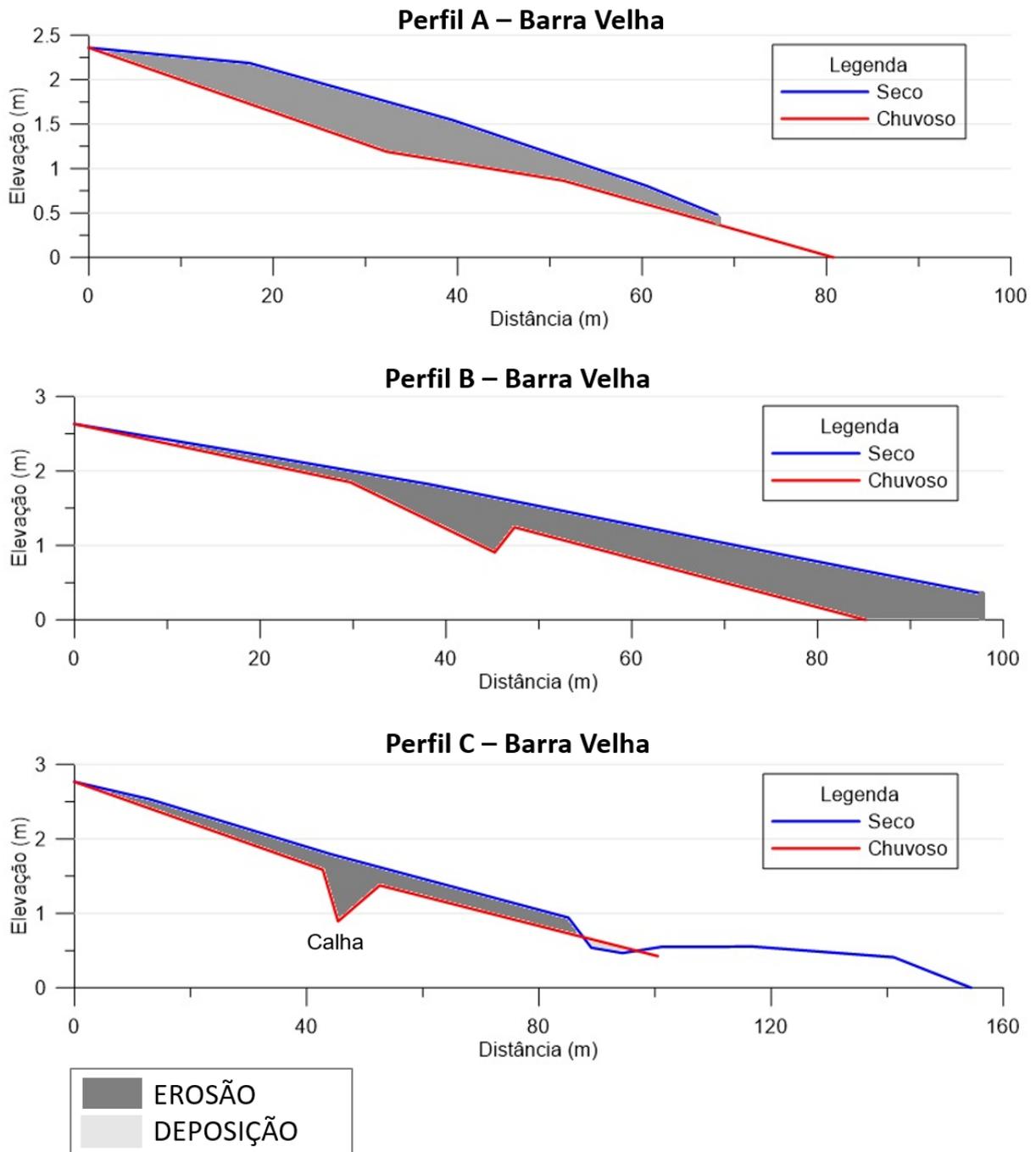


Figura 19 - Perfis topográficos de A a C da Praia da Barra Velha (Setor Sudeste) realizados em 14/09/2019 (período seco) e 13/02/2020 (período chuvoso). As áreas de erosão e deposição são referentes à ordem temporal: período seco ao chuvoso.

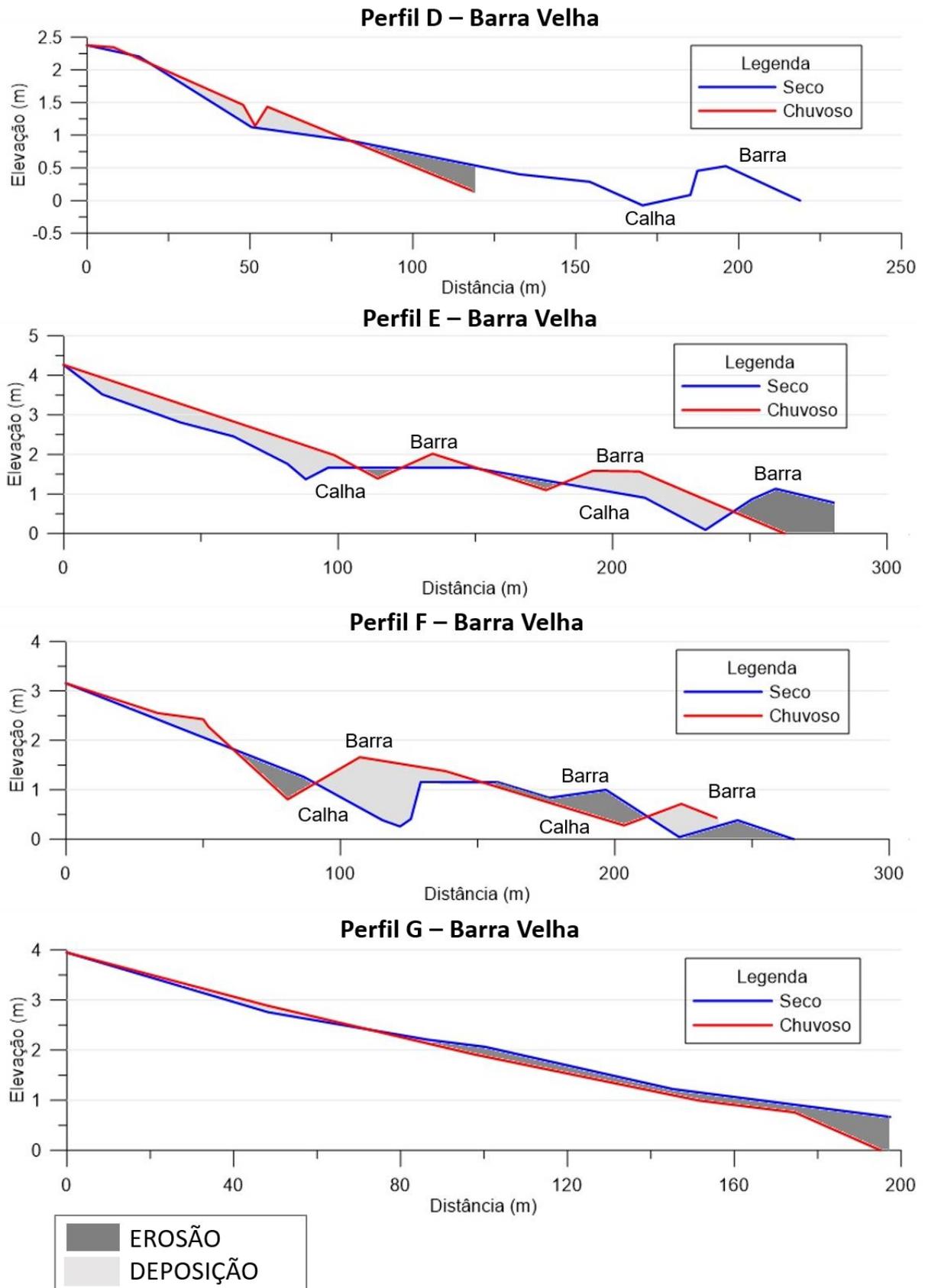


Figura 20 - Perfis topográficos de E a G da Praia da Barra Velha (Setor Noroeste) realizados em 14/09/2019 (período seco) e 13/02/2020 (período chuvoso). As áreas de erosão e deposição são referentes à ordem temporal: período seco ao chuvoso.

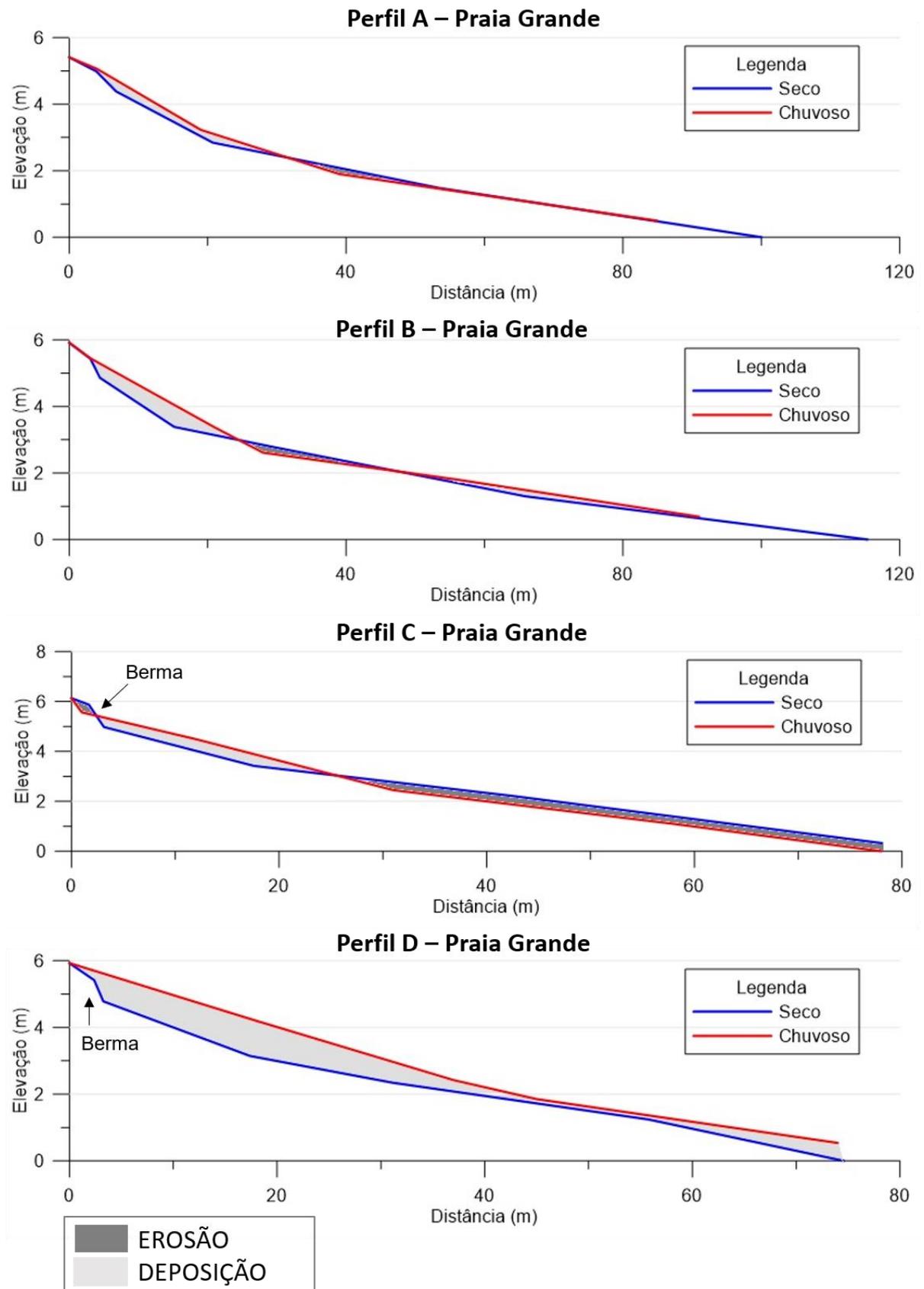


Figura 21 - Perfis topográficos de A a D da Praia Grande (Setor Sudeste) realizados em 13/09/2019 (período seco) e 11/02/2020 (período chuvoso). As áreas de erosão e deposição são referentes à ordem temporal: período seco ao chuvoso.

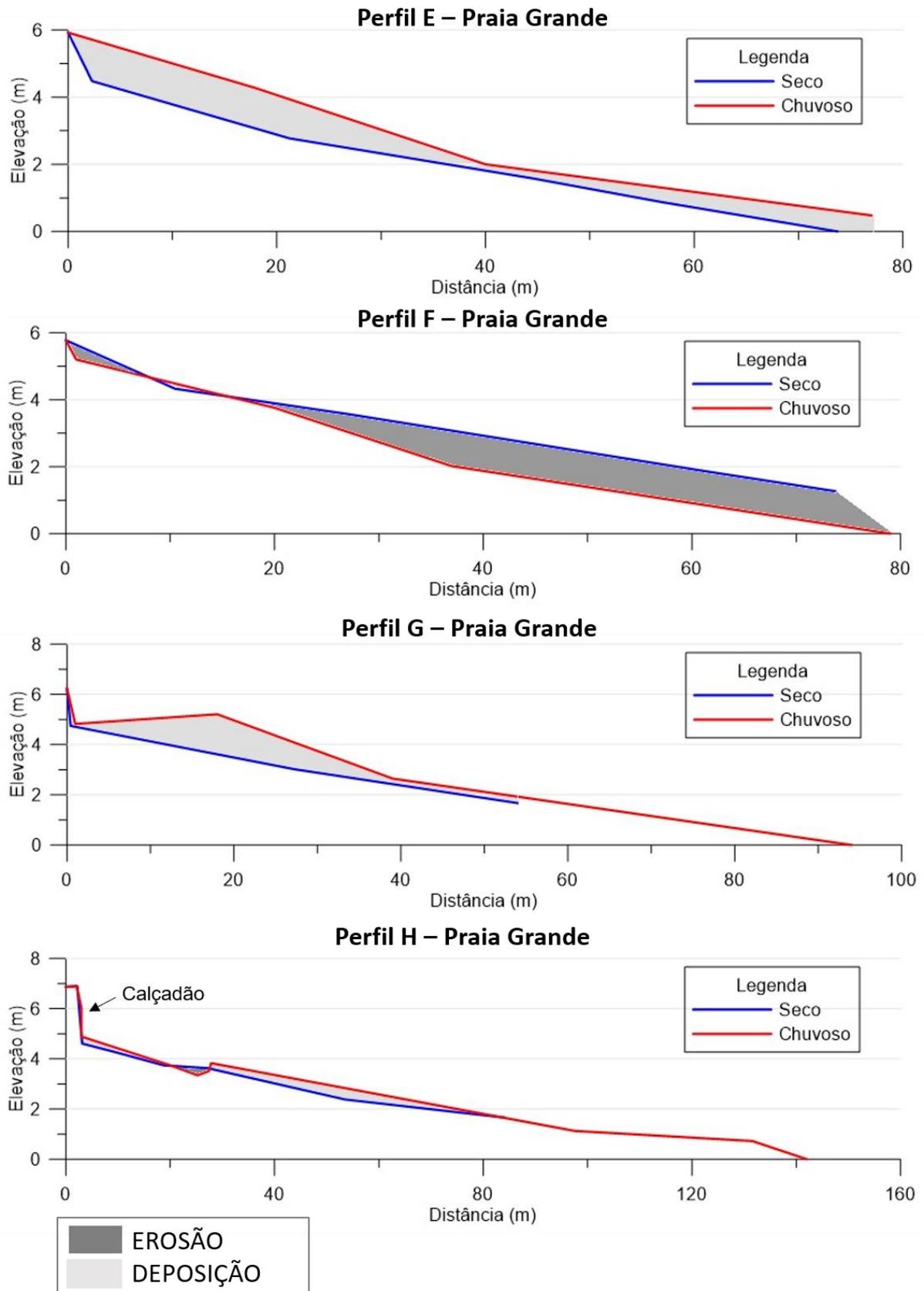


Figura 22 - Perfis topográficos de E a H da Praia Grande (Setor Noroeste) realizados em 13/09/2019 (período seco) e 11/02/2020 (período chuvoso). As áreas de erosão e deposição são referentes à ordem temporal: período seco ao chuvoso.

6.3 PARÂMETROS ESTATÍSTICOS GRANULOMÉTRICOS

O resultado da análise granulométrica está apresentado abaixo para as duas praias estudadas. Destacando que o diâmetro médio dos grãos foram um dos dados utilizados para determinação do grau de exposição às ondas, que corresponde ao parâmetro V da tabela de vulnerabilidade costeira à erosão.

6.3.1 Praia da Barra Velha

Os sedimentos da Praia da Barra Velha apresentaram média granulométrica variando entre 2,9 ϕ e 2,42 ϕ , as amostras indicam 100% de areia fina (valores entre 2 a 3 ϕ) durante o período seco e chuvoso.

O grau de seleção variou de moderadamente selecionado (0,63) a bem selecionado (0,4) durante as duas estações, com predominância de sedimentos bem selecionados (valores entre 0,35 a 0,50) no período seco (57%) e moderadamente selecionado (valores entre 0,50 a 1,00) no período chuvoso (71%).

O parâmetro assimetria apresentou classificação variando entre aproximadamente simétrica (-0,05) e positiva (0,28) nos períodos estudados, com 76% das amostras com assimetria positiva no período seco e 90% no período chuvoso.

O grau de curtose variou de platicúrtica (0,78) a leptocúrtica (1,36) nas duas estações climáticas, com predominância de sedimentos leptocúrticos (52% das amostras nos dois períodos com curtose entre 1,11 a 1,50). Já os sedimentos classificados como platicúrticos (valores entre 0,67 a 0,90) ocorreram pontualmente na zona de inframaré.

6.3.2 Praia Grande

A Praia Grande apresentou média granulométrica variando entre 2.12 ϕ (areia fina) e 0.47 ϕ (matacão), sendo a areia média (valores entre 1 a 2 ϕ) predominante em toda a extensão da praia durante o período seco (79% das amostras) e período chuvoso (46% das amostras). No entanto, houve uma diminuição da granulometria (fi) na passagem da estação seca para a chuvosa. Sedimentos compostos de areia fina ocorreram pontualmente apenas na zona de inframaré do setor sudeste da praia. Observou-se um aumento da granulometria (fi) na zona de inframaré durante o período chuvoso.

O grau de seleção variou de muito bem selecionado (0,33) a moderadamente selecionado (0,87) durante o período seco e de bem selecionado (0,39) a pobremente selecionado (1,01) no período chuvoso, com predominância de grãos bem selecionados (valores entre 0,35 a 0,50) nos dois períodos (58% estação seca e 66 % estação chuvosa). Grãos bem

selecionados predominaram na zona de supramaré e intermaré, principalmente no período chuvoso.

O parâmetro assimetria indicou variação de negativa (-0,25) a muito positiva (>0,30) durante os dois períodos. Este parâmetro variou espacialmente na praia, sedimentos com assimetria negativa (valores entre -0,30 a -0,10) são encontrados principalmente nas zonas de supramaré e inframaré. Enquanto o grau de curtose oscilou de platicúrtica (0,73) a leptocúrtica (1,10), com predominância de sedimentos leptocúrticos (41% na estação seca e 58% na estação chuvosa).

6.4 GRAU DE EXPOSIÇÃO ÀS ONDAS

A Praia da Barra Velha apresentou classificação semi-exposta (Figura 23), em relação ao grau de exposição às ondas (parâmetro V), que é analisada de acordo com as características de inclinação da face praial e diâmetro médio dos sedimentos obtidos em campo (modelo proposto por Muehe (2001)).

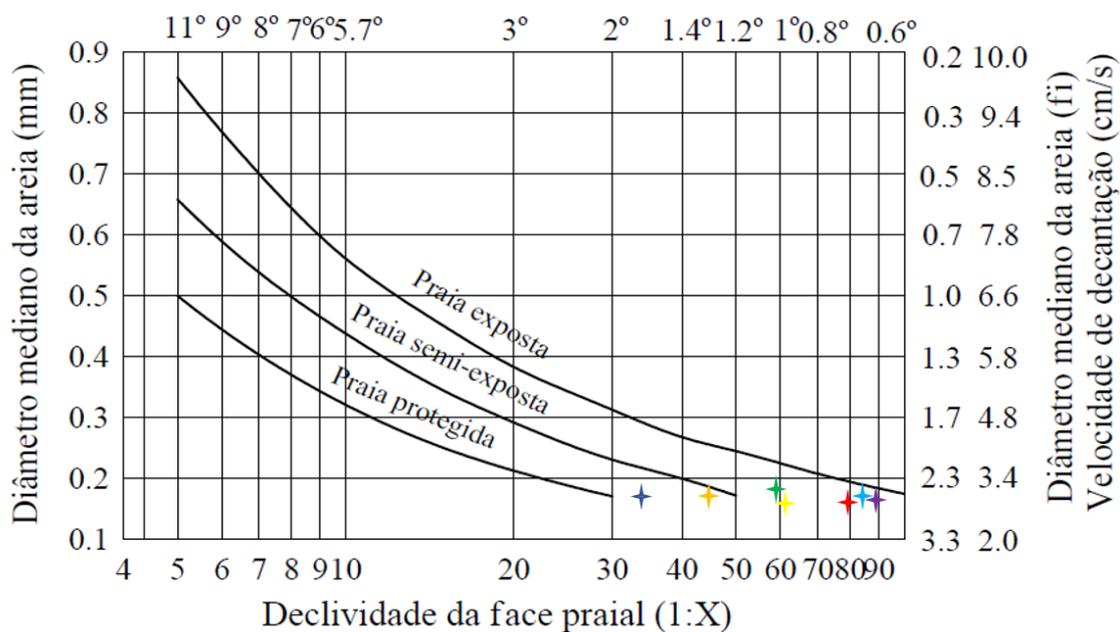


Figura 23 - Grau de exposição às ondas na Praia da Barra Velha.

A Praia Grande também apresentou classificação semi-exposta (Figura 24), com exceção do perfil H (setor noroeste) que foi classificado como área exposta (ponto vermelho-escuro). Esse perfil está situado no local onde foi construído a orla/calçadão da praia, contribuindo para um maior declive e menor diâmetro (fi) dos sedimentos em relação aos demais perfis, pois há afloramentos rochosos.

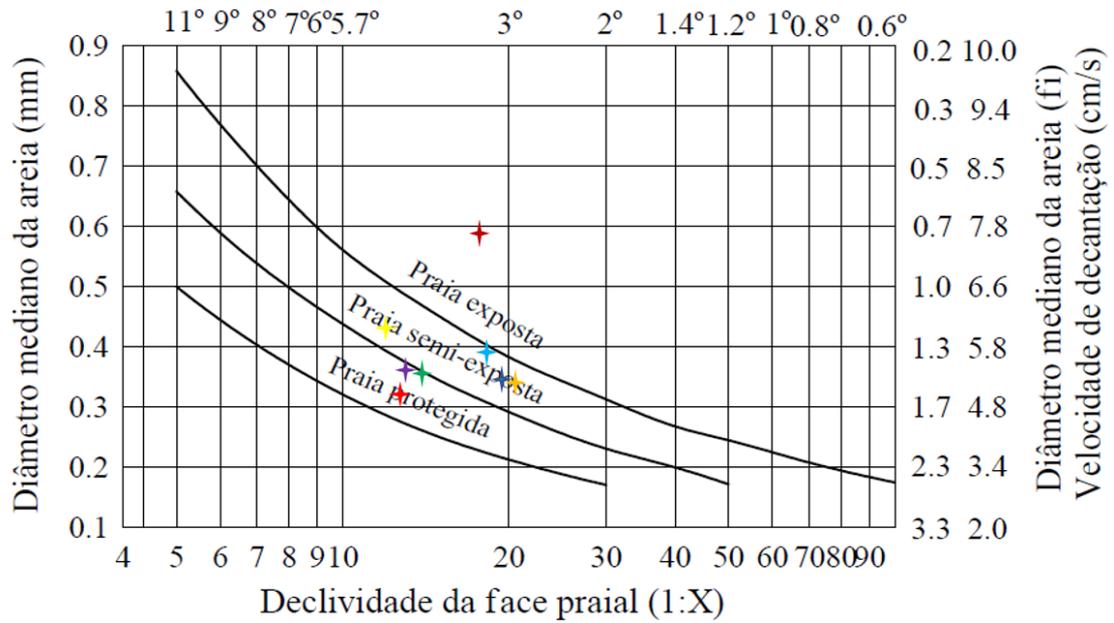


Figura 24 - Grau de exposição às ondas na Praia Grande.

6.5 OCUPAÇÃO HUMANA

6.5.1 Praia da Barra Velha

A praia da Barra Velha teve como resultado baixa ocupação humana próxima da linha de costa, com 7% de área ocupada no setor noroeste e nenhuma ocupação humana no setor sudeste (Figura 25, Tabela 11). Esta praia faz parte da Reserva Extrativista Marinha de Soure (RESEXMAR Soure). Dessa forma, encontra-se apenas alguns bares e restaurantes no início da praia (setor noroeste) (Figura 26).

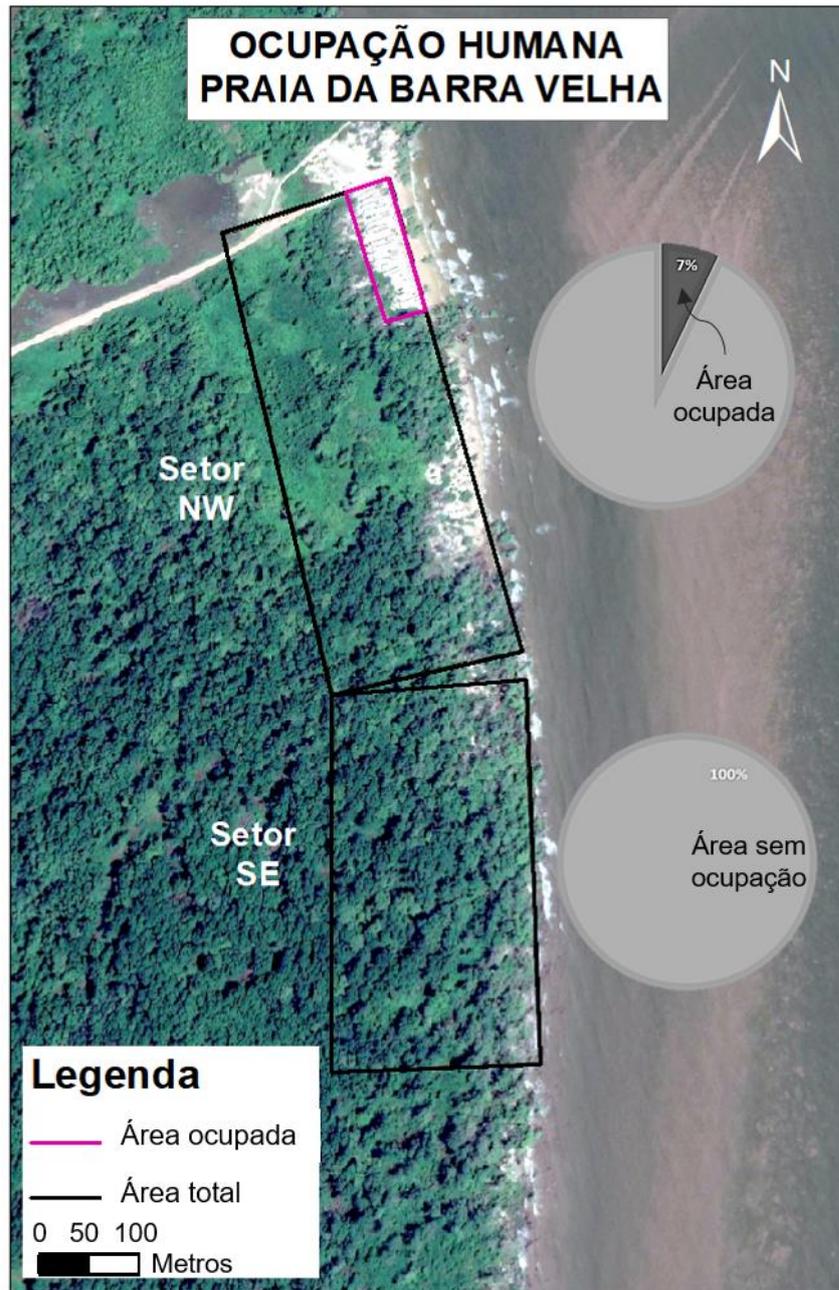


Figura 25 - Mapa da ocupação humana próxima da linha de costa na praia da Barra Velha no setor noroeste e setor sudeste.

Tabela 11 - Percentagem de ocupação humana próxima da linha de costa na praia da Barra Velha.

	NW	SE
Área total (m ²)	112.629	76.472
Área ocupada (m ²)	7.887	0
Percentagem	7 %	0 %



Figura 26 - Áreas ocupadas (A, B, C e D) no setor noroeste e áreas sem ocupação no setor sudeste (E e F) na praia da Barra Velha. Fotografias retiradas em: 02/05/21 (B e D) e 14/09/19 (as demais).

6.5.2 Praia Grande

A praia Grande foi classificada como baixa ocupação humana próxima da linha de costa, no setor noroeste são 15% de área ocupada e no setor sudeste 17% de área ocupada (Figura 27, Tabela 12). O setor noroeste apresenta cerca de 200 m de bares e restaurantes ao longo da linha de costa, além de um muro de contenção na orla da praia (novo muro inaugurado em dezembro de 2020). No setor sudeste a única construção se trata de um empreendimento hoteleiro com recuo de aproximadamente 50 m a partir da linha de costa (Figura 28).

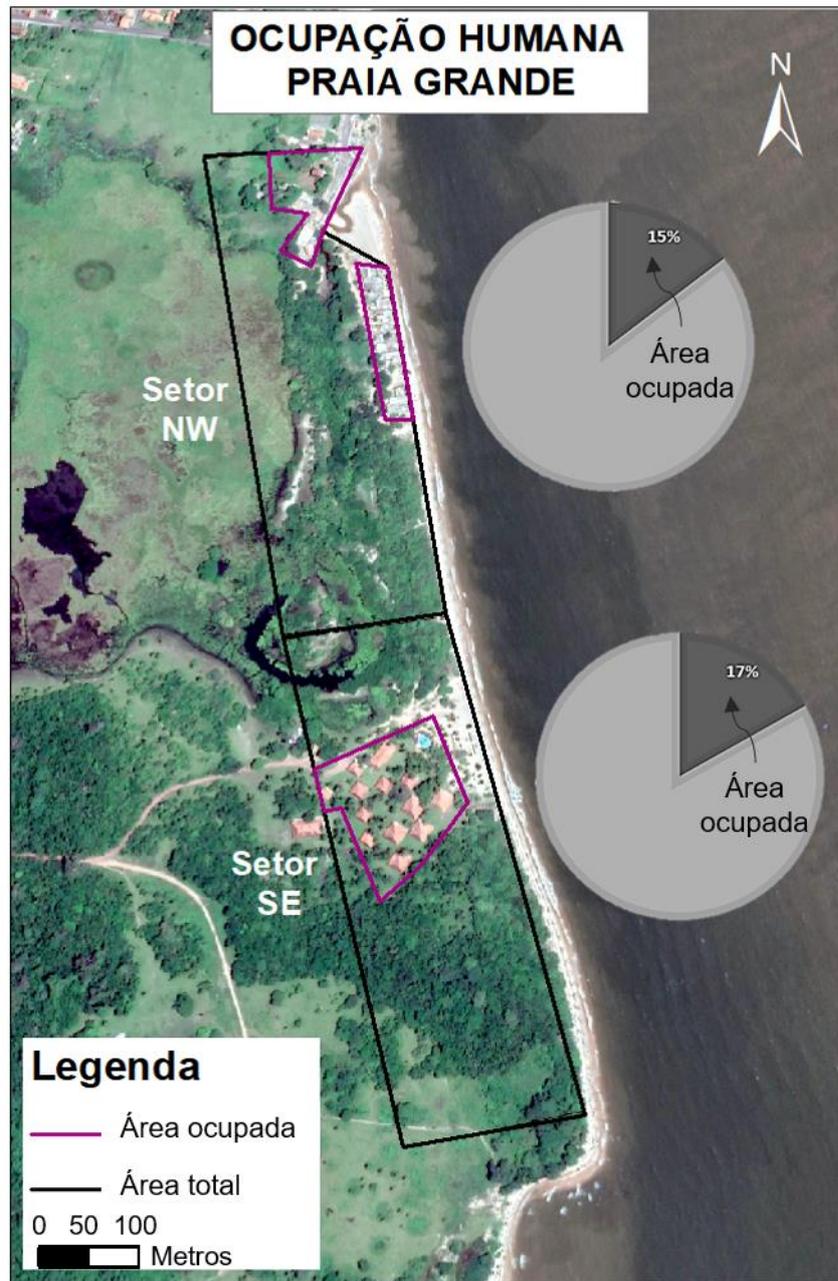


Figura 27 – Mapa da ocupação humana próxima da linha de costa na praia Grande no setor noroeste e setor sudeste.

Tabela 12 - Percentagem de ocupação humana próxima da linha de costa na praia Grande.

	NW	SE
Área total (m ²)	108.761	111.537
Área ocupada (m ²)	15.772	18.724
Percentagem	15 %	17 %



Figura 28 - Áreas ocupadas (A, B, C e D) e áreas sem ocupação (E e F) na praia Grande. Fotografias retiradas em: 02/05/21 (A e B) e 13/09/19 (as demais).

6.6 VULNERABILIDADE À EROÇÃO E RISCO

Para uma melhor descrição e entendimento dos resultados acerca do grau de vulnerabilidade à erosão costeira e do grau de risco, cada praia é apresentada com seus parâmetros devidamente quantificados a partir dos setores como observado abaixo.

6.6.1 Praia da Barra Velha

A praia da Barra Velha apontou dois valores de graus de vulnerabilidade à erosão costeira (Tabela 13, Figura 29). O setor noroeste apresentou um moderado grau de vulnerabilidade, enquanto o setor sudeste exibiu um alto grau de vulnerabilidade. Os dois setores foram classificados com baixo grau de risco (Tabela 14, Figura 30).

Tabela 13 - Classificação da vulnerabilidade à erosão na praia da Barra Velha, a partir da determinação de parâmetros (I a VII), respectivos pesos e nível de vulnerabilidade resultante.

BARRA VELHA									
Setor	Parâmetro/Peso							Grau de Vulnerabilidade	Nível
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
NW	1	1	1	1	2	3	1	10	Moderada
SE	1	1	1	1	2	3	2	11	Alta

Tabela 14 - Classificação do grau de risco na Praia da Barra Velha, a partir da determinação da vulnerabilidade e ocupação humana próximo da linha de costa.

BARRA VELHA					
Setor	Ocupação humana próximo da linha de costa			Vulnerabilidade	GRAU DE RISCO
	Densidade		Nível		
NW	7 %		Baixo	Moderada	Baixo
SE	0 %		Baixo	Alta	Baixo

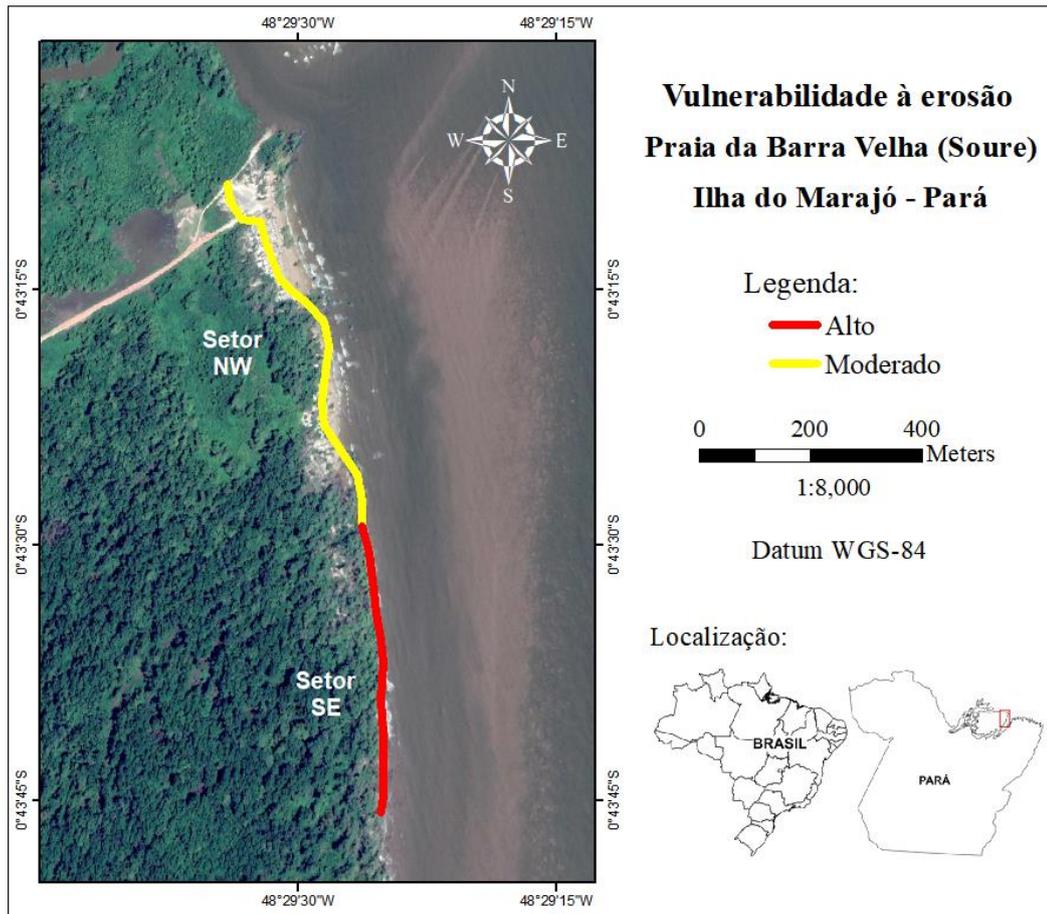


Figura 29 - Mapa de vulnerabilidade à erosão da praia da Barra Velha. Imagem Google Earth (2020).

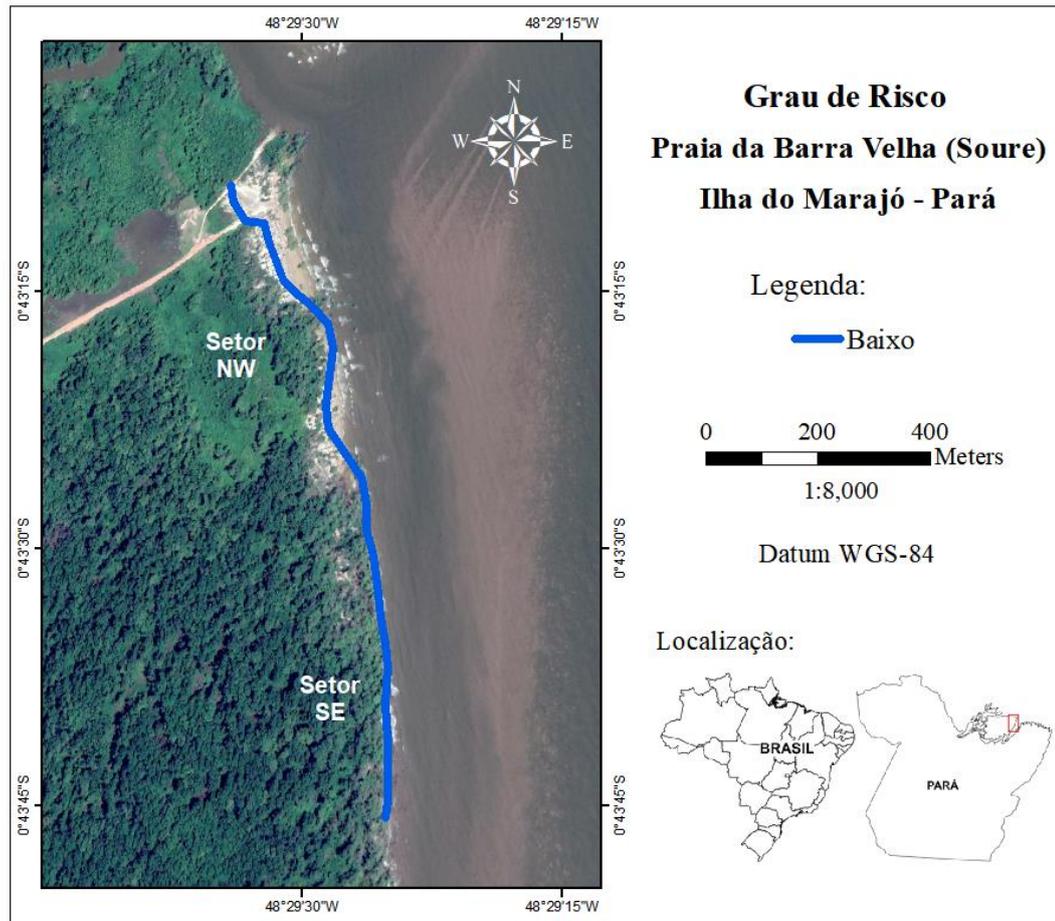


Figura 30 - Mapa do grau de risco da praia da Barra Velha. Imagem Google Earth (2020).

6.6.2 Praia Grande

A praia Grande apresentou grau de vulnerabilidade moderado à erosão nos dois setores estudados (Tabela 15, Figura 31). O setor noroeste e o setor sudeste foram classificados como risco baixo (Tabela 16, Figura 32).

Tabela 15 - Classificação da vulnerabilidade à erosão na Praia Grande, a partir da determinação de parâmetros (I a VII), respectivos pesos e nível de vulnerabilidade resultante.

PRAIA GRANDE									
Setor	Parâmetros/Pesos							Grau de Vulnerabilidade	Nível
	I	II	III	IV	V	VI	VII		
NW	1	1	2	2	2	1	0	9	Moderado
SE	0	1	2	1	2	1	0	7	Moderado

Tabela 16 - Classificação do grau de risco na Praia Grande, a partir da determinação da vulnerabilidade e ocupação humana próximo da linha de costa.

PRAIA GRANDE				
Setor	Ocupação humana próximo da linha de costa		Vulnerabilidade	GRAU DE RISCO
	Densidade	Nível		
NW	15 %	Baixo	Moderada	Baixo
SE	17 %	Baixo	Moderada	Baixo

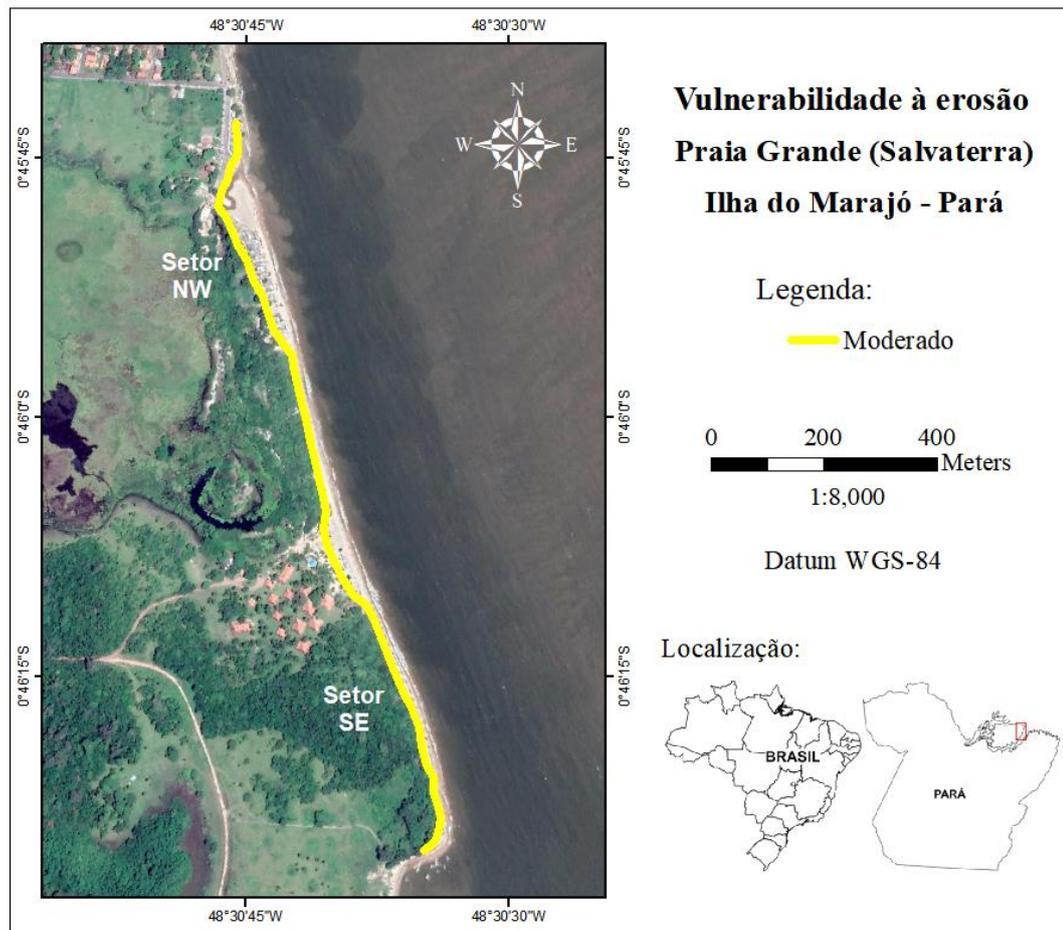


Figura 31 - Mapa de vulnerabilidade à erosão da praia Grande. Imagem Google Earth (2020).

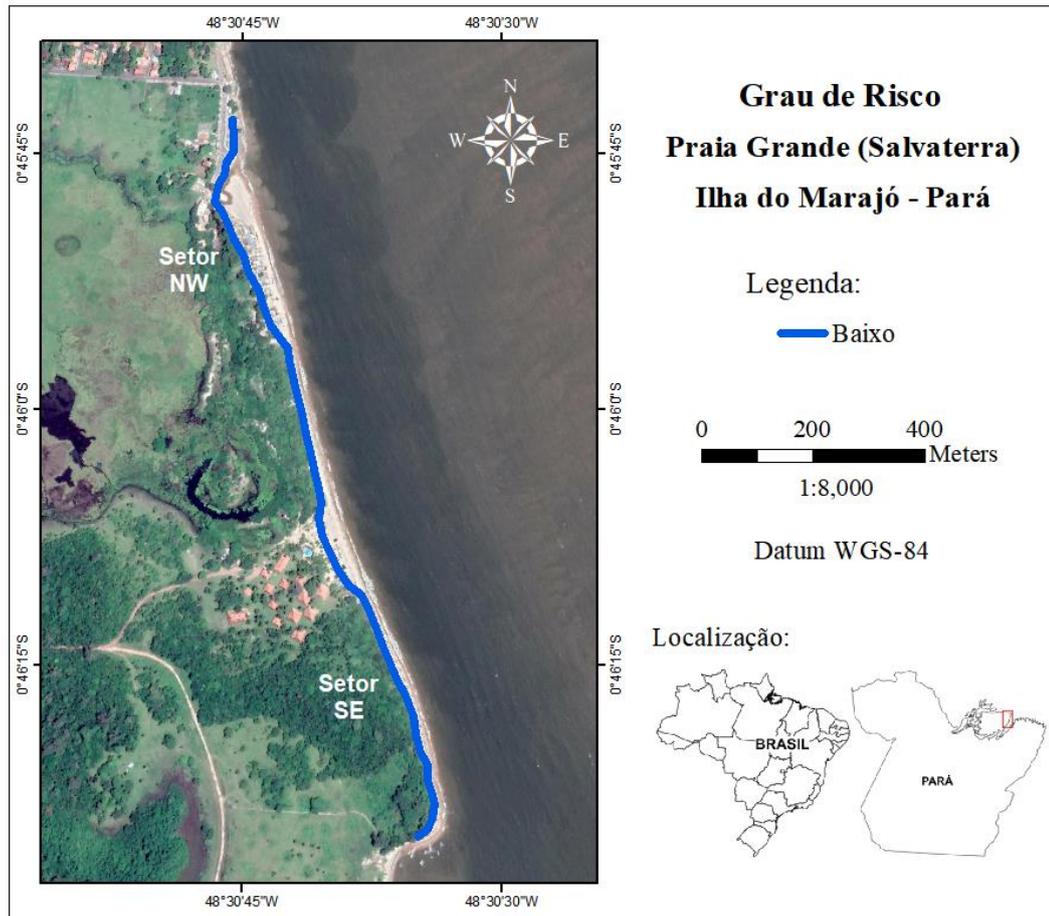


Figura 32 - Mapa do grau de risco da praia Grande. Imagem Google Earth (2020).

7 DISCUSSÃO

7.1 COMPORTAMENTO MORFODINÂMICO SAZONAL

De acordo com os resultados obtidos pôde-se constatar que as praias estudadas são distintas entre si, apresentando diferenças morfosedimentares. França & Pimentel (2012) destacaram que estas diferenças ocorrem em resposta aos processos tectônicos (soerguimento, subsidência e falhamento) e flutuações do nível do mar de caráter regional.

A praia da Barra Velha foi classificada como dissipativa nos dois períodos estudados, de acordo com a análise das características dos estados morfodinâmicos de praia (Tabela 3) descritos por Sazaki (1980), levando-se em consideração especialmente o grau de declividade. Sendo assim, a praia da Barra Velha é caracterizada por ter baixo declive topográfico, composta por areia fina e com presença de bancos e calhas ao longo dela. Ranieri & El-Robrini (2012) e Pereira *et al.* (2014) também encontraram resultados similares em praias do nordeste paraense. Braga (2007) ressalta que em razão do baixo gradiente topográfico, as praias dissipativas possuem maior estabilidade temporal, o que as tornam menos suscetíveis frente aos processos costeiros, diferentemente dos resultados encontrados nesse estudo para uma praia num setor insular estuarino.

Foi observado nos perfis topográficos da Barra Velha baixa estabilidade na sedimentação praial, pois o balanço sedimentar resultante foi elevado, variando de -30 a 48 m³/m ao comparar os dados da estação climática seca e chuvosa. Já na praia Grande a variação sedimentar na alternância da estação seca a chuvosa foi de -48 a 77 m³/m, mostrando também baixa estabilidade, mas como esperado para uma praia de maior declividade (> 3°), mais instável. Os resultados sugerem que ambas as praias estão bastante suscetíveis às modificações ocasionadas pelos processos costeiros de erosão e deposição, ao menos sazonalmente. Isto pode ser conferido pela localização geográfica no estuário inferior do Rio Pará, sendo as praias bastante afetadas pelas variações na descarga fluvial e, conseqüente nível de deposição nas margens estuarinas.

Segundo o modelo descritivo proposto por Sazaki (1980), a praia Grande apresentou comportamento de praias intermediárias a refletivas com declividades moderadas a altas, tanto na estação seca quanto na chuvosa. Sendo a região central da praia com a maior declividade. Cada perfil manteve a mesma classificação nos dois períodos, com exceção do perfil F que mudou do estado intermediário para refletivo da estação seca à chuvosa, e o perfil G, onde ocorreu o inverso.

As maiores variações na largura da praia (ΔY_b) ocorreram no setor NW, destacando-se novamente o perfil G e H. Contudo, a variação na largura da praia Grande não foi tão expressiva no restante dos perfis, como esperado em praias mais íngremes, conforme sugere Calliari *et al.* (2003), e nem se comparado a praia da Barra Velha. Albuquerque *et al.* (2009) entendem que baixos valores de ΔY_b indicam baixa mobilidade da praia, enquanto que altos valores evidenciam alta mobilidade ou uma praia móvel. Logo, está associado com a susceptibilidade de eventos acrecionais ou erosivos.

Os resultados evidenciam que a variação da largura praial em Barra Velha foi maior se comparado a praia Grande, o que também está relacionado com o estado morfodinâmico de cada uma. Além disso, é pertinente ressaltar um fato que vem ocorrendo durante alguns anos, como relatado por França & Souza Filho (2003, 2006), França *et al.* (2012), França *et al.* (2013), Bittencourt (2016), El-Robrini *et al.* (2018) e França *et al.* (2019), e que pode ser o principal fator responsável pelos resultados obtidos. Em toda a extensão da praia da Barra Velha é possível presenciar paleomangue ou mangue tombado na zona de intermarés (Figura 33), em decorrência do processo de retrogradação costeira, onde a faixa arenosa está avançando sobre o manguezal localizado anteriormente a essa praia.

Segundo França (2003), a região da praia da Barra Velha mostrou as maiores áreas de retrogradação de manguezais (668,672 m²), representando 37% do total de manguezais erodidos no período de 1986 a 2001, na costa de Soure. A autora reitera que esse recuo da linha de costa está relacionado com a proximidade da desembocadura do canal de Araruna, o qual é um local considerado de grande dinamismo, devido à atuação das correntes de maré e transporte de sedimentos.



Figura 33 -Tombamento de mangue na Praia da Barra Velha no setor NW (A) e setor SE (B).

Na praia da Barra Velha a maioria dos perfis mostrou tendência erosiva na transição do período seco para o chuvoso, com exceção dos perfis E e F, onde prevaleceu a deposição.

Taaouati (2011), Bittencourt (2016), Ranieri & El-Robrini (2020) e Holanda *et al.* (2020) em estudos nas praias de Charf el Akab (Marrocos), Cajuúna (Ilha do Marajó/PA), praias de Salinópolis/PA e na praia do Paiva/PE, respectivamente, obtiveram resultados semelhantes com a sazonalidade climática. Nesta última, por exemplo, os perfis de erosão mostraram-se mais acentuados no inverno e outono devido ao clima de ondas atuante na praia do Paiva.

A fase erosiva da praia Grande ocorreu durante o período seco (verão amazônico), com exceção dos perfis C e F, refletindo um padrão atípico para a morfodinâmica praial, pois espera-se uma tendência erosiva durante o inverno (maior hidrodinâmica) e uma tendência acrecional no verão (Brunn 1962). França (2003) quando estudou a Praia Grande, e Silva (2015) quando investigou a praia de Fortalezinha também encontraram esses resultados contraditórios.

Do mesmo modo, na praia estuarina de Shoal Bay (Anguilla, Mar do Caribe) analisada por Harris *et al.* (2020), houve erosão durante o verão e acreção sedimentar durante o inverno nas seções central e leste da praia. Os autores sugerem que esse resultado é impulsionado principalmente pela ação mais energética das ondas e correntes. Este padrão diferenciado leva a acreditar que pode ocorrer o mesmo na Praia Grande, que está sujeita a uma maior ação das ondas no período seco, quando os ventos são mais intensos na costa paraense (Silva 2001), gerando ondas locais que agem com maior energia na remoção dos sedimentos da face praial.

7.2 RISCO E VULNERABILIDADE À EROSÃO

A avaliação dos diferentes indicadores apontou para a elevada vulnerabilidade à erosão do setor sudeste da praia da Barra Velha em função principalmente da tendência de recuo da linha de costa observada (recuo de até 150,2 metros nos 16 anos estudados).

O parâmetro com maior impacto na classificação final para os dois setores da praia foi a variação horizontal na linha de costa (VI), indicando alta erosão para ambos (-3,15 m/ano no setor noroeste e -9,58 m/ano no setor sudeste). Este fato mostra que apesar do setor noroeste ter sido classificado com nível de vulnerabilidade moderado, a tendência a médio ou longo prazo é que possa evoluir para vulnerabilidade alta.

Uma consequência dessa variação horizontal na linha de costa está relacionada à retrogradação da praia da Barra Velha. Segundo França *et al.* (2012), o desaparecimento da vegetação de mangue ao longo da costa de Marajó, especialmente em Soure, foi causado principalmente pela erosão e migração de areia em direção ao continente, acima dos sedimentos de lama do mangue (Figura 33). Essa região está exposta à ação das ondas e das marés na Baía de Marajó, o que aparentemente causou o recuo do litoral e, conseqüentemente, a redução da área coberta por vegetação de mangue.

O que ainda confere ao setor noroeste da Barra Velha vulnerabilidade moderada é um maior equilíbrio deposicional durante a sazonalidade climática, diferentemente do setor sudeste, o qual apresenta uma tendência erosiva. Embora a erosão prevalente tenha propiciado um recuo costeiro em mais de uma década (variação horizontal negativa da linha costa), o balanço sedimentar anual (variação vertical na face praial), oriundos das duas estações climáticas amazônicas, tem sido favorável, havendo maior compensação dos sedimentos erodidos durante o período seco, quando se tem um pequeno aumento da deposição sedimentar neste setor da praia da Barra Velha.

Por estar dentro de uma RESEX, a Barra Velha possui algumas limitações na ocupação humana, sendo esta inclusive inexistente no setor sudeste, e baixa no setor noroeste, ocupado apenas por alguns restaurantes e barracas de madeira (Figura 34), obedecendo a instrumento específico de regulamentação da atividade, de acordo com o ICMBio (2018). Como já discutido, o depósito sedimentar no pós-praia encontra-se instável, avançando sobre o manguezal, evidenciando a presença de tombamento de mangue ao longo da praia. No entanto, podemos considerar o manguezal existente como sendo uma proteção natural para a costa.



Figura 34 - Restaurantes e barracas na praia da Barra Velha. Fotografia retirada em 02/05/2021.

Martins *et al.* (2017) ao estudar o setor norte da zona costeira de Pernambuco, definiu 7 km da costa como altamente vulnerável. De forma semelhante a praia da Barra Velha, algumas áreas deste setor tiveram uma baixa densidade populacional, mas alta taxa de recuo costeiro e maior exposição às ondas incidentes.

Entretanto, muitos trabalhos mostram que a vulnerabilidade alta está diretamente relacionada com intervenções antrópicas desde a construção de restaurantes até estruturas rígidas para proteção costeira (Mallmann & Araújo 2010, Sousa *et al.* 2013, Martins *et al.* 2017, Mota & Souza 2018, Shetty *et al.* 2019). O que parece não ocorrer na praia da Barra Velha, onde a erosão costeira é resultante de um processo exclusivamente natural.

Já a praia Grande apresenta indícios de interferência humana nos efeitos erosivos. Esta praia foi classificada com moderada vulnerabilidade nos dois setores estudados. Lisbôa (2011) também encontrou resultados semelhantes (médio grau de vulnerabilidade) para a mesma praia ao avaliar o grau de vulnerabilidade ambiental da orla de Salvaterra, através de sete indicadores relacionados às modificações decorrentes de fatores físicos e naturais, e de fatores sociais ou antrópicos.

Os resultados mostram que a vulnerabilidade moderada na praia Grande foi devido a um conjunto de fatores. No entanto, é possível destacar três parâmetros (III, IV e V) que contribuíram de forma mais efetiva para essa resposta.

A praia não apresenta estruturas de proteção natural, como dunas, promontórios rochosos e manguezais. A ausência de dunas está relacionada tanto à maior granulometria das areias e a dinâmica natural de transporte sedimentar deste setor quanto ao desmatamento total da cobertura vegetal de restinga em decorrência da ocupação sobre essas dunas (Lisbôa 2011).

Possui estruturas artificiais no pós-praia (no setor noroeste), como um muro de contenção à erosão na orla da praia (Figura 35), o que pode diminuir o estoque disponível para as trocas naturais entre praia emersa e submersa, apesar do saldo de balanço sedimentar positivo na transição da estação seca para a chuvosa (parâmetro VII). Além disso, a praia Grande apresentou classificação semi-exposta em relação ao grau de exposição às ondas.

Em um estudo recente, Andrade *et al.* (2019) classificaram algumas praias do litoral de São Paulo como vulnerabilidade moderada. Entre todos os indicadores analisados, o ângulo de incidência das ondas e a elevação do terreno foram destacados. De acordo com esses autores, dados de ondas é um indicador importante, pois define o nível de exposição da praia e sua resposta à ação das ondas. E, mesmo que a costa paraense seja dominada por marés, a ação das ondas não deve ser desconsiderada.

A praia Grande foi considerada estável (-0,03 m/ano) de acordo com a variação horizontal da linha de costa. No entanto, quando se compara os dois setores da praia, percebe-se uma leve tendência à erosão no setor noroeste com uma taxa de variação de -0,35 m/ano, enquanto o setor sudeste apresenta uma taxa de 0,33 m/ano. Este fato pode estar relacionado com as intervenções antrópicas nesse primeiro setor como as construções de pousadas, restaurantes e o muro de arrimo. Observou-se que a área adjacente à praia possui tendência erosiva (-0,54 m/ano) e mostra sinais dessa erosão ao longo dos anos, como na figura 36 que mostra parte de uma rua que dava acesso à praia, localizada sobre a falésia, atualmente erodida.



Figura 35 - Muro de contenção/orla na praia Grande. Fotografia retirada em 02/05/2021.



Figura 36 - Rua erodida que dava acesso à praia Grande. Fotografia retirada em: 11/02/2020.

O risco está diretamente relacionado a existência de ocupação humana próxima da área que está sendo estudada (Lins-de-Barros 2010). Áreas em que esta é inexistente ou baixa, o risco também será, mesmo que os parâmetros naturais e/ou antrópicos indiquem alta vulnerabilidade à erosão (Mota & Souza 2018). Dessa forma, as duas praias estudadas foram classificadas como baixo risco devido à baixa ocupação humana (< 30 % de área ocupada) ou até mesmo inexistente, como no setor sudeste da praia da Barra Velha. O fato da praia da Barra Velha estar inserida em uma RESEX contribui ainda mais para a baixa ocupação humana e, conseqüentemente para um menor risco.

Contudo, para o caso da praia Grande, quanto maior a escala de análise para o setor noroeste, o mais ocupado/povoado, maior pode ser o grau de risco costeiro obtido.

8 CONCLUSÃO

A análise de vulnerabilidade à erosão realizada no presente estudo foi desenvolvida a partir da análise das intervenções humanas e das características naturais das praias. A praia Grande recebeu um moderado grau de vulnerabilidade à erosão nos dois setores (noroeste e sudeste). Esta praia foi considerada mais estável, com uma leve tendência à erosão no setor noroeste, relacionado, em parte, com as intervenções antrópicas na área. Embora tenha havido alguma contribuição da ação antrópica, como a construção de estruturas artificiais na linha de costa em substituição ao ambiente natural, não se obteve o alto grau de vulnerabilidade e risco à erosão costeira nesta praia em função da ação antrópica, como foi sugerido na primeira hipótese desta pesquisa. Tanto na Praia Grande como na Barra Velha, o risco costeiro foi baixo, devido ao baixo nível de ocupação próximo à linha de costa.

Para o setor noroeste e sudeste da Barra Velha observou-se um moderado e alto grau de vulnerabilidade à erosão, respectivamente. Em razão, principalmente, da alta taxa de erosão ao longo dos 16 anos estudados, causando o recuo do manguezal devido ao avanço da faixa de areia sobre esse ecossistema. Isto também confirmou a hipótese 2 desta pesquisa, que enfatiza a maior dinâmica sedimentar nesta praia e, que em virtude do baixo gradiente topográfico dela, as variações de médio período na linha de costa seriam maiores, implicando na vulnerabilidade erosiva moderada a alta mais prolongada. Já na Praia Grande, as variações sedimentares são mais modificáveis sazonalmente, devido seu alto gradiente topográfico, implicando numa vulnerabilidade erosiva mais equilibrada, conforme supôs-se na hipótese 3 desta pesquisa.

A metodologia aplicada no presente estudo pode ser adequada para outras áreas modificando ou acrescentando outras variáveis de acordo com as suas características. Como sugestão, poderiam ser adicionados parâmetros referentes às marés e ondas, o que tornaria a metodologia mais exata à realidade das praias. Nesse sentido, salienta-se que a insuficiência de dados físicos e meteorológicos neste estudo foi um fator limitante na caracterização do regime hidrodinâmico atuante nessas praias, resultando em algumas lacunas na explicação de particularidades da área de estudo.

Conclui-se que esta pesquisa é importante para o monitoramento das mudanças morfológicas da margem leste da Ilha do Marajó e para possíveis ações de gerenciamento costeiro na área. Assim, espera-se ter contribuído para um melhor entendimento sobre as alterações morfossedimentares de curto e médio período, e a vulnerabilidade costeira à erosão nas praias. Da mesma forma que ter agregado maiores informações sobre a dinâmica costeira local, informações estas que são importantes na tomada de decisões de gestão ambiental que visam a redução de impactos decorrentes da ação natural e/ou antrópica sobre a zona costeira.

REFERÊNCIAS

- Albuquerque M.G., Calliari L.J., Corrêa I.C.S., Pinheiro L.S. 2009. Morfodinâmica da Praia do Futuro, Fortaleza-CE: uma síntese de dois anos de estudo. *Quaternary and Environmental Geosciences*, **01**(2): 49-57.
- Andrade M.M.N. & Szlafsztein C.F. 2018. Vulnerability assessment including tangible and intangible components in the index composition: an Amazon case study of flooding and flash flooding. *Science of the Total Environment*, **630**: 903-912.
- Andrade T.S., Sousa P.H.G.O., Siegle E. 2019. Vulnerability to beach erosion based on a coastal processes approach. *Applied Geography*, **102**: 12-19.
- Baía L.B., Ranieri L.A., Rosário R.P. 2021. Análise multitemporal da variação da linha de costa em praias estuarinas de macromaré na Amazônia Oriental. *Geociências*, **40**(1): 231 – 244.
- Baltazar L.R.S., Menezes M.O.B., Rollnic M. 2011. Contributions to the Understanding of Physical Oceanographic Processes of the Marajó Bay - PA, North Brazil. *Journal of Coastal Research*, **64** (Special Issue): 1443-1447.
- Birkemeier W.A. 1985. A User's guide to ISRP: The interactive survey reduction program. Instructions Report CERC 84-11. In: U.S. Army Engineer Waterways Experiment Stations. *Coastal engineering research center*, Vicksburg, Mississippi, 101p.
- Bittencourt L.A. 2016. *Morfodinâmica da praia estuarina do Cajuúna, Soure, Marajó – Pará*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, 120p.
- Braga F.P.S. 2007. *Morfologia e sedimentologia da praia de macromaré de Ajuruteua, Pará*: Um estudo para definição de índices de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém, 116p.
- Braga R.C., Pimentel M.A.S., Coelho C., Szlafsztein C.F., Rollnic M. 2019. Vulnerability to the energy action of the sea: Case study in the Municipality of Salinópolis, Amazon Coastal Zone, Brazil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, **19**(4): 245-264.
- Brasil. 2004. *Decreto nº 5.300 de 7 de dezembro de 2004*. Regulamenta a Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. Publicado no D.O.U. de 8.12.2004, Brasília, DF, Brasil.
- Bruun P. 1962. Sea level, rise as a cause of shore erosion. *Journal Waterways and Harbor Division*, **88**(1):117-130.
- Bush D.M., Neal W.J., Young R.S., Pilkey O.H. 1999. Utilization of geoindicators for rapid assessment of coastal-hazard risk and mitigation. *Ocean e Coastal Management*, **42**(8):647-670.
- Calliari L.J., Muehe D., Hoefel F.G., Toldo Jr. E. 2003. Morfodinâmica praias: uma breve revisão. *Rev. Bras. Oceanogr.* **51**(único): 63-78.

- Coelho C.D.B. 2006. *Riscos de exposição de frentes urbanas para diferentes intervenções de defesa costeira*. PhD Thesis, Universidade de Aveiro, Portugal. 404 p.
- Cooper H.M., Chen Q., Fletcher C.H., Barbee M.M. 2013. Assessing vulnerability due to sea-level rise in Maui, Hawaii using LiDAR remote sensing and GIS. *Climate Change*, **116** (3): 547-563.
- Cooper J. A. & McLaughlin S. 1998. Contemporary multidisciplinary approaches to coastal classification and environmental risk analysis. *Journal of Coastal Research*, **14**(2): 512–524.
- Costa K. G., Azevedo S.S., Pereira L.C.C., Costa R.M. 2018. Variabilidade temporal do zooplâncton no sistema estuarino do rio Paracauari (Ilha do Marajó, Pará). *Tropical Oceanography*, **46**: 53-69.
- Dal Cin R. & Simeoni U. 1994. A model for determining the classifications vulnerability and risk in the Southern coastal zone of the Marche (Italy). *Journal of Coastal Research*, **10**: 18-29.
- Davis Jr. R.A. & Hayes M.O. 1984. What is a wave-dominated coast? *Developments in Sedimentology*, **39**: 313-329.
- Dominguez L., Anfuso G., Gracia F. J. 2005. Vulnerability assessment of a retreating coast in SW Spain. *Environmental Geology*, **47**(8): 1037–1044.
- El-Robrini M., Ranieri L. A., Silva P. V. M., Alves M. A. M. S., Guerreiro J. S., Oliveira R. R. S., Silva M. S. F., Amora P. B. C., El-Robrini M. H. S., Fenzl N., 2018. Pará, In: Muehe, D. (ed.). *Panorama da erosão costeira no Brasil*. Brasília, DF, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 65-166.
- Ferreira G.P. 2013. *Caracterização hidrodinâmica e do transporte de sedimentos na região fluvio-estuarina do rio Paracauari – Ilha de Marajó – Pará*. MS Dissertation, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 102p.
- Forbes D.L. & Liverman D.G.E. 1996. Geological indicators in the coastal zone. In: Berger A.R. & Iams W.J. (ed.). *Geoindicators: assessing rapid environmental changes in Earth systems*. Rotterdam, A.A. Balkema, p. 175–192.
- França C.F. 2003. *Morfologia e mudanças costeiras da margem Leste da ilha de Marajó*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 144p.
- França C.F. & Pimentel M.A.S. 2012. Diversidade paisagística das margens oeste e leste da baía de Marajó, Pará, norte do Brasil. *Revista Geonorte*, Edição Especial, **3**(4): 900-910.
- França M.C., Francisquini M.I., Cohen M.C.L., Pessenda L.C.R. Rosseti D.F., Guimarães J.T.F., Smith C.B. 2012. The last mangroves of Marajó Island — Eastern Amazon: Impact of climate and/or relative sea-level changes. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **187**: 50-65.
- França M.C., Francisquini M.I., Cohen M.C.L., Pessenda L.C.R. 2013. Inter-proxy evidence for the development of the Amazonian mangroves during the Holocene. *Vegetation History and Archaeobotany*, **23**(5): 527-542.

- França M.C., Cohen M.C.L., Pessenda L.C.R., Francisquini M.I., Jesus Ribeiro C.M., Oliveira T.R. 2019. Tannin as a New Indicator of Paleomangrove Occurrence within an Amazonian Coastal Region. *Journal of Coastal Research*, **5**(1): 82-90.
- França C.F. & Souza Filho P.W.M. 2003. Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da Ilha de Marajó (PA) em imagem Landsat. *Revista Brasileira de Geociências*, **33**(2-Suplemento):127-136.
- França C.F. & Souza Filho P.W.M. 2006. Compartimentação morfológica da margem leste da ilha de Marajó: zona costeira dos municípios de Soure e Salvaterra – Estado do Pará. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, **7**(1): 33-42.
- França C.F., Souza Filho P.W.M., El-Robrini M. 2007. Análise Faciológica e Estratigráfica da Planície Costeira de Soure (Margem Leste da Ilha de Marajó-PA), no Trecho Compreendido entre o Canal do Cajuúna e o Estuário Paracauari. *Acta Amazonica*, **37**(2): 261-268.
- Folk R.L. & Ward W.C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, **27**(1): 3-26.
- Fontoura J.A.S. 2004. *Quantificação do transporte longitudinal de sedimentos não coesivos na zona de surfe da costa do Rio Grande do Sul (aplicação à praia do Cassino e adjacências dos molhes leste e oeste)*. PhD Thesis. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 298p.
- Google Earth. 2020. *Ilha do Marajó, PA*. Google Earth Pro. Disponível em: <https://earth.google.com/web/>. Acesso em: 17 mar. 2021.
- Harris D. L., Vila-Concejo A., Austin T., Benavente J. 2020. Multi-scale morphodynamics of an estuarine beach adjacent to a flood-tide delta: Assessing decadal scale erosion. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **241**: 1-12.
- Himmelstoss E.A. 2009. DSAS 4.0 Installation instructions and user guide. In: Thieler E.R., Himmelstoss E.A., Zichichi J.L., Ergul A. 2009. *Digital shoreline analysis system (DSAS) version 4.0 — an ArcGIS extension for calculating shoreline change*: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278. *updated for version 4.3.
- Holanda T.F., Gonçalves R.M., Lino A.P, Pereira P.S., Sousa P.H.G.O. 2020. Classificação das variações morfodinâmicas e processos costeiros, praia do Paiva, PE, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, **21**(2): 235-251.
- ICMBio. 2018. *Plano de manejo da Reserva Extrativista Marinha de Soure*. Brasília, DF, 57 p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 1980-1982. *Monografias Municipais*: Salvaterra. Belém.
- Jana A. & Bhattacharya A.K. 2013. Assessment of coastal erosion vulnerability around Midnapur-Balasore coast, eastern India using Integrated Remote Sensing and GIS techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, **41**(3): 675–686.

Lins-de-Barros F.M. 2005. *Risco e vulnerabilidade à erosão costeira no município de Maricá, Rio de Janeiro*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 162 p.

Lins-de-Barros F.M. 2010. *Contribuição metodológica para análise local da vulnerabilidade costeira e riscos associados: estudo de caso da Região dos Lagos, Rio de Janeiro*. PhD Thesis. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 289 p.

Lins-de-Barros F.M. & Milanés C. B. 2020. Os limites espaciais da zona costeira para fins de gestão a partir de uma perspectiva integrada. In: Souto R.D. (org.). *Gestão ambiental e sustentabilidade em áreas costeiras e marinhas: conceitos e práticas*. Vol. 1. Rio de Janeiro: Instituto Virtual para o Desenvolvimento Sustentável - IVIDES.org. p. 22-50.

Lisbôa T.F.P. 2011. Vulnerabilidade ambiental da orla costeira do município de Salvaterra, Ilha de Marajó-PA, no trecho compreendido entre a foz do Rio Paracauari e a Ponta do Tapariuaçu. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **4**(1): 74-89.

Maia L.P. 2005. Projeto Nordeste – *Definição e quantificação dos processos costeiros no litoral do estado do Ceará*: implicações para a gestão adequada da zona litorânea.

Mallmann D.L.B. & Araújo T.C.M. 2010. Vulnerabilidade do litoral Sul de Pernambuco à erosão. *Tropical Oceanography*, **38**(2): 129–151.

Marcomini S.C. & López R.A. 2007. Método de Evaluación de Vulnerabilidad de Playa. Caso tipo: Las Toninas. In: 3º Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio y 1º Reunión de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio del Area del Mercosur, Mar del Plata. *Actas*[...] 6.

Martins K.A., Pereira P.S., Casarín R.S. Neto A.V.N. 2017. The influence of climate change on coastal erosion vulnerability in northeast Brazil. *Coastal Engineering Journal*, **59**(2): 1-25.

Martins S.E.M. 2010. *Geomorfologia e Sedimentologia dos Depósitos Sedimentares Recentes da Porção Superior do Estuário do Rio Pará (Baía de Marajó, Amazônia)*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 122p.

Marzouk M., Attia K., Azab S. 2021. Assessment of coastal vulnerability to climate change impacts using GIS and remote sensing: a case study of Al-Alamein New City. *Journal of Cleaner Production*, **290**(2): 125723.

McLaughlin S. & Cooper J.A.G. 2010. A multi-scale coastal vulnerability index: A tool for coastal managers? *Environmental Hazards*, **9**(3): 233-248.

Menezes M.O.B., Freitas P.P., Baltazar L.R.S., Rollnic M., Pinheiro L. 2013. Estuarines processes in macro-tides of Amazon estuaries: A study of hydrodynamics and hydrometeorology in the Marajó Bay (Pará – Brazil). *Journal of Coastal Research, Special Issue*, 65:1176 – 1181.

- Miranda M.C.C. 2010. *Sedimentologia, isótopos estáveis e palinologia de depósitos quaternários no leste da Ilha do Marajó, Estado do Pará*. PhD Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, 233 p.
- Monteiro S.M., El-Robrini M., Alves I.C.C. 2015. Dinâmica sazonal de nutrientes em estuário amazônico. *Mercator*, **14**(1): 151-162.
- Monteiro S.M. & El-Robrini M. 2016. Salinity variation in the macrotidal mixing zone: the Paracauari River estuary, Marajó Island (Northern Brazil). *Journal of Coastal Research*, **75**: 93-97.
- Moraes A.C.R. 1999. *Contribuições para a gestão da zona costeira do Brasil: elementos para uma geografia do litoral brasileiro*. São Paulo: Hucitec / Edusp, 229 p.
- Mota L.S.O. & Souza R.M. 2018. Vulnerabilidade à erosão costeira e riscos associados à ocupação: estudo de caso do município de Aracaju/Sergipe, Brasil. *Territorium*, **1**(25): 89-102.
- Muehe D. 2001. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, **2**(1): 35-43.
- Nascimento D.M.C. & Dominguez J.M.L. 2009. Avaliação da vulnerabilidade ambiental como instrumento de gestão costeira nos municípios de Belmonte e Canavieiras, Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, **39**(3): 395-408.
- Oliveira A.A. & Borges J.T. 2018. Análise da vulnerabilidade populacional aos riscos tecnológicos ambientais na área urbana da cidade de Manaus-AM. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, **49**: 283-304.
- Pereira L.C.C., Pinto K.S.T., Vila-Concejo A. 2014. Morphodynamic variations of a macrotidal beach (Atalaia) on the Brazilian Amazon Coast. *Journal of Coastal Research, Special Issue*, **70**: 681-686.
- Ranieri L.A. 2014. *Morfodinâmica costeira e o uso da orla oceânica de Salinópolis (Nordeste do Pará, Brasil)*. PhD Tesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 195 p.
- Ranieri L.A. & El-Robrini M. 2012. Comportamento morfodinâmico sazonal da Praia da Romana, Ilha dos Guarás (NE do Pará), como indicativo do transporte litorâneo da área. *Pesquisas em Geociências*, **39**(3): 231-246.
- Ranieri L.A. & El-Robrini M. 2020. Morfologia e sedimentação em praias oceânicas da Amazônia Oriental durante a variação anual de chuvas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **13**(5): 2086-2102.
- Rodrigues P.W.S. & Souza Filho P.W.M. 2011. Análise da variação da linha de costa a noroeste do Estado do Pará (Baía de Curuçá) através das imagens Landsat TM e 109 ETM+ e CBERS 2B. In: INPE, 15º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, *Anais[...]*, p.5061.
- Rosário R.P. 2016. *Análise de processos oceanográficos no estuário do rio Pará*. PhD Tesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 139 p.

Santos D.C., Nascimento Junior W.R., Souza Filho P.W.M. 2011. Mapeamento de ambientes da planície costeira de Soure (Ilha de Marajó), a partir de imagens Ikonos: uma abordagem de classificação orientada a objeto. *In: ABEQUA, 13º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário; 3º Encontro do Quaternário Sulamericano; 13º Congress The South American Quaternary: Challenges and perspectives*, p. 1 – 5.

Sazaki T.O. 1980. *Proceedings of Coastal '80*. ASCE 3197- 3209p.

Shetty A., Jayappa K.S., Ramakrishnan R., Rajawat A.S. 2019. Shoreline dynamics and vulnerability assessment along the Karnataka Coast, India: A geo-statistical approach. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, **47**(7): 1223-1234.

Silva M.G.L. 2001. *Avaliação multitemporal da dinâmica costeira da Praia do Pescador, Bragança (norte do Brasil)*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 113p.

Silva L.M., Gonçalves R.M., Lira M.M., Pereira P.S. 2013. Modelagem Fuzzy aplicada na detecção da vulnerabilidade à erosão costeira. *Boletim de Ciências Geodésicas*, **19**(4): 746-764.

Silva P.V.M. 2015. *Estudo da morfodinâmica sazonal e quantificação de transporte sedimentar costeiro nas praias de Fortalezinha e Princesa, Algodual/Maiandeuá (nordeste do estado do Pará)*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 89p.

Sousa P.H.G.O., Siegle E., Tessler M.G. 2013. Vulnerability assessment of Massaguaçu Beach (SE Brazil). *Ocean & Coastal Management*, **77**: 24-30.

Souza R.R. 2006. *Modelagem numérica da circulação de correntes de maré na Baía de Marajó e Rio Pará (PA)*. MS Dissertation, Universidade de São Paulo, 159p.

Srinivasa Kumar T., Mahendra R. S., Nayak S., Radhakrishnan K., Sahu K. C. 2010. Coastal vulnerability assessment for Orissa State, east coast of India. *Journal of Coastal Research*, **26**(3): 523–534.

Suguio K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, Edgard Blucher. 317p.

Szlafsztein C.F. 2009. Indefinições e obstáculos no Gerenciamento da Zona Costeira do Estado do Pará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, **9**(2):47-58.

Taaouati M., Nachite D., Benavente J., El M'rini A. 2011. Seasonal changes and morphodynamic behavior of a high-energy mesotidal beach: Case study of Charf el Akab beach on the North Atlantic coast of Morocco. *Environmental Earth Sciences*, **64** (5):1225-1236.

Thieler E.R., Martin D., Ergul A. 2003. The digital shoreline analysis system, version 2.0: shoreline change measurement software extension for ArcView. *USGS Open-File Report 3*: 076.

Thieler E.R., Himmelstoss E.A., Zichichi J.L., Miller T.L. 2005. Digital shoreline analysis system (DSAS) version 3.0: an ArcGIS extension for calculating shoreline change. *USGS Open-File Report*, 1304.

Thieler E.R., Himmelstoss E.A., Zichichi J.L., Ergul A. 2017. Digital shoreline analysis system (DSAS) version 4.0: an ArcGIS extension for calculating shoreline change (ver. 4.4, July 2017). *USGS Open-File Report*, 2008-1278.

United States Geological Survey. 2020. *Earth Explorer*. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 26 jan. 2020.

Wentworth C.K. 1922. A scale of grade and class terms for terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*. **30**(5): 377-392.

Zacardi D.M., Bittencourt S.C.S., Nakayama L. 2016. O ictioplâncton e sua relação com a variação diária e os ciclos de marés no estuário amazônico. *Biota Amazônia*, **6**(1): 32-40.

Zhu Z. 2017. Change detection using landsat time series: A review of frequencies, preprocessing, algorithms, and applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry Remote Sensing*, **130**: 370–384.