



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES
NATURAIS NA AMAZÔNIA**

PAULA MARIA DE MELO MENEZES

**IDENTIFICAÇÃO DO RISCO DE SUSCETIBILIDADE EROSIVA NA ZONA
COSTEIRA DA ILHA DE CARATATEUA, AMAZÔNIA ORIENTAL**

**BELÉM-PARÁ
2025**

PAULA MARIA DE MELO MENEZES

IDENTIFICAÇÃO DO RISCO DE SUSCETIBILIDADE EROSIVA NA ZONA COSTEIRA
DA ILHA DE CARATATEUA, AMAZÔNIA ORIENTAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Área de concentração: Mitigação de desastres naturais na Amazônia.

Linha de pesquisa: Vulnerabilidade de populações em áreas de risco.

Orientador: Dr. Hernani José Brazão Rodrigues

Belém-Pará

2025

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)

- M541i Menezes, Paula Maria de Melo.
Identificação do risco de suscetibilidade erosiva na zona costeira da ilha
de Caratateua, Amazônia Oriental / Paula Maria de Melo Menezes. — 2025.
51 f. + 1 Produto Técnico da Pesquisa (4f.: il. color).
Orientador(a): Prof. Dr. Hernani José Brazão Rodrigues
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de
Geociências, Programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastre na
Amazônia, Belém, 2025.
Produto Técnico da Pesquisa: “Índice de suscetibilidade erosiva na
Ilha de Caratateua - Belém/PA”
1. Erosão. 2. Perturbação Ambiental. 3. Sistema de Informação Geográfica -
SIG. 4. Zona costeira. I. Título. II. Título. “Índice de suscetibilidade erosiva na
Ilha de Caratateua - Belém/PA”

CDD 551.352098115

PAULA MARIA DE MELO MENEZES

IDENTIFICAÇÃO DO RISCO DE SUSCETIBILIDADE EROSIVA NA ZONA COSTEIRA
DA ILHA DE CARATATEUA, AMAZÔNIA ORIENTAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Área de concentração: Mitigação de desastres naturais na Amazônia.

Linha de pesquisa: Vulnerabilidade de populações em áreas de risco.

Data da aprovação: 12/02/2025

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente



HERNANI JOSE BRAZAO RODRIGUES

Data: 06/06/2025 10:02:37-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Hernani José Brazão Rodrigues – Orientador

Doutor em Meteorologia Aplicada

Universidade Federal do Pará

Documento assinado digitalmente



RAFAEL DA SILVA PALACIOS

Data: 30/05/2025 13:25:33-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Rafael da Silva Palácios – Examinador interno

Doutor em Física Ambiental

Universidade Federal do Pará

Documento assinado digitalmente



JOAO DE ATHAYDES SILVA JUNIOR

Data: 26/05/2025 09:48:00-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. João de Athaydes Silva Júnior – Examinador interno

Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido

Universidade Federal do Pará

Prof. José Danilo da Costa Souza Filho – Examinador interno

Doutor em Ciências Ambientais

Universidade Federal do Pará

À minha mãe (*in memoriam*) que sempre se fez presente em todas as fases da minha vida, tanto em presença quanto em seu legado deixado na minha capacidade de desenvolver, e persistir, tudo que almejo. A ela, que onde estiver sentirá orgulho do que eu me propor a construir.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e Nossa Senhora pelas graças aqui alcançadas. Por sua misericórdia neste percurso de desafios e responsabilidades com a pesquisa e sociedade;

Aos meus pais e minha irmã por seu amor incondicional, carinho e apoio. Por existirem e tornarem tudo grandioso e fundamental na minha vida;

Ao meu avô, Manoel Menezes, por seu amor, carinho e apoio durante todo o meu desenvolvimento humano;

Às minhas amigas Maria Luiza e Íris Moraes por me apoiarem com amor e responsabilidade;

Ao meu orientador Hernani Brazão por seus conhecimentos, parceria e condução sempre da melhor forma para que tudo desse certo;

Ao corpo administrativo e docente do programa de Mestrado em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia – PPGRD;

A Universidade Federal do Pará – UFPA.

O universo é uma harmonia de contrários (Pitágoras).

RESUMO

A forma de organização da população tem modificado parte significativa das vertentes ambientais, como as zonas costeiras. A ilha de Caratateua, distrito pertencente ao município de Belém, representa uma destas com riscos a erosão, uma vez que esta lida com a falta de gestão ambiental, e urbanística, em parte considerável da ilha, resultando em uma maior pressão sobre o solo e provocando impactos ambientais de magnitude significativa a longo prazo. Conservar a dinâmica da linha da costa é fundamental para garantir o balanço sedimentar positivo, assegurando a qualidade socioambiental. Processos desordenados de uso e ocupação do solo aceleram regimes degradativos, os quais refletem nos recursos hídricos, pedológicos e florestais. Em virtude disto, identificar e mapear ambientes propícios a erosão é fundamental para o gerenciamento costeiro. O SIG – Sistema de Informação Geográfica utilizado nesta pesquisa representa uma ferramenta eficaz de suporte e análise para áreas vulneráveis em grandezas espaciais diferentes. Esta pesquisa apresenta uma análise com o mapeamento das áreas vulneráveis a erosão a partir da Análise Hierárquica de Processo – AHP. Ainda, dimensiona o impacto de condicionantes distintas que influenciam nesta problemática, bem como sua importância na elaboração de um mapeamento de alta acuracidade para regiões com potencial erosivo. Para esta pesquisa foram consideradas três condicionantes chave no fator vulnerabilidade: mudança de uso e cobertura da terra, pedologia e declividade. Verificou-se pontos de suscetibilidade erosiva com magnitude média e diversos pontos de alta por toda a zona costeira. Quanto a declividade, a presença de um terreno com maior parte suavemente ondulada e com pontos ondulados; já para a pedologia, manchas consideráveis de Espodossolo Ferrihumilúvico, Gleissolo Háplico Distrófico e ínfimas manchas de Latossolo Amarelo Distrófico em zonas de ocupação urbana. Estes achados, diante da resposta dos índices geológicos e morfológicos, podem comprovar que a zona costeira dispõe de alta vulnerabilidade ambiental a qual precisa ser minimizada. O estudo será de suma importância para delinear o gerenciamento ambiental da Ilha.

Palavras-chave: erosão; perturbação ambiental; Sistema de Informação Geográfica - SIG; zona costeira.

ABSTRACT

The form of Organization of the population has modified a significant part of the environmental aspects, such as coastal areas. The island of Caratateua, a district belonging to the municipality of Belém, represents one of these with erosion risks, since it deals with the lack of Environmental Management, and urban planning, in a considerable part of the island, resulting in greater pressure on the soil and causing environmental impacts of significant magnitude in the long term. Conserving the dynamics of the coastline is essential to ensure the positive sedimentary balance, ensuring socio-environmental quality. Disordered processes of land use and occupation accelerate degradation regimes, which are reflected in water, soil and forest resources. Because of this, identifying and mapping erosion-friendly environments is critical to coastal management. The GIS-Geographic Information System used in this research represents an effective support and Analysis tool for vulnerable areas in different spatial magnitudes. This research presents an analysis with the mapping of areas vulnerable to erosion from the hierarchical process analysis-AHP. It also scales the impact of different conditions that influence this problem, as well as its importance in the development of a high accuracy mapping for regions with erosive potential. For this research, three key conditions were considered in the vulnerability factor: land use and cover change, pedology and slope. There were erosive susceptibility points with medium magnitude and several high points throughout the coastal zone. As for the slope, the presence of a terrain with mostly gently undulating and with undulating spots; for pedology, considerable patches of Ferrihumiluvic Spodosol, dystrophic Haplic Gleisol and tiny patches of dystrophic yellow Latosol in urban occupation zones. These findings, given the response of geological and morphological indices, can prove that the coastal zone has high environmental vulnerability which needs to be minimized. The study will be of paramount importance to outline the environmental management of the island.

Keywords: erosion; environmental disturbance; Geographical Information System-GIS; coastal zone.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Regra de Bruun que trata da erosão e deposição de sedimentos na porção emersa e submersa, respectivamente, do perfil praial.	20
Figura 2 – Mapa de localização da Ilha Caratateua, Belém/PA.	26
Figura 3 – Mapa de classificação climática da Ilha Caratateua e dinâmica de precipitação pluviométrica (mm) mensal média (série histórica de 1990-2021) da cidade de Belém/PA.	27
Figura 4 – Rede hidrográfica da Ilha de Caratateua.	28
Figura 5 – Organograma metodológico.	32
Figura 6 – Índice de declividade da Ilha de Caratateua.	33
Figura 7 – Índice do uso e ocupação do solo na Ilha de Caratateua.	34
Figura 8 – Índice pedológico da Ilha de Caratateua.	35
Figura 9 – Índice de suscetibilidade erosiva na Ilha de Caratateua.	37
Figura 10 – Grau de erodibilidade da Ilha de Caratateua, conforme a base de dados do Pronasolos.	39
Figura 11 – Grau de vulnerabilidade e suscetibilidade da Ilha de Caratateua conforme a base de dados do PronaSolos.	40
Figura 12 – Mapa temático como produto técnico para a Ilha de Caratateua.	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Método de Análise Hierárquica
AME	Análise Multicritério Espacial
ANA	Agência Nacional de Águas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas
MCDM	<i>Multi-Criteria Decision Making</i>
PC	Período Chuvoso
PMC	Período Menos Chuvoso
PNGC	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
PNPDC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PronaSolos	Programa Nacional de Solos do Brasil
QGis	Quantum GIS
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TOPSIS	Preferência por Similaridade com a Solução Ideal
UTM	Sistema Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. O problema	14
1.2. Hipóteses	15
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivo geral	17
2.2. Objetivos específicos	17
3. REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1. Conceitos principais e legislações aplicáveis	18
3.2. A dinâmica erosiva em zona costeira.....	19
3.3. Processos erosivos em zonas costeiras paraenses	21
3.4. Análise multicritério	23
3.5. Agentes condicionantes da erosão.....	24
4. MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1. Área de estudo	26
4.2. Aspectos gerais.....	26
4.2.1. Clima.....	26
4.2.2. Hidrografia.....	27
4.2.3. Urbano-populacional.....	28
4.3. Métodos de análise	29
4.3.2. Sistema de Informação Geográfica – SIG	30
4.3.2.1. <i>Índice pedológico e de uso e cobertura do solo</i>	<i>30</i>
4.3.2.2. <i>Índice de declividade</i>	<i>30</i>
4.3.2.3. <i>Comparativo Pronasolos</i>	<i>30</i>
4.3.3. Análise Multicritério Espacial	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1. Fatores de interferência	33
5.1.1. Declividade	33
5.1.2. Uso e cobertura do solo.....	34
5.1.3. Pedologia.....	35
5.1.4. Suscetibilidade erosiva.....	36

3.1.5 Índice de suscetibilidade e erodibilidade no PRONASOLOS	38
6. CONCLUSÃO.....	41
7. PRODUTO TÉCNICO DA PESQUISA.....	43
REFERÊNCIAS.....	46
APÊNDICE A – ÍNDICE DE SUSCETIBILIDADE EROSIVA NA ILHA DE CARATATEUA – BELÉM/PA	50

1. INTRODUÇÃO

A erosão costeira pode ser descrita como uma modificação natural da linha da costa a partir da taxa de extração sedimentar negativa, sendo a de deposição menor que esta. Essa ocorrência inicia no recuo da modelagem litorânea e expande até o continente (Novak; Lamour, 2021). Ainda, é resultante de uma complexa ligação dos regimes físicos com deslocamentos combinados de águas coordenados por ondas incidentes, tempestades, marés e correntes litorâneas, os quais reagirão com a costa (Komar; Moore, 1983).

Nos últimos anos vêm ocorrendo uma intensificação nos processos de perda de solo, sobretudo em áreas adjacentes aos corpos hídricos, o que tem externado alerta por parte de órgãos ambientais e pela sociedade civil. Esses processos são provocados por fatores hidrológicos, mineralógicos, topográficos e por massivo uso e ocupação do solo (Silva, 2021). Estudos recentes indicam que cerca de 40% da linha da costa do Brasil enfrenta processos erosivos severos, afetando diretamente a infraestrutura urbana, as atividades econômicas e os ecossistemas costeiros (Bulhões, 2020). As regiões Norte e Nordeste são as mais afetadas, pois a urbanização desenfreada e a falta de planejamento sustentável aceleram esses processos (Novaes; Lobo; Ranieri, 2024). No Estado do Pará, a erosão domina 60% da linha de costa (MMA, 2018).

O tablado continental brasileiro, no geral, detém baixa declividade, sobretudo nestas regiões, demandando uma resposta ao aumento do nível do mar muito extensa em comparação aos tablados de maior declividade (Muehe, 2006). Somado a isso, os avanços da urbanização nas áreas costeiras, em sua maioria, estão vinculados, também, ao desmatamento, a contaminação de corpos hídricos e as mudanças climáticas (Muehe, 2006).

A urbanização desordenada é considerada um fator chave para o agravamento da erosão costeira. O crescimento das cidades litorâneas tem pressionado o ambiente costeiro a partir da construção de infraestruturas como abertura de vias, restaurantes, *resorts* e casas, modificando os fluxos sedimentares e diminuindo a capacidade natural das praias de se autorregenerarem (Negrão; Sousa; Ranieri, 2022).

Diferente das vegetações, as quais efetuam o processo de amarração do solo por meio das raízes, proporcionando estabilidade do solo, as edificações possuem fundações cujo objetivo é dar estabilidade, porém não efetua a amarração do solo, e sim sua compactação. Nesse enquadramento, é notório em municípios interioranos, adjacentes ao oceano atlântico e/ou às margens de rios; banhados por corpos hídricos de água doce, a construção de edificações

de pequeno e médio porte, sem o correto estudo geotécnico da área para averiguar a viabilidade de quaisquer tipos de construções nesses ambientes.

Ainda, as consequências oriundas do processo antrópico sobre o solo são o carreamento de quantidades consideráveis de solo, materiais agrícolas e matéria orgânica para o curso d'água em épocas chuvosas, colaborando, principalmente, para um grande acúmulo de nutrientes e sólidos nos mananciais (Santos, 2021). Além disso, dependendo da área, pode haver um opulento acúmulo de resíduos nos corpos hídricos, decorrentes de tal carreamento superficial do solo pelas chuvas.

A análise da vulnerabilidade em zona costeira pode ser desenvolvida a partir da ligação entre dois fatores: exibição da linha da costa, população suscetível aos riscos vinculados a ação física costeira e ecossistemas; capacidade da costa, população de se recuperar, adaptar ou resistir, impactos oriundos dos riscos e ecossistemas (Novak; Lamour, 2021).

Nos últimos anos, diversas cartas cartográficas acerca da vulnerabilidade foram produzidas para os setores costeiros brasileiros e a nível mundial a partir da utilização de Sistemas de Informação Geográfica – SIG, análise multivariada por computador e modelos numéricos (Rangel-Buitrago *et al.*, 2020). Definir parâmetros e bases vetoriais a partir da classificação de cada agente de vulnerabilidade agregando um peso favorece o entendimento do grau de fragilidade de um dado ambiente. Essa técnica é possível pela análise multicritério.

O método de decisão multicritério é considerado um Método de Análise Hierárquica – AHP, em que as decisões dos critérios individuais são embasadas a partir da síntese dos agentes de decisão e a medida global para cada alternativa prioriza, ou classifica, as variáveis segundo uma hierarquia de importância para determinado desastre (Rangel-Buitrago *et al.*, 2020).

Quando se trata da região Amazônica, o modo de ocupação antrópico, comumente, esteve vinculado a grandes disfunções ambientais. A Ilha de Caratateua representa um caso de ocupação junto a atividades irregulares (Bentes *et al.*, 2017). Desse modo, com o auxílio dos dados de sensoriamento remoto e das agências de fomento será empregada a análise hierárquica a fim de produzir produtos cartográficos sobre os ambientes suscetíveis a erosão bem como aqueles com risco. Essa análise representa significativa relevância frente a intensa dinâmica dos processos físicos e socioambientais que circundam a região.

1.1. O problema

Desde meados da década de 70, a ocupação costeira do Estado do Pará tem sido pelo seguinte tripé: expansão metropolitana a partir do desenvolvimento urbanístico; turismo e lazer,

vinculados ao inchaço populacional próximo ao litoral e a renovação da gestão e organização de trabalho (Becker, 2008). Desse modo, o ambiente responde a medida em que a área é alterada por edificações, loteamentos, pavimentações, barreiras de contenção etc., culminando na modificação do equilíbrio sedimentar natural da costa, pois toda a estrutura é desenvolvida no espaço pós-praia – zona considerada fundamental para o fornecimento sedimentar. A linha de costa alterada refletirá em eventos erosivos ou progradativos (Negrão; Sousa; Ranieri, 2022).

A Ilha de Caratateua lida com inúmeros problemas sócio-ambientais típicos de um processo de ocupação desordenado e acelerado, como: ausência ou insuficiência de saneamento básico, mau gerenciamento de resíduos sólidos, degradação ambiental, vulnerabilidade de populações, má distribuição ou ausência de água tratada, ocupação de áreas inapropriadas, entre outros. Vasconcelos e Amaral (2021) ponderam que boa parte da perda das áreas verdes se dá por construção de grandes empreendimentos, inclusive o condomínio Aphaville, notabilizando que, a partir de 2011, construção deste, houve um processo de uso e apropriação do solo insular outeirense acelerado e expressivo, justificado pelos novos planos e agentes de desenvolvimento do espaço.

Outro fator chave no processo de ocupação é que as áreas adjacentes ao condomínio integram o modo de ocupação irregular. Isso se deve ao fato de que tal área de estudo, após construção da Ponte Enéas Pinheiro Martins, a qual conecta o distrito de Icoaraci ao de Outeiro facilitou o acesso e deslocamento da massa populacional, garantindo a dispersão e, consequentemente, expansão do uso do solo (Santos; Silva Junior; Sousa, 2014).

De acordo com Assunção (2005), o crescimento desordenado e considerável da área é ponderado por alguns pontos: construção da Ponte Enéias Pinheiro, deslocamento da população periférica de Belém, principalmente das áreas alagáveis, abordadas na literatura como baixadas, e especulação imobiliária. A falta de gestão ambiental e urbanística, característico de toda a ilha, resulta na maior pressão sobre o solo, provocando impactos ambientais de magnitude significativa e a longo prazo. Barbosa (2012), explica que a ocupação na ilha de Caratateua era, prioritariamente, de atividades de extração mineral e agrícolas e que, dado a rápida mudança no direcionamento da ocupação, muitos locais não foram planejados.

1.2. Hipóteses

Ponderando o contexto histórico de ocupação irregular da Ilha de Caratateua em que boa parte das moradias são impróprias, acompanhado das disfunções ambientais como desmatamento na linha da costa, despejo inadequado de esgoto no banco de areia, a organização

climática regional, o relevo e a rede de drenagem das sub-bacias, é possível inferir as seguintes hipóteses:

- A população residente na linha da costa sofrerá com o processo erosivo;
- A erosão tende a ser mais severa em pontos próximos a baía devido o relevo ser moderadamente ondulado;
- A maioria da população reside na linha da costa, o que acarretará na qualidade do solo, consequentemente, na sua desmobilização;
- Uso irregular do uso do solo, o que implica na perturbação das condicionantes ambientais;
- Ausência de arrimo nas áreas com maior ocupação.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a suscetibilidade a erosão na Ilha de Caratateua – Belém/PA sob os aspectos morfológicos.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar os graus de relevância dos principais agentes erosivos com uso da técnica AHP;
- Gerar cartas temáticas sobre a pedologia, uso e ocupação do solo e declividade;
- Obter o produto cartográfico da suscetibilidade erosiva.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Conceitos principais e legislações aplicáveis

A gestão de riscos e desastres naturais em zonas costeiras é uma área de crescente relevância devido ao aumento da vulnerabilidade dessas regiões, causado tanto por fatores naturais como a elevação do nível do mar e tempestades, quanto por ações antrópicas, como a urbanização desordenada. Segundo Câmara, Holanda e Costa (2023), essas áreas enfrentam muitos desafios associados a eventos climáticos extremos, gerando impactos ambientais, sociais e econômicos. A implementação de estratégias eficazes de gestão de riscos é essencial para mitigar os danos e garantir a sustentabilidade dessas zonas.

O conceito de gestão de riscos em zonas costeiras envolve a identificação, avaliação e mitigação destes que podem resultar em desastres naturais, como enchentes, erosão e deslizamentos. Para Amorim *et al.* (2023), esta precisa ser integrada e multidisciplinar, envolvendo aspectos ambientais, socioeconômicos e de governança. O uso de tecnologias avançadas, como a modelagem computacional e o sensoriamento remoto, tem sido uma ferramenta crucial para a previsão de desastres e elaboração de planos de contingência, contribuindo para a redução da vulnerabilidade (Esteves *et al.*, 2021).

No Brasil, o gerenciamento de riscos costeiros é regulamentado por legislações específicas. A Lei nº 12.608/2012 que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDC dispõe de diretrizes para a prevenção e mitigação de desastres naturais com foco na redução dos riscos em áreas vulneráveis (Negrão; Sousa; Ranieri, 2022). Além disso, o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC, estabelecido pela Lei nº 7.661/1988, visa organizar a ocupação das zonas litorâneas e promover o uso sustentável dos recursos naturais (Muehe, 2018).

A PNPDC promove uma abordagem preventiva com foco na gestão de riscos e preparação para desastres naturais. Segundo Novaes, Lobo e Ranieri (2024), essa legislação incentiva a integração entre os diferentes níveis de governo e a participação das comunidades locais na construção de estratégias de mitigação. A implementação de sistemas de alerta precoce é uma das medidas sugeridas para evitar maiores impactos de desastres, como as inundações.

A resiliência costeira também é um conceito central na gestão de riscos em áreas litorâneas. Refere-se à capacidade das zonas costeiras de se recuperarem após um evento adverso, como um processo erosivo severo. Segundo Santos *et al.* (2023), o fortalecimento da resiliência costeira envolve tanto a proteção física da costa quanto a conscientização das comunidades locais. Programas de educação ambiental e planejamento urbano sustentável são essenciais para aumentar a resiliência dessas áreas.

As soluções baseadas na natureza, como a restauração de manguezais e dunas, têm ganhado destaque no cenário global como uma estratégia eficaz para a mitigação de riscos costeiros. Estudos recentes indicam que ecossistemas naturais como manguezais, recifes de corais e dunas de areia atuam como barreiras naturais contra o impacto de ondas e tempestades (Bombana; Turra; Polette, 2020). Além de protegerem as zonas costeiras, essas soluções são sustentáveis e promovem a biodiversidade.

Outro aspecto importante na gestão de riscos é o mapeamento das áreas de risco. O uso de tecnologias como drones e imagens de satélite tem permitido um monitoramento detalhado das áreas vulneráveis, facilitando a elaboração de planos de prevenção e mitigação. Weine (2021) destaca que o mapeamento é fundamental para identificar as áreas mais suscetíveis a desastres, permitindo uma melhor alocação de recursos e a criação de estratégias específicas para cada região.

Apesar dos avanços tecnológicos e das legislações existentes, ainda há muitos desafios na implementação eficaz de estratégias na gestão de riscos costeiros no Brasil. Um dos principais entraves é a falta de integração entre as políticas públicas e as necessidades locais (Amorim *et al.*, 2023). A governança fragmentada e a ausência de uma abordagem colaborativa entre os diversos setores da sociedade são apontadas como barreiras à eficácia das medidas de mitigação.

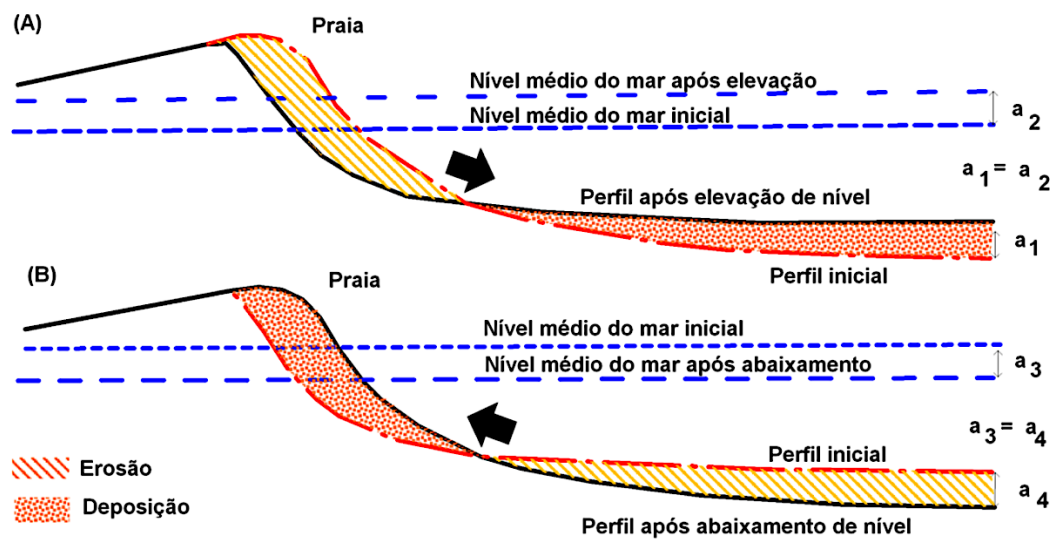
Por fim, esta gestão deve ser vista como uma responsabilidade compartilhada entre governo, academia e sociedade civil. A participação ativa das comunidades locais é crucial para a construção de estratégias adaptativas eficazes e sustentáveis (Negrão; Sousa; Ranieri, 2022). A conscientização e o engajamento da população são fatores essenciais para o sucesso das políticas de gestão de riscos costeiros. Assim, a combinação de legislações adequadas, tecnologia avançada e participação comunitária é essencial para garantir a sustentabilidade e a proteção desses ambientes.

3.2. A dinâmica erosiva em zona costeira

A erosão costeira é um processo natural que ocorre ao longo das zonas litorâneas, resultante da interação de diversos fatores oceanográficos, geológicos e atmosféricos. Esses processos de erosão são fundamentais para moldar as costas e influenciar tanto os ecossistemas naturais quanto as áreas habitadas pelo homem. Compreender os mecanismos que promovem a erosão costeira é essencial para o desenvolvimento de estratégias de mitigação e adaptação nas áreas afetadas por essas características (Souza, 2016).

Os fatores que mais prejudicam a erosão incluem a ação das ondas, marés e correntes, além de processos meteorológicos, como o aumento do nível do mar, exemplificado na Figura 1. A ação das ondas é um dos principais agentes erosivos, pois sua energia atinge diretamente as praias, causando o transporte de sedimentos e o resgate das linhas de costa (Teixeira; Bandeira, 2022). Esse processo, conhecido como transporte sedimentar, pode ocorrer tanto no sentido longitudinal quanto no transversal, dependendo da orientação da costa e da direção do vento predominante.

Figura 1 – Regra de Bruun que trata da erosão e deposição de sedimentos na porção emersa e submersa, respectivamente, do perfil praial.



Fonte: (Souza, 2009).

De acordo com o Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas – IPCC, o aumento das temperaturas globais resulta na expansão térmica dos oceanos e no derretimento das calotas polares, elevando o nível do mar a taxas sem precedentes nos últimos séculos (Ipcc, 2021). Este aumento submerge áreas costeiras, erodindo praias e falésias e modificando o equilíbrio sedimentar. Laino e Iglesias (2023) observam que áreas costeiras de baixa elevação são, particularmente, vulneráveis, com previsões de perda significativa do território nas próximas décadas. As tempestades, também, intensificam a ação das ondas e das marés, provocando o deslocamento de grandes volumes de sedimentos e alterando a morfologia costeira em um curto período.

Além dos fatores climáticos, as atividades humanas, como a urbanização e construção de infraestruturas costeiras, agravam a erosão. A construção de portos, marinas e barreiras artificiais interferem no transporte natural de sedimentos, interrompendo o fluxo e contribuindo

para o recuo das praias em áreas adjacentes. De acordo com Nazarnia (2020), obras costeiras que não consideram a dinâmica natural de sedimentação podem intensificar a erosão em áreas distantes do ponto de construção, criando um ciclo de retroalimentação negativa. A ocupação desordenada das regiões litorâneas, muitas vezes em áreas vulneráveis, agrava o problema ao aumentar o peso sobre as zonas de praia.

Outro aspecto relevante é a remoção de vegetação natural, a qual atua como barreira contra a erosão. Estudos indicam que a vegetação costeira desempenha um papel crucial na estabilização de sedimentos, agindo como um amortecedor natural contra o impacto das ondas. A destruição desses ecossistemas, seja por expansão urbana ou exploração de recursos naturais, deixa as áreas costeiras mais expostas ao processo erosivo (Nazarnia *et al.*, 2020). A restauração de ecossistemas costeiros, como a replantação de mangues, tem sido apontada como uma estratégia eficaz de mitigação.

A erosão costeira também é amplamente influenciada pela dinâmica das correntes marítimas e pelo regime de ventos que atuam de forma direta na redistribuição dos sedimentos. Mudanças na direção e intensidade das correntes podem acelerar o processo de erosão em certas áreas, enquanto outras recebem um aumento de deposição sedimentar (Gallina *et al.*, 2020).

A gestão inadequada das zonas costeiras também agrava o problema. Segundo Rangel-Buitrago *et al.* (2020), muitas políticas de gestão costeira ainda são reativas, respondendo apenas aos impactos imediatos de eventos erosivos e falhando em adotar abordagens a longo prazo que incluam o monitoramento contínuo e adaptação às mudanças climáticas. Programas de defesa costeira, como a construção de diques e muros de contenção, são frequentemente aplicados sem considerar os efeitos colaterais, como o aumento da erosão em áreas vizinhas (Rangel-Buitrago *et al.*, 2020).

Em síntese, a erosão costeira é um fenômeno complexo, amplificado pelas mudanças climáticas e atividades humanas, que exige uma abordagem integrada de gestão costeira. A combinação de medidas de adaptação às mudanças climáticas, restauração de ecossistemas e políticas de planejamento costeiro pode fornecer uma solução mais resiliente e sustentável para enfrentar os desafios impostos pela erosão costeira.

3.3. Processos erosivos em zonas costeiras paraenses

A erosão costeira no estado do Pará tem se intensificado nos últimos anos, afetando, significativamente, diversas áreas litorâneas. A Ilha do Mosqueiro, pertencente ao município de Belém, é um exemplo notável dessa problemática. A região enfrenta erosão costeira devido a fatores naturais, como a hidrodinâmica local, e antrópicos, como a ocupação inadequada das

margens. Estudos apontam que a vulnerabilidade social dos moradores, caracterizada por baixos níveis de escolaridade e renda, agrava a situação, dificultando a implementação de medidas de mitigação eficazes (Ferreira, 2023).

No município de Salinópolis, a erosão costeira também é uma preocupação crescente. A alta concentração demográfica nesta zona e a falta de planejamento urbano adequado aumentam a suscetibilidade da região a processos erosivos. A gestão pública precisa incorporar análises de risco para auxiliar no planejamento e ordenamento da área em questão, visando mitigar os impactos da erosão (Pinheiro; Rosa; Sousa, 2020).

A dinâmica da linha da costa na zona costeira amazônica é influenciada por diversos fatores, incluindo a ação das marés e a energia das ondas. Quando essas ações coincidem com marés de sizígia, a intensidade do processo erosivo aumenta, provocando inundações costeiras e acelerando a degradação das praias (Lima, 2023). A região de Ajuruteua, no município de Bragança, apresenta padrões diferenciados de recuo da linha de costa. Processos como o escarpamento das dunas frontais e a migração de canais de maré em direção ao continente são observados, indicando uma dinâmica costeira complexa que requer monitoramento constante (Lima, 2023).

A percepção de risco da população local é um fator crucial na gestão da erosão costeira. Em muitos casos, os moradores não reconhecem a gravidade dos processos erosivos ou não possuem conhecimento sobre medidas preventivas, o que dificulta a implementação de estratégias de mitigação. A educação ambiental e a participação comunitária são essenciais para o sucesso das ações de controle da erosão (França; Guedes, 2025).

Os manguezais desempenham um papel fundamental na proteção contra a erosão costeira, atuando como barreiras naturais que estabilizam o solo e dissipam a energia das ondas. No entanto, a degradação desses ecossistemas, seja por desmatamento ou ocupação irregular, compromete sua capacidade de proteção, exacerbando os processos erosivos (Santos *et al.*, 2023).

A implementação de medidas de mitigação, como a construção de estruturas de contenção e a restauração de ecossistemas costeiros, tem sido adotada em algumas áreas do Pará. Contudo, a eficácia dessas intervenções depende de um planejamento integrado que considere as especificidades locais e envolva a participação das comunidades afetadas (Lima, 2023).

Em suma, os processos erosivos nas zonas costeiras do Pará resultam de uma combinação de fatores naturais e antrópicos. A compreensão dessa dinâmica e a adoção de

estratégias de gestão costeira sustentáveis são essenciais para mitigar os impactos da erosão e garantir a preservação dos ecossistemas litorâneos e o bem-estar das populações locais.

3.4. Análise multicritério

A Análise Multicritério Espacial – AME tem ganhado cada vez mais relevância nos últimos anos devido ao aumento da complexidade dos problemas de tomada de decisão que envolvem múltiplos critérios espaciais. Esta metodologia integra dados espaciais com abordagens de decisão multicritério, *Multi-Criteria Decision Making* – MCDM, para apoiar decisões em diversas áreas como planejamento urbano e gestão ambiental (Elkadeem *et al.*, 2021). A combinação entre o SIG e a AME possibilita a análise de múltiplos fatores e critérios, simultaneamente, facilitando a identificação de áreas prioritárias ou ótimas para ações específicas.

Uma das principais características da análise multicritério espacial é sua capacidade de lidar com critérios conflitantes em que a maximização de um critério pode implicar na minimização de outro. O processo envolve a atribuição de pesos a diferentes critérios, representando a importância relativa de cada um. Isso é feito por meio de métodos como o Processo Analítico Hierárquico – AHP ou a Técnica de Ordem de Preferência por Similaridade com a Solução Ideal – TOPSIS (Elkadeem *et al.*, 2021). Esses métodos permitem que os decisores avaliem e ponderem as prioridades, integrando-as em uma análise coerente.

Além disso, a AME, geralmente, utiliza o SIG para processar e integrar os dados espaciais. A combinação entre estes tem sido essencial para melhorar a precisão e a eficiência da análise, permitindo o tratamento de grandes volumes de dados espaciais de maneira eficiente. Ferramentas SIG possibilitam a visualização dos resultados de forma intuitiva, facilitando a interpretação das áreas mais adequadas, ou prioritárias, para determinadas ações, como a localização de infraestrutura ou a conservação ambiental (Cavalcante *et al.*, 2022).

Na área de mitigação de riscos naturais, esta análise tem desempenhado um papel fundamental na identificação de áreas de alto risco para desastres, como inundações, deslizamentos de terra e incêndios florestais (Laino; Iglesias, 2023). Ao integrar dados espaciais como topografia, uso do solo, clima e densidade populacional, os tomadores de decisão podem priorizar áreas para intervenções e planejar estratégias eficazes de mitigação e adaptação a esses riscos. Nesse contexto, ela permite que decisões sejam tomadas de maneira mais embasada e equilibrada, considerando não apenas critérios ecológicos, mas também sociais e econômicos.

No planejamento urbano, ela tem sido amplamente aplicada para a escolha de locais ideais para a construção de novas infraestruturas, como hospitais, escolas e sistemas de

transporte (Silva, F.; Silva, R.; Espindola Junior, 2022). Utilizando critérios como densidade populacional, acessibilidade, impacto ambiental e custo, a AME oferece uma análise holística que integra as necessidades da população com os recursos disponíveis. Recentes avanços tecnológicos permitiram uma maior precisão nas análises, auxiliando gestores públicos na tomada de decisões que equilibram desenvolvimento urbano e sustentabilidade.

Os avanços na coleta e processamento de dados espaciais, como o uso de drones e sensoriamento remoto, têm ampliado o potencial da análise multicritério. A integração de dados de alta resolução em tempo real tem permitido análises mais precisas e detalhadas (Abbas *et al.*, 2021). Isso facilita a aplicação da AME em um número maior de setores e para uma gama mais ampla de problemas complexos, aumentando sua relevância e aplicação prática.

As incertezas envolvidas nos dados geográficos também são uma preocupação nesta análise. Fatores como a precisão dos dados e a escala de análise podem impactar os resultados finais. Técnicas de modelagem de incerteza, como a análise de sensibilidade, podem ser aplicadas para avaliar o quanto pequenas mudanças nos pesos dos critérios ou nos dados podem influenciar o resultado final (Abbas *et al.*, 2021). Isso aumenta a robustez da análise e ajuda a evitar conclusões precipitadas.

Em suma, a análise multicritério espacial tem se consolidado como uma ferramenta valiosa para a tomada de decisões em contextos geoespaciais complexos. Ao combinar métodos de decisão multicritério com SIG, a AME oferece uma maneira eficiente e visualmente acessível de integrar múltiplos critérios em um processo de decisão robusto. No entanto, desafios relacionados à subjetividade dos pesos e incertezas nos dados permanecem e precisam ser tratados cuidadosamente para garantir resultados confiáveis e úteis.

3.5. Agentes condicionantes da erosão

Entender os agentes de interferência na erosão do solo é fundamental para prevenir a degradação ambiental e conservar os recursos naturais. Um dos principais fatores condicionantes é o clima, especialmente a intensidade e frequência das chuvas. Chuvas intensas, associadas a solos expostos, promovem o desprendimento e o transporte de partículas, agravando a erosão hídrica, enquanto ventos fortes são responsáveis pela erosão eólica, particularmente em áreas áridas e sem cobertura vegetal (Pereira, 2022).

Outro fator relevante é o tipo de solo. Solos arenosos, devido à sua estrutura granular, têm menor coesão entre partículas, tornando-se mais suscetíveis à erosão. Por outro lado, solos argilosos podem resistir melhor, mas, quando saturados, perdem estabilidade e ficam mais vulneráveis a processos erosivos (Pereira, 2024). A perda de matéria orgânica, comum em áreas

costeiras devido as alterações, de caráter antrópico, reduzem a capacidade do solo em reter água e nutrientes, contribuindo para a intensificação do problema (Pereira, 2024).

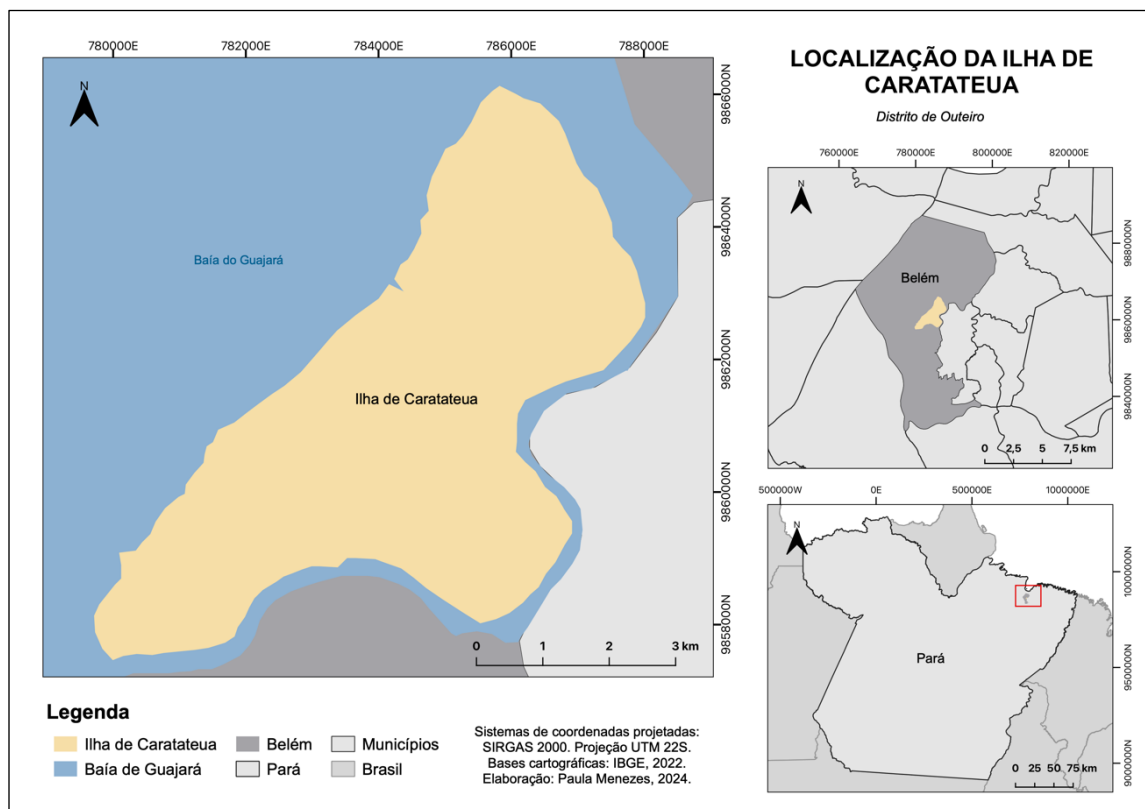
A topografia, também, desempenha um papel crucial. Terrenos íngremes apresentam maior risco de erosão devido à gravidade, que facilita o escoamento superficial da água. Nessas condições, a velocidade e o volume do escoamento são maiores, aumentando o transporte de sedimentos (Oliveira, 2023). Dado isso, estas áreas precisam dispor da cobertura vegetal que protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva, reduzem a velocidade do escoamento superficial e promovem a infiltração de água (Oliveira, 2023). A manutenção de coberturas permanentes é uma estratégia eficaz para minimizar a erosão.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

A Ilha de Cartateua (Figura 2) ou também conhecida como Ilha de Outeiro, é configurada como distrito da cidade de Belém, capital do estado do Pará. Suas coordenadas compreendem as latitudes 1° 12' e 1° 17'S e as longitudes de 48°25' e 48°29' W, abarcando a região nordeste do estado do Pará. A parte mais extensa, 10 km, é direcionada a baía de Santo Antônio; já a parte mais estreita, 6 km, é circundada pelo furo do Maguari, o qual está vinculado a baía do Guajará e de Santo Antônio (Moura *et al.*, 2023 *apud* Medeiros, 1971). A região dispõe de um solo areno-argiloso (Moura *et al.*, 2023), sendo considerado de média suscetibilidade erosiva, podendo ser agravada pelo mau gerenciamento na conservação do solo (Vanzela; Hernadez; Franco, 2010).

Figura 2 – Mapa de localização da Ilha Caratateua, Belém/PA.



Fonte: Autora.

4.2. Aspectos gerais

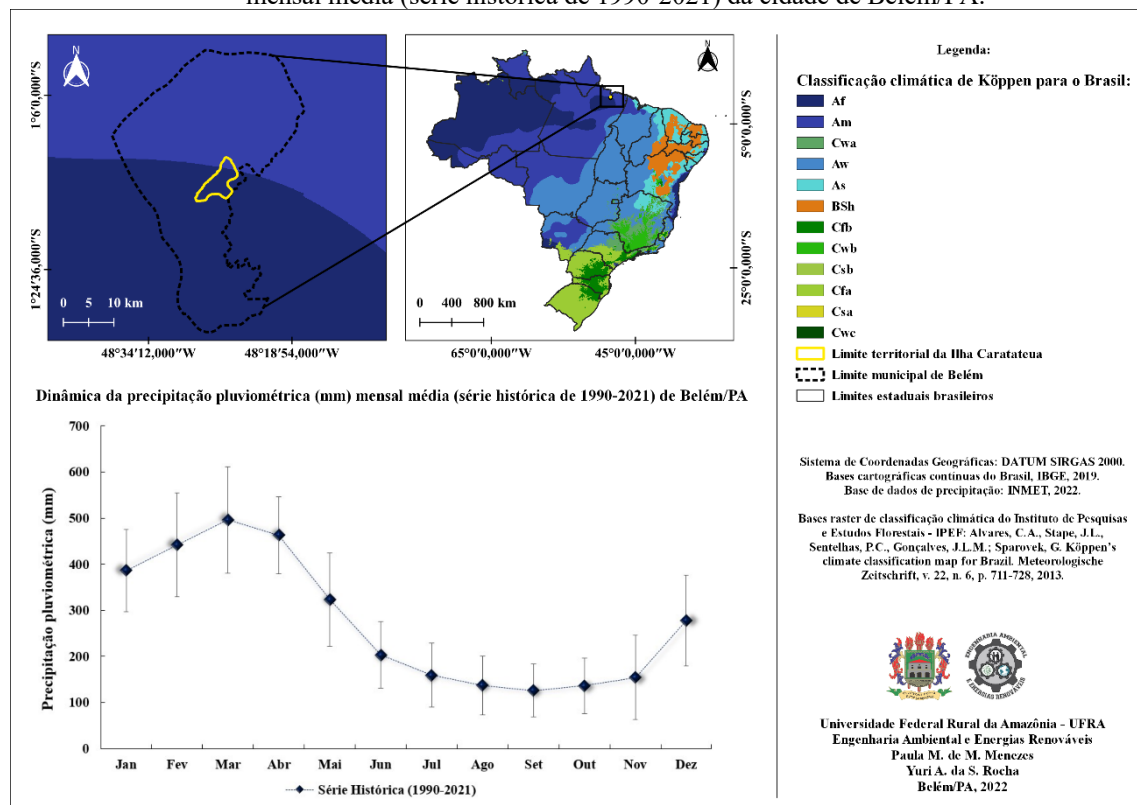
4.2.1. Clima

Localizada na zona equatorial, a ilha de Caratateua apresenta um clima predominante do tipo Af, com clima equatorial chuvoso, com abundante acumulação anual de precipitação

pluviométrica (Dias; Valente; Fernandes, 2020), mas parcialmente está situado em uma zona de transição climática do tipo Af para o Am, sentido ao Norte (Figura 3).

Referente à série histórica de 1990 a 2021, Belém apresenta uma média anual de precipitação pluviométrica de $3.303,81 \pm 450,79 \text{ mm.ano}^{-1}$, umidade relativa do ar média anual de $84,19 \pm 1,33 \%$ e temperatura compensada anual média de $26,81 \pm 0,37 \text{ °C}$ (INMET, 2022). Ainda de acordo com a série histórica supracitada, a região apresenta dois períodos bem definidos (figura 2): Período Chuvoso – PC (dezembro a maio), com precipitação pluviométrica mensal média acima de 200 mm; Período Menos Chuvoso – PMC (junho a novembro), abaixo de 200 mm, mas acima de 100 mm – indicando ausência de período seco.

Figura 3 – Mapa de classificação climática da Ilha Caratateua e dinâmica de precipitação pluviométrica (mm) mensal média (série histórica de 1990-2021) da cidade de Belém/PA.



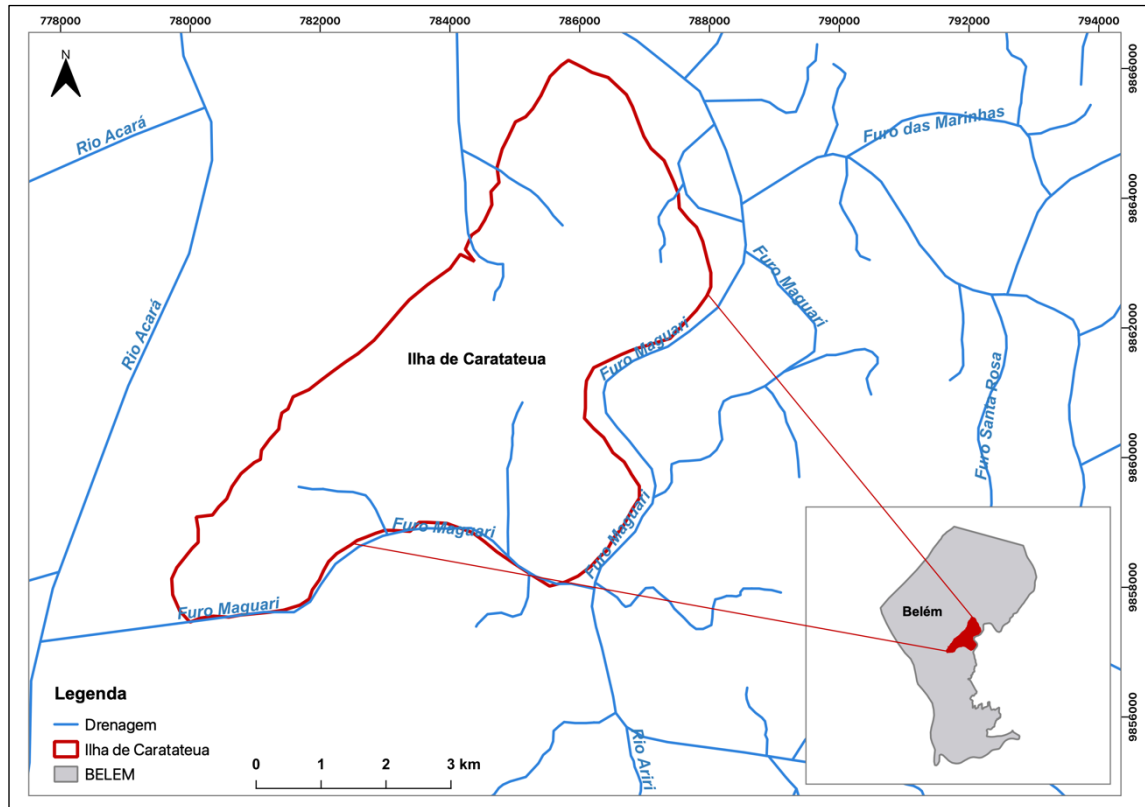
Fonte: Autora e ROCHA, Y. (2022).

4.2.2. Hidrografia

A distribuição da rede hidrográfica do município de Belém, consequentemente, a que banha a Ilha de Caratateua foi realizada conforme os dados vetoriais da base hidrológica disponível no sistema da Agência Nacional de Águas – ANA. Belém é recortada por vários furos e igarapés, sendo banhada pelas Baías do Guajará, Santo Antônio e Marajó. É considerado

furo canais naturais que vinculam os rios entre si ou desaguam em lagos. Conforme a Figura 4, a Ilha é recortada pelo furo do rio Maguari, separando-a da Ilha de Mosqueiro.

Figura 4 – Rede hidrográfica da Ilha de Caratateua.



Fonte: Autora.

4.2.3. Urbano-populacional

A Ilha de Outeiro situada a, aproximadamente, 35 km de Belém, é considerada a Ilha mais circunjacente ao centro da capital paraense, estando ligada a esta pela Ponte Governador Enéas Martins Pinheiro. A população de Outeiro é estimada em 63.353 habitantes (Ibge, 2022).

Os bairros considerados tradicionais da Ilha, como o da Brasília, Água Boa, do Fama, Fidélis e São João do Outeiro enfrentam considerável problema similar ao município de Belém: acesso a água potável ou em condições mínimas de uso (Ferreira, 2022). A característica de crescimento irregular da região metropolitana, assim como a da Ilha, provocou uma aceleração da depredação dos recursos naturais, principalmente das águas. A expansão populacional destas regiões, de caráter associado às chamadas áreas de apropriação ilegal, culminou na saturação por demanda de água potável, assim, sem que o atual sistema de abastecimento estivesse articulado para a demanda (Ferreira, 2022).

Como dito anteriormente, a maior parte das atividades da população está, diretamente, ligada ao uso e ocupação da terra, isso por configurar a principal fonte de renda desta. Desse modo, boa parte dos comércios estão instalados nas falésias, somado a isso, têm-se a dinâmica de tráfego no espaço, provocando a abertura de passagens e, conseqüentemente, a remoção da cobertura vegetal, fatores que corroboram para a compactação do solo e o escoamento superficial da água (Ferreira, 2022).

Por conseguinte, uma outra característica forte na Ilha são as problemáticas oriundas dos veranistas a população local, sendo a grande quantidade de resíduo deixada nas praias. Também, parte do saneamento precário de alguns compartimentos refletem no despejo irregular de dejetos diretamente no banco de areia, afetando as propriedades deste e da água (Moura, 2023). Desse modo, considerando o contexto como um todo, as casas dispostas próximas as praias refletem, em parte, dos moradores as usarem de espaço para comercializar, bem como construir bares e restaurantes de forma inapropriada.

4.3. Métodos de análise

4.3.1. Coleta de dados

Primeiramente, foi consolidada uma revisão bibliográfica para fim de reconhecimento dos dados ambientais da Ilha de Caratateua. Ambientes com atributos físicos inadequados ao processo de ocupação, decorrentes da associação de agentes geológicos, geomorfológicos, pedológicos e topográficos propiciam a conjuntura de regimes erosivos e deslocamentos de massa (Simões; Oliveira, 2014).

Dos dados analisados, foram ponderados os de pedologia (classes de solos), declividade e uso e ocupação do solo. Os de vegetação não foram considerados, pois há a predominância de vegetação ombrófila densa, ou seja, somente uma classe, impossibilitando a classificação por diferença de pesos dentro da análise multicritério. Os demais dados oficiais das propriedades foram consultados e extraídos nos formatos shapefile e geotiff nos portais do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil – TOPODATA/INPE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA.

4.3.2. Sistema de Informação Geográfica – SIG

Os mapas obedeceram ao Sistema Universal Transversa de Mercator – UTM, no Datum SIRGAS 2000, Zona 23S. Com base nos materiais obtidos, foi elaborado um banco de dados com todos os repositórios em formato shapefile e imagens no formato geotiff, possibilitando o arranjo destes no software Quantum GIS – QGIS versão 3.40.1. Este é considerado excelente para o tipo de análise por conseguir integrar todas as vertentes, tanto matriciais quanto vetoriais e, ainda, por ser de fácil acesso.

4.3.2.1. *Índice pedológico e de uso e cobertura do solo*

A carta temática referente a pedologia e ao uso e ocupação do solo foram geradas com base no banco de dados do IBGE. Os arquivos foram extraídos no formato shp, shx e dbf, dispondo de informações pedológicas de todo o território nacional e, posteriormente, no QGIS foi feito o clip para selecionar o limite do município de Belém acompanhado do ambiente de estudo. Assim, identificou-se as classes de solo. O uso e ocupação do solo se deu com base nos códigos e paleta de cores da coleção 5 do MapBiomias.

4.3.2.2. *Índice de declividade*

Para a análise do índice de declividade, foi consultada a base de dados da EMBRAPA. Na produção do mapa deste atributo, foi realizado o geoprocessamento tratando a imagem do relevo referente a área. Todas as imagens poderão ser encontradas na plataforma do TOPODATA/INPE (dsr.inpe.br/topodata/), no mosaico de imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), folha 01S495, formato raster (geotiff). Estas foram georreferenciadas no sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000.

4.3.2.3. *Comparativo Pronasolos*

Para fins comparativos, utilizou-se os dados de erodibilidade – *suscetibilidade do solo aos processos erosivos em uma determinada área com condições locais* – suscetibilidade – *condições do meio físico de uma área e a sua probabilidade de alteração pelas próprias características ambientais, tais como a hidrodinâmica de um corpo hídrico local e as características do solo* – e vulnerabilidade à erosão hídrica da plataforma Programa Nacional de Solos do Brasil – PronaSolos, cujo objetivo é mapear os solos de 1,3 milhão de km² do país nos primeiros dez anos e mais 6,9 milhões de km² até 2048, em escalas que vão de 1:25.000 a 1:100.000 (Pronasolos, 2022). A finalidade da comparação foi averiguar se os dados no presente

trabalho corroboram e/ou estão congruentes com os dados shapefiles e rasters do PronaSolos, possibilitando uma avaliação da suscetibilidade erosiva mais acertiva e consistente.

4.3.3. Análise Multicritério Espacial

O mapa de suscetibilidade erosiva se deu a partir da metodologia multicritério. Esta acontece com base na determinação do grau de relevância de cada atributo – a exemplo da declividade e suas classes: plano, suavemente ondulado, ondulado, etc. – para a produção do resultado final (Moura, 2007). A devida análise possibilitou a apuração combinada destas classes, conferindo notas a cada uma utilizada para o potencial erosivo. Ainda, com base na disposição de uma álgebra para mapas, esta propiciou a junção de todos os atributos (pedologia, uso e ocupação do solo e declividade) junto aos pesos de suas classes. Ambos os métodos foram executados no QGis 3.40.1.

Os pesos a cada atributo e notas às suas classes estão dispostos na tabela 1. Esta notabiliza a organização para a geração do mapa. Os pesos variaram de 0-1 e as notas de 0-5. Os três índices que foram combinados, para a estimativa do potencial erosivo, seguiram a seguinte fórmula algébrica no software: $(0.25 * \text{"pedologia.tif"}) + (0.35 * \text{"uso_ocupação.tif"}) + (0.40 * \text{"decliv.tif"})$.

Tabela 1 – Pesos e notas para a análise multicritério.

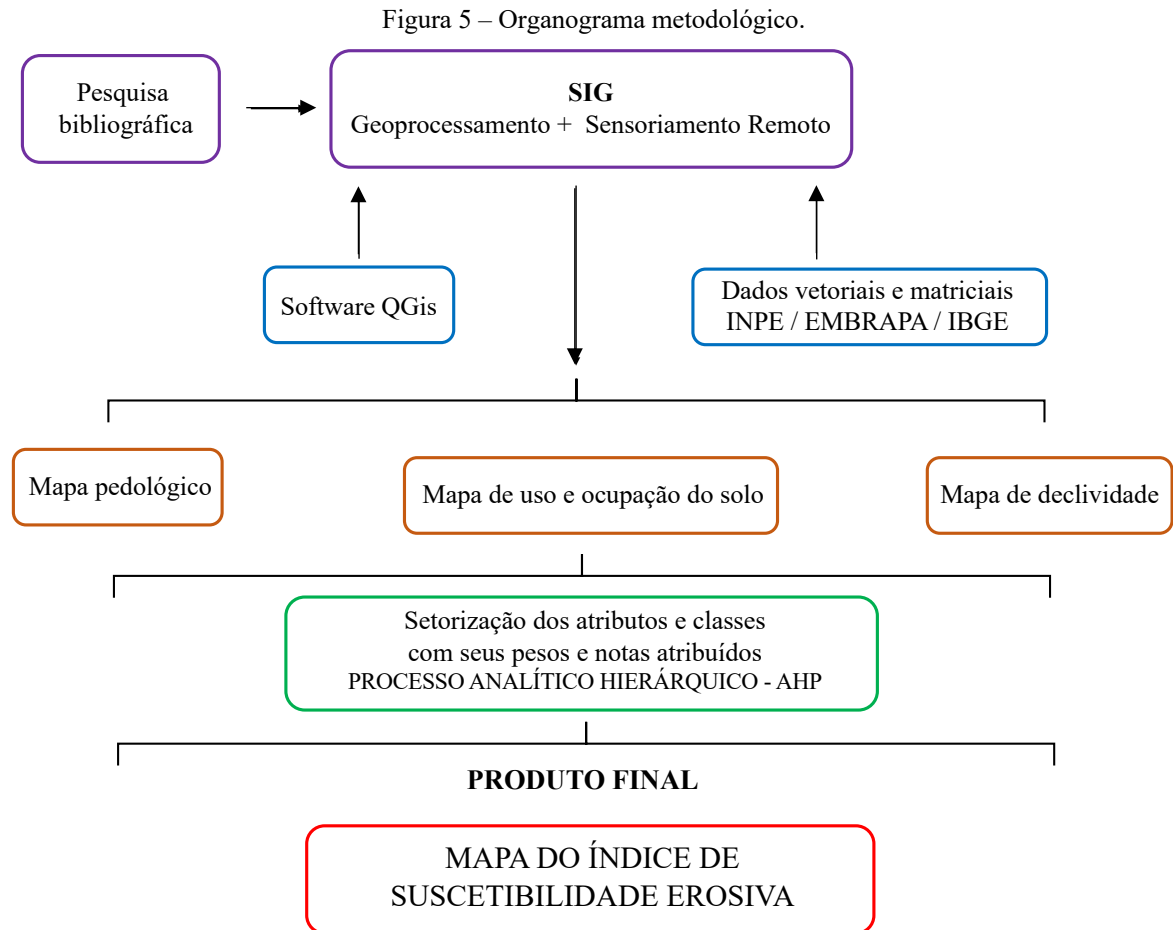
Declividade (Peso – 0,40)	Uso e ocupação do solo (Peso – 0,35)	Pedologia (Peso – 0,25)
Plano – 1	Formação campestre – 1	Latossolo amarelo distrófico – 1
Suavemente ondulado – 2	Praias e dunas – 3	Espodossolo ferrihumilúvico – 3
Ondulado – 3	Infraestrutura urbana – 4	Gleissolo háplico distrófico – 4
Fortemente ondulado – 4	Mangues e Apicum – 5	

Fonte: Adaptado de (Frota *et al.*, 2024).

A lógica hierárquica dos atributos apoia-se no caráter qualitativo de modo a obedecerem a uma escala de relevância para que as decisões sobre a problemática sejam realizadas de forma objetiva e eficaz. Assim, quanto menor o valor, menor o nível de interferência e vice-versa. Como disposto na tabela, a declividade tem o maior nível de interferência. Entende-se que quanto maior a inclinação do terreno, maior a suscetibilidade a erodir. Em segundo está o uso e ocupação do solo. Áreas urbanizadas, portanto, com grandes modificações na linha da costa estão em maior risco devido a grandes movimentações de massa que ocorrem nesta. Por fim, a cobertura dos solos. Estes, próximos a ambientes de transição

praial, costumam pertencer a classes de solos mal drenados, ou seja, saturados por água, o que representa fator chave para desestabilizar e erodir.

Dessa forma, a metodologia obedecerá ao seguinte organograma, geral, da pesquisa (Figura 5).



Fonte: Adaptado de (Ferreira, 2024).

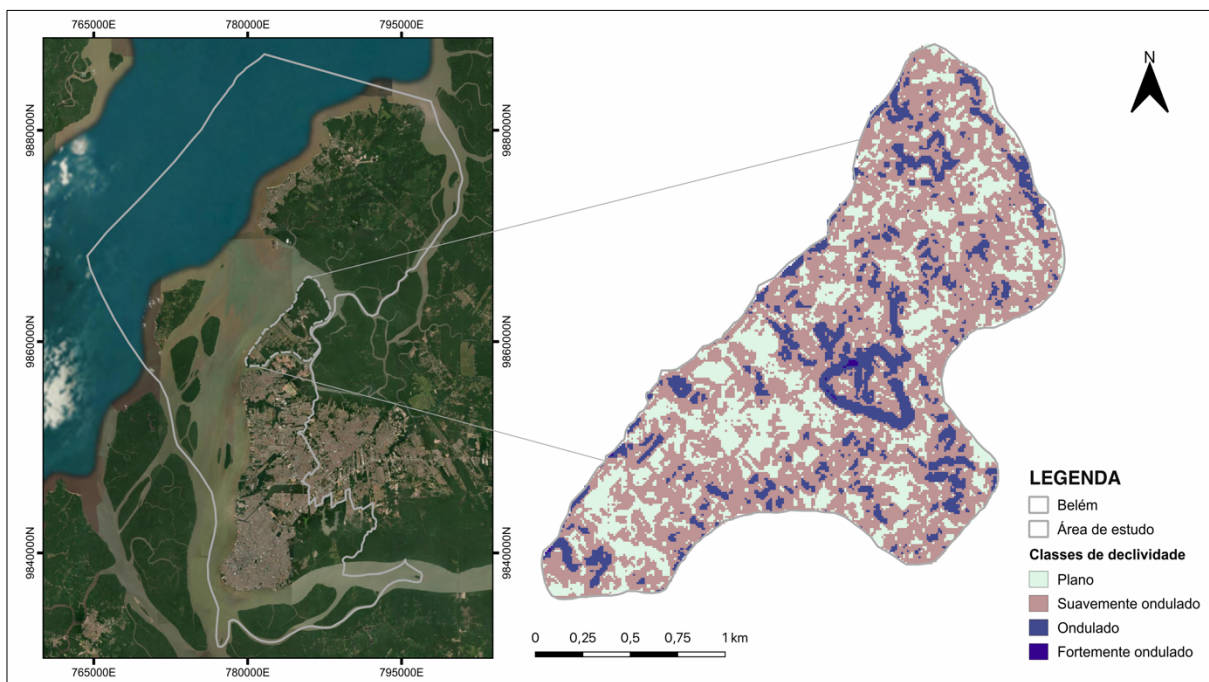
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Fatores de interferência

5.1.1. Declividade

O índice de declividade demonstrou um terreno com predominância suavemente ondulado e bastantes pontos ondulados próximos a baía (Figura 6), no entorno do distrito, permitindo inferir a facilidade do ambiente a processo erosivo, pois quanto mais ondulado, mais suscetível a degradação o terreno estará.

Figura 6 – Índice de declividade da Ilha de Caratateua.



Fonte: Autora.

Em áreas costeiras com terrenos planos, a energia das ondas e marés é distribuída de maneira mais uniforme, permitindo que a sedimentação ocorra de forma equilibrada. Entretanto, em regiões com declividades acentuadas, como falésias e encostas íngremes, a energia das ondas é concentrada, resultando em maior desgaste das bases dessas estruturas e potencializando deslizamentos e colapsos. A compreensão dessa dinâmica é essencial para o planejamento e a gestão sustentável das zonas costeiras (Santos *et al.*, 2020).

Outro fator chave a ser considerado é a intensa ocorrência de chuva que pode aumentar a suscetibilidade erosiva, pois a quebra de partículas pedológicas da superfície de uma área, também, é provocada devido ao impacto das gotas de chuva e pela força cisalhante do

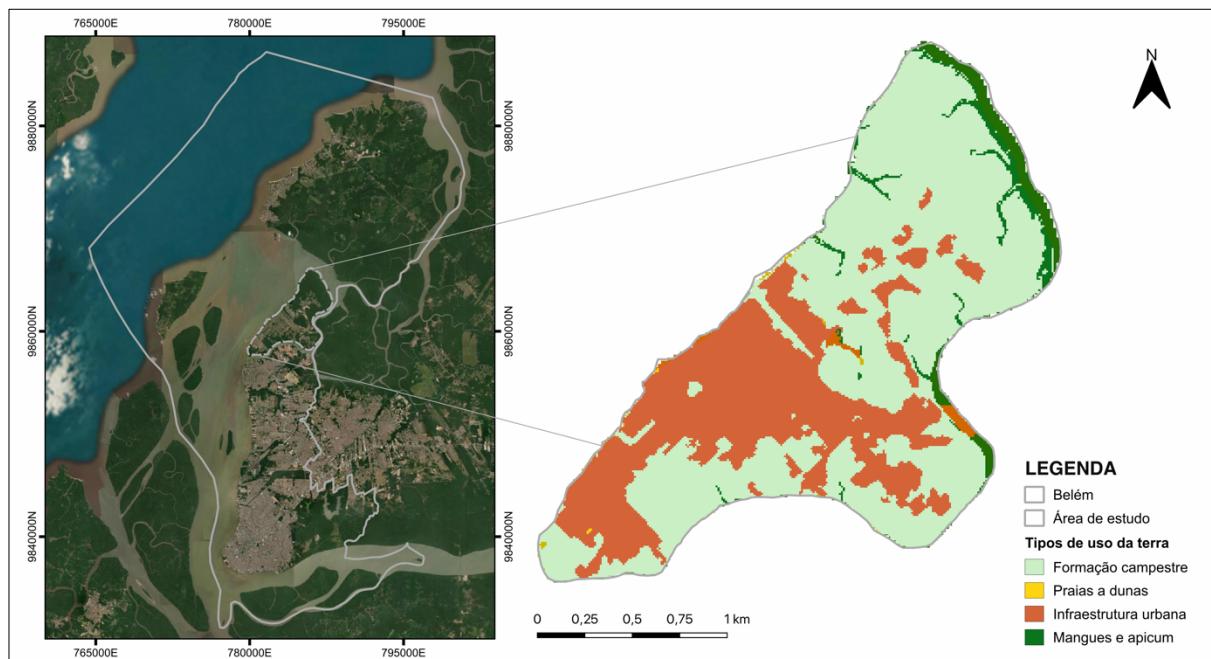
escoamento superficial (Amorim *et al.*, 2023). Esse fator é mais intenso em área com declividade ondulada, dado que tais características físicas viabilizam maior probabilidade de escoamento superficial – resultando em erosão ou até mesmo em deslizamentos (dependendo da quantidade de massa transportada).

Em síntese, a declividade do terreno é um fator determinante na dinâmica da erosão costeira. Terrenos com diferentes inclinações respondem de maneiras distintas às forças erosivas, exigindo abordagens específicas de manejo e conservação.

5.1.2. Uso e cobertura do solo

O índice do uso e ocupação do solo evidenciou considerável distribuição urbana próxima a baía, de modo a caracterizar uma zona com intensas atividades antrópicas e, consequentemente, influentes na qualidade da água e solo (Figura 7).

Figura 7 – Índice do uso e ocupação do solo na Ilha de Caratateua.



Fonte: Autora.

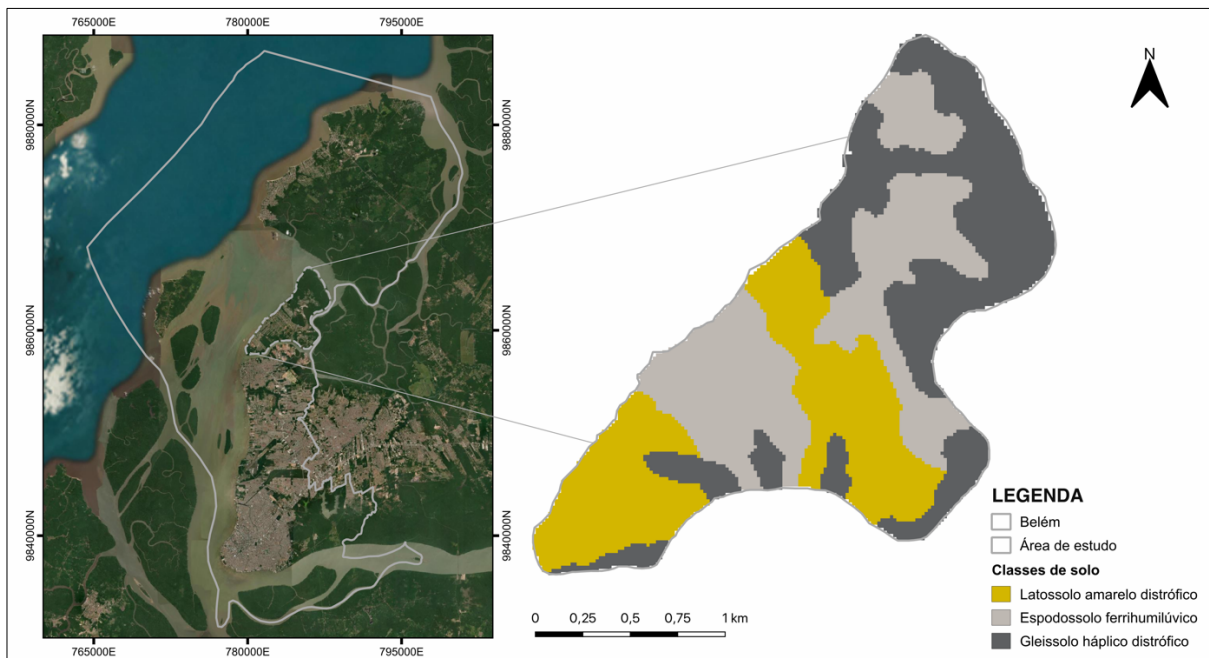
A urbanização desordenada, expansão de atividades turísticas e a remoção da vegetação nativa são fatores que contribuem, significativamente, para a intensificação dos processos erosivos nas zonas costeiras amazônicas. A compreensão desses impactos é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de gestão costeira que combinem desenvolvimento econômico e conservação ambiental.

As praias amazônicas, devido às suas características geológicas e hidrodinâmicas, são, particularmente, vulneráveis à erosão quando submetidas a intervenções humanas inadequadas. Aliado a isso, a falta de planejamento urbano nesses ambientes pode acelerar os processos erosivos, resultando em perda de território e impactos socioeconômicos negativos para as comunidades locais (Santos *et al.*, 2022).

5.1.3. Pedologia

O índice pedológico, Figura 8, confirmou a predominância de dois tipos de solo característicos de zonas costeiras e, periodicamente, alagadas: Espodossolo e Gleissolo háplico distrófico, classes potencialmente vulneráveis a erosão.

Figura 8 – Índice pedológico da Ilha de Caratateua.



Fonte: Autora.

Os Gleissolos e Espodossolos são classes de solos que influenciam de maneira distinta os processos erosivos, devido às suas características específicas. Os primeiros são solos minerais formados em condições de alagamento permanente ou temporário, o que resulta na formação de um horizonte glei com cores acinzentadas, indicando processos de redução de ferro. São comumente encontrados em terraços fluviais, planícies e várzeas, ambientes onde a saturação hídrica é predominante (Secretaria Estadual de Agricultura e Abastecimento do Paraná – SEAB, 2025).

A saturação hídrica dessa classe pode atuar como um fator de proteção contra a erosão superficial, uma vez que a presença constante de água limita a desagregação e o transporte de

partículas pelo escoamento superficial (Silva; Souza; Moreira, 2023). Contudo, ações humanas, como edificações e obras sem o correto manejo, podem alterar essa dinâmica, tornando o solo mais suscetível à erosão. Pesquisas evidenciam que a resistência à penetração nestes pode variar conforme o uso do solo, influenciando a estabilidade estrutural e a vulnerabilidade à erosão (Silva; Souza; Moreira, 2023).

Já os Espodossolos são caracterizados pelo acúmulo de matéria orgânica e alumínio no horizonte B espódico. São solos que, geralmente, se desenvolvem em condições de drenagem excessiva e são encontrados em áreas arenosas, como em tabuleiros costeiros (Embrapa, 2025). Devido à sua textura arenosa e baixa coesão, estes são mais propensos à erosão, especialmente quando a cobertura vegetal é removida, expondo o solo às forças erosivas do vento e da água (Embrapa, 2025).

Assim, os Gleissolos, considerando sua saturação hídrica, apresentam menor suscetibilidade à erosão superficial, quando não antropizados. Os Espodossolos, com sua textura arenosa e baixa coesão, são inevitavelmente mais vulneráveis. A gestão adequada de ambos é fundamental para prevenir a erosão e garantir a sustentabilidade dos sistemas que os detém.

5.1.4. Suscetibilidade erosiva

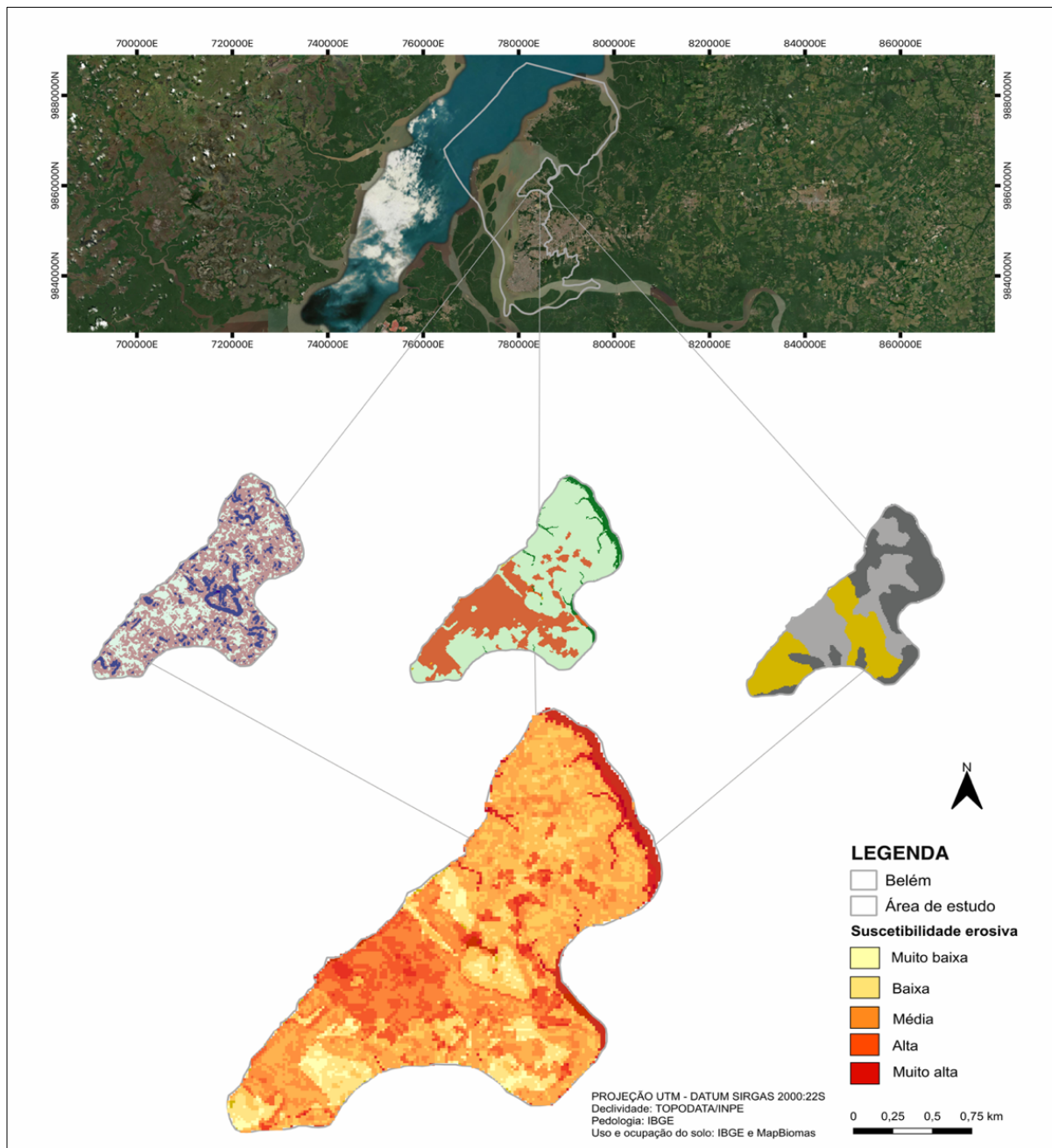
O índice de suscetibilidade evidenciou manchas de suscetibilidade Média e Alta em toda a infraestrutura urbana. Pontos de suscetibilidade “Muito alta” também foram notados em regiões estratégicas, isto é, próximos a baía e meio a malha urbana, o que denota a probabilidade da antropização como fator de vulnerabilidade. Os ecossistemas de Mangue e Apicum evidenciaram suscetibilidade Muito Alta (Figura 9).

Nota-se que a área de maior suscetibilidade erosiva está situada justamente onde há uso e ocupação do solo por infraestrutura urbana. Conforme já foi mencionado, diferente das edificações, cujas suas estabilidades de sustentação dependem de suas respectivas fundações e compactações do solo, as plantas efetuam o processo de amarração do solo, permitindo a agregação das partículas pedológicas. Nesse contexto, a vegetação é essencial na Ilha Caratateua, por se tratar de uma área costeira e de várzea, pois o desprendimento do solo torna-se mais recorrente devido a hidrodinâmica do furo Maguari e da ação de maré da Baía de Santo Antônio, considerando que as declividades mais onduladas se encontram próximas a esses corpos hídricos.

Naturalmente, a erosão, no decorrer da costa, pode acontecer em regiões significativamente comprometidas, tanto por processos morfológicos, geológicos ou

antropológicos, sejam estes processos bem definidos, podendo ser intensificados por quesitos pedológicos, de declividade, uso e ocupação do solo e vegetação. Ações antrópicas de infraestrutura, ocupação, lazer e tráfego, quando combinadas as morfológicas e geológicas, podem provocar um processo de saturação reversível ou irreversível aos recursos ecossistêmicos (Muehe, 2020).

Figura 9 – Índice de suscetibilidade erosiva na Ilha de Caratateua.



Fonte: Autora.

É notório, dentro da zona, um pouco de Gleissolo Háplico distrófico com suscetibilidade erosiva média e declividade suavemente ondulada. Essa classe de solo, junto aos solos de mangue, é altamente vulnerável a erosão, seja pela sua capa pedológica quanto pela organização espacial de drenos contínuos (perenes) (Embrapa, 2025).

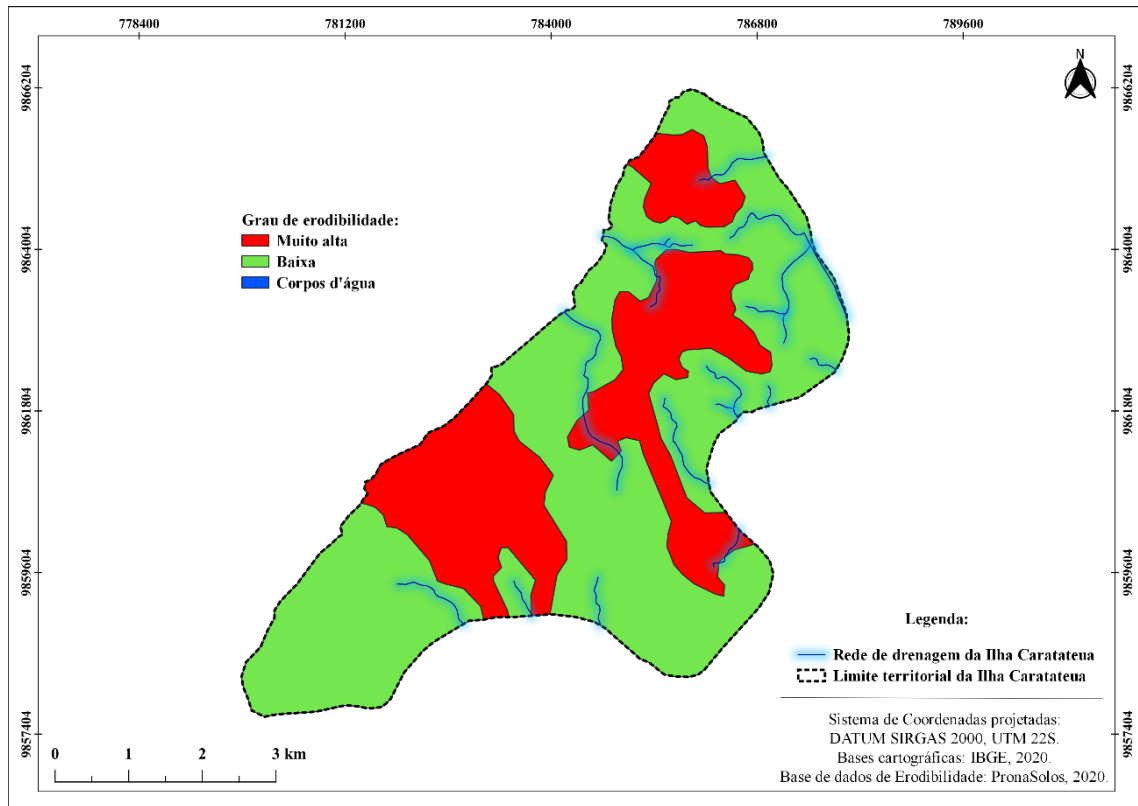
É importante salientar que o índice de suscetibilidade média e alta está evidenciado por toda a malha urbana. A maior mancha de suscetibilidade erosiva alta está no nordeste do distrito, porém, com ausência de ocupação urbana, mas com bioma de mangue e apicum, os quais são extremamente sensíveis à erosão, devendo integrar a Área de Proteção Ambiental – APA, uma vez que o tipo de vegetação desses biomas fixa o solo e inibe a erosão, harmonizando a linha da costa.

Os dados discutidos supracitados conferem informações precisas de um ambiente costeiro facilmente suscetível a erosão, podendo desenvolver uma cadeia de problemas aos recursos naturais e a qualidade de vida da população. A capacidade de suporte ambiental, isto é, o fator limite que um dado recurso tem para absorver determinada ação decidirá a reversibilidade ou irreversibilidade da problemática ao recurso.

3.1.5 Índice de suscetibilidade e erodibilidade no PRONASOLOS

A erodibilidade (Figura 9) demonstrou alto grau de congruência com a pedologia. Observa-se que onde há os maiores graus de erodibilidade, há maior presença do tipo de solo Espodossolo Ferrihumilúvico, mostrando que esse índice disponibilizado pelo PronaSolos está diretamente ligado a composição pedológica, seguido do uso e ocupação do solo, área (Figura 10) que também demonstrou relação comparativa com a erodibilidade. A existência dessa correlação se refere ao fato de que tal tipologia pedológica consiste em partículas desagregadas e com grande facilidade de retenção de água. Por conseguinte, o solo, com maior concentração de água, especialmente próximos as redes de drenagem, tendem a ser mais instáveis, podendo resultar em erosões.

Figura 10 – Grau de erodibilidade da Ilha de Caratateua, conforme a base de dados do Pronasolos.



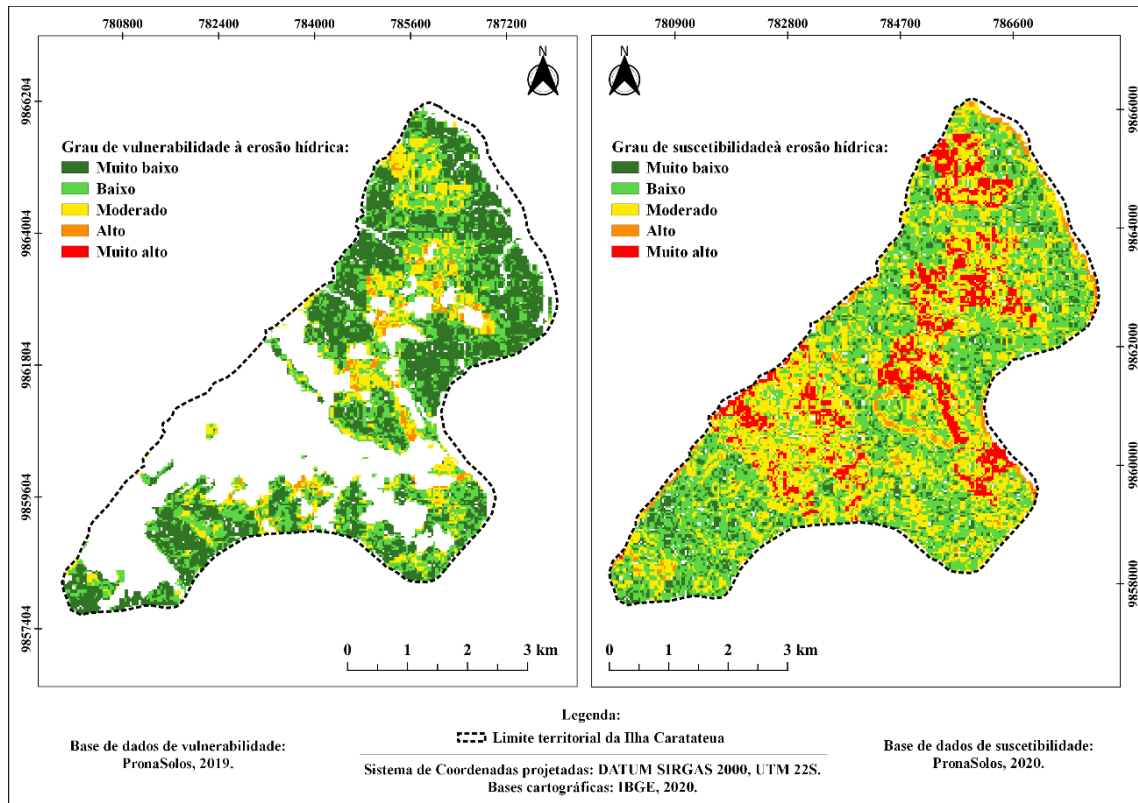
Fonte: Autora e ROCHA, Y., 2024.

No que tange a vulnerabilidade à erosão hídrica (Figura 10), observou-se maior correlação entre o uso e ocupação do solo em detrimento da modificação por interferência antrópica. Nota-se que há um grau que varia de baixo a alto nas adjacências dos espaços modificados pela ocupação urbana (Figura 6). Tal ocupação resulta em: retirada de vegetação, a qual efetua o processo de amarração do solo; edificações sem estudos geotécnicos adequados; solo exposto (quando há retirada de vegetação e o solo não é utilizado para construções e afins), apresentando maior risco de desagregação das partículas pedológicas pelo impacto das gotas de chuva e, por conseguinte, maior risco a erosão, especialmente nas declividades onduladas.

Nesse contexto, a suscetibilidade não difere em grandes proporções. De acordo com o PronaSolos, o maior grau de suscetibilidade (Figura 10) é observado onde há maior presença de Espodossolo Ferrihumilúvico, seguido do uso e ocupação do solo por infraestrutura urbana, devido as consequências mencionadas acima. Outro fator observado é que o grau de suscetibilidade, bem como de vulnerabilidade, é maior nas adjacências das redes de drenagem presentes na ilha (Figura 9), haja vista que os fatores primordiais de tal grau são as próprias condições naturais do ambiente.

Por outro lado, salienta-se que o grau de suscetibilidade do PronaSolos difere parcialmente do grau de suscetibilidade gerado neste trabalho. No presente trabalho, o maior grau foi notado nas áreas de uso e ocupação do solo, enquanto o do PronaSolos demonstrou maior correlação para com a composição pedológica.

Figura 11 – Grau de vulnerabilidade e suscetibilidade da Ilha de Caratateua conforme a base de dados do PronaSolos.



Fonte: Autora e ROCHA, Y., 2024.

6. CONCLUSÃO

A presente pesquisa analisou a suscetibilidade erosiva na Zona Costeira da Ilha de Caratateua, na Amazônia Oriental, considerando fatores como a declividade, uso e ocupação do solo e pedologia. Os resultados demonstraram que a ilha apresenta elevada vulnerabilidade à erosão, particularmente nas regiões urbanizadas e próximas à baía, onde há intensa interferência antrópica e solos naturalmente mais suscetíveis ao desgaste.

Os mapas temáticos gerados indicaram que a declividade exerce influência significativa na erosão costeira, uma vez que as áreas com maior inclinação apresentam maior escoamento superficial, favorecendo o transporte de sedimentos e a degradação do solo. A predominância de solos Espodossolos Ferrihumilúvicos e Gleissolos Háplicos Distróficos também se mostrou determinante na dinâmica erosiva, devido à baixa coesão e alta retenção de umidade dessas classes de solos.

A ocupação desordenada do solo foi identificada como um dos principais fatores agravantes no processo erosivo na ilha. A expansão urbana sem planejamento adequado, a remoção da vegetação nativa e a construção de infraestrutura em áreas de alta suscetibilidade contribuem diretamente para o aumento dos índices de erosão. O uso de SIG e da Análise Hierárquica de Processo (AHP) possibilitou a identificação de pontos críticos e a avaliação da vulnerabilidade do território.

O mapeamento gerado permitiu a classificação da ilha em diferentes graus de suscetibilidade erosiva, evidenciando que as regiões com maior densidade populacional e infraestruturas apresentam riscos elevados. Além disso, as áreas de mangue e apicum também foram destacadas como de alta vulnerabilidade, reforçando a necessidade de sua proteção para garantir a estabilidade ambiental da região.

A comparação dos dados obtidos com os disponibilizados pelo PronaSolos mostrou grande congruência, validando a metodologia utilizada e ressaltando a importância de dados integrados para a gestão e monitoramento da erosão costeira. No entanto, algumas diferenças foram observadas, especialmente na correlação entre os graus de suscetibilidade e o uso e ocupação do solo.

A gestão integrada da zona costeira deve envolver diferentes setores da sociedade, incluindo o poder público, as instituições acadêmicas e a população local. O engajamento da comunidade é essencial para garantir a implementação eficaz de políticas de preservação e recuperação ambiental.

Dada a importância da zona costeira da Ilha de Caratateua para a biodiversidade e para as populações locais, é imprescindível que as ações de gestão ambiental sejam embasadas em

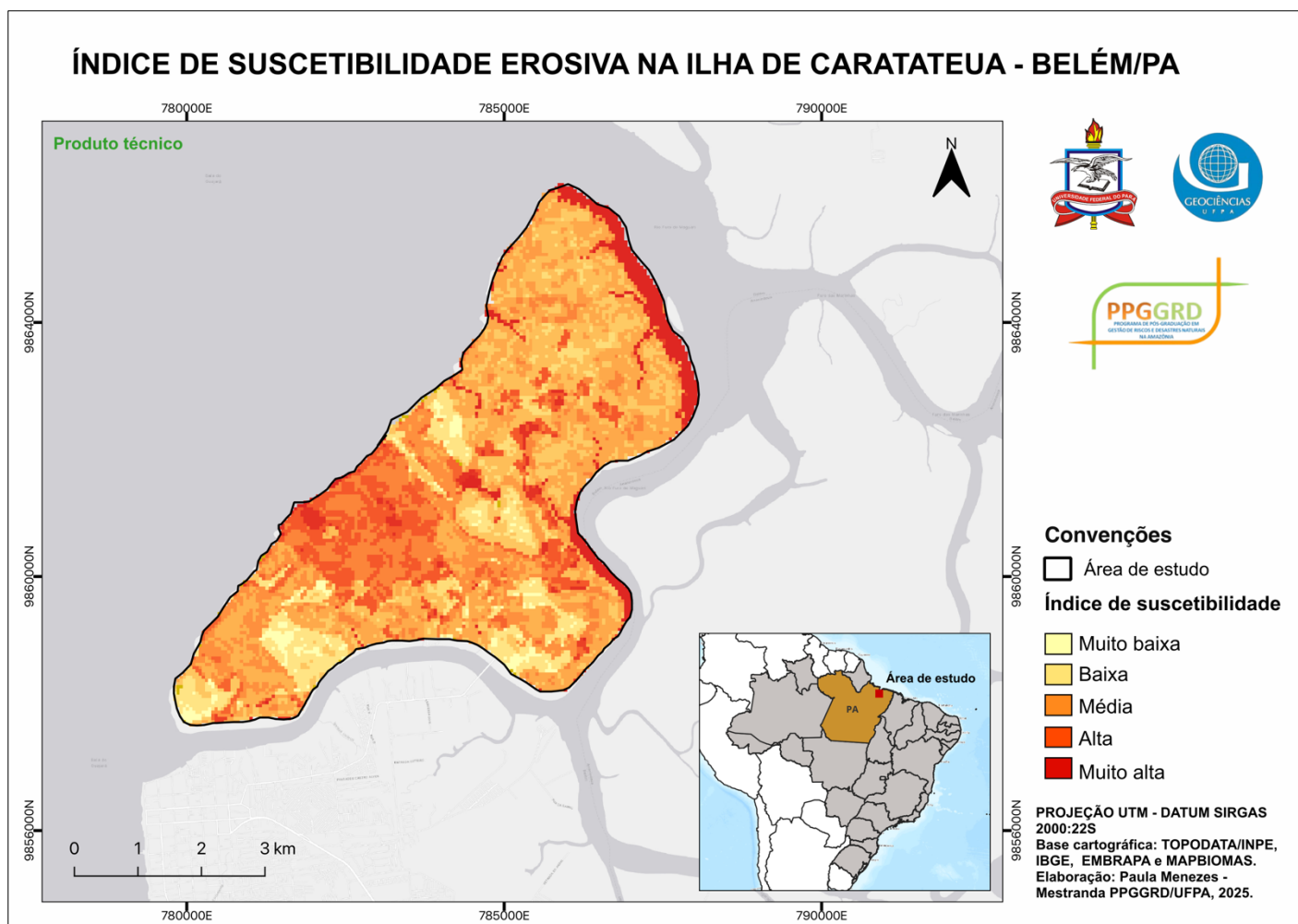
dados científicos. O uso de tecnologias como SIG e modelagem computacional devem ser ampliados para fornecer informações precisas e atualizadas sobre a dinâmica erosiva.

Dessa forma, este estudo contribui para a compreensão dos processos erosivos na Ilha de Caratateua e fornece subsídios para a formulação de estratégias de gestão costeira. A continuidade de pesquisas na área é essencial para aprimorar o conhecimento e desenvolver soluções cada vez mais eficazes para a preservação das zonas costeiras amazônicas.

7. PRODUTO TÉCNICO DA PESQUISA

O mapa temático (Figura 12), intitulado "Índice de Suscetibilidade Erosiva na Ilha de Caratateua - Belém/PA", destaca áreas com diferentes níveis de vulnerabilidade à erosão costeira. Este produto técnico é resultado de uma análise detalhada que combina dados espaciais e métodos avançados de geoprocessamento, sendo fundamental para a compreensão e o manejo dos processos erosivos que afetam essa região insular.

Figura 12 – Mapa temático como produto técnico para a Ilha de Caratateua.



Fonte: Autora.

A elaboração da carta utilizou dados cartográficos provenientes de fontes renomadas, como TOPODATA/INPE, IBGE, EMBRAPA e MAPBIOMAS, com projeção no sistema UTM – Datum SIRGAS 2000 zona 22S. A classificação da suscetibilidade erosiva foi dividida em cinco níveis: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. Esses índices são representados por uma graduação de cores que facilita a identificação visual das áreas mais críticas.

A Ilha de Caratateua, situada na zona costeira do estado do Pará, é uma área sensível aos impactos ambientais, especialmente devido à sua localização estratégica e à crescente

pressão antrópica. A urbanização desordenada, o uso inadequado do solo e a expansão de atividades econômicas contribuem significativamente para a intensificação dos processos erosivos, sobretudo em suas margens, onde os índices de suscetibilidade são mais elevados.

As áreas classificadas como de alta e muito alta suscetibilidade estão concentradas, principalmente, nas zonas periféricas da ilha, refletindo a influência da dinâmica costeira e da interação entre fatores naturais e humanos. Por outro lado, regiões com índices de vulnerabilidade média a baixa estão localizadas em áreas menos expostas, muitas vezes protegidas pela vegetação ou com características geológicas mais estáveis.

Os principais fatores que influenciam a suscetibilidade erosiva na Ilha de Caratateua incluem a declividade do terreno, a pedologia e as mudanças no uso e cobertura da terra. Terrenos suavemente ondulados, associados a Gleissolos e Espodossolos Ferrihumílicos, apresentam maior propensão ao desgaste do solo. Além disso, a substituição da vegetação natural por áreas urbanizadas ou agrícolas agrava os impactos da erosão.

Este mapa temático é uma ferramenta estratégica para o planejamento ambiental, oferecendo subsídios para gestores e tomadores de decisão na definição de políticas públicas e medidas de mitigação. Ele permite a priorização de ações em áreas críticas, como o controle da expansão urbana, a restauração de vegetação costeira e a implementação de práticas de uso sustentável do solo.

O produto, também, pode ser utilizado em ações educativas voltadas à comunidade local, conscientizando sobre os riscos da erosão e a importância da conservação ambiental. A participação ativa da população é essencial para o sucesso de qualquer estratégia de manejo sustentável, especialmente em regiões tão vulneráveis quanto a Ilha de Caratateua.

Embora o mapa seja um avanço no monitoramento dos processos erosivos, ele aponta para a necessidade de estudos contínuos que considerem fatores adicionais, como as mudanças climáticas e o aumento do nível do mar. Essas variáveis podem intensificar os impactos na região, exigindo abordagens adaptativas no planejamento costeiro.

Os desafios identificados incluem a falta de políticas integradas de gestão ambiental e a ausência de investimentos em tecnologias de monitoramento e recuperação ambiental. Para superar essas limitações, é essencial promover a cooperação entre instituições públicas, privadas e acadêmicas.

Em perspectiva, este produto técnico representa um marco na gestão ambiental da Ilha de Caratateua, evidenciando a relevância de mapas temáticos no enfrentamento de problemas ambientais complexos. Ele contribui, significativamente, para a construção de uma base sólida

de dados e estratégias que promovam o equilíbrio socioambiental em regiões costeiras vulneráveis.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, E. Silva de *et al.* Análise da viabilidade técnica-econômica das estruturas de contenção à erosão costeira. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 23, n. 2, p. 177-189, 2023.
- BARBOSA, E. J. *et al.* **Percursos geográficos: pesquisa e extensão no distrito de Outeiro, Belém - Pará (2008 - 2011): produção e apropriação da natureza na ilha de Caratateua, Belém (PA).** 1. ed. Belém: GAPTA/UFPA, 2012.
- BECKER, B. Redefinindo a Amazônia: o vetor tecno-ecológico. *In*: CASTRO, I. E.; GOMES, P. C. C.; CORRÊA, R. L. (org.). **Brasil: questões atuais da reorganização do território.** 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008, p. 223-244.
- BENTES, A. L. Dinâmica do uso do solo na Ilha de Caratateua, Belém, Pará. **Rev. Agroecossistemas**, v. 9, n. 2, p. 360-369, 2017.
- BOMBANA, B.; TURRA, A.; POLETTE, M. **Gestão de praia: do conceito à prática.** São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, 2020. 441 p.
- BULHÕES, E. Erosão costeira e soluções para a defesa do litoral. *In*: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F.M.; PINHEIRO, L. **Geografia marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos.** Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 655-688.
- CÂMARA, I. F.; HOLANDA, T. F.; COSTA, M. B. Erosão e gestão costeira em praias protegidas por recifes no litoral sul de Pernambuco. **Rev. Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 1, p. 1-23, 2023.
- CAVALCANTE, R. B. *et al.* Multicriteria approach to prioritize forest restoration areas for biodiversity conservation in the eastern Amazon. **Journal of Environmental Management**, v. 318, e 115590, 2022.
- ELKADEEM, M. R. *et al.* Sustainable siting and design optimization of hybrid renewable energy system: A geospatial multi-criteria analysis. **Applied Energy**, v. 295, e 117071, 2021.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Espodossolos humilúvicos: características e potencial de manejo.** [S.l.]: Agência de Informação Tecnológica. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/espodossolos/espodossolos-humiluvicos>. Acesso em: 21 jan. 2025.
- FERREIRA, A. M. *et al.* A influência das marés na erosão costeira na ilha do Mosqueiro, Belém, Pará. Periódicos UFPE, 2023.
- FERREIRA, M. C. **Geoprocessamento no planejamento urbano para identificação e mapeamento de pontos críticos de despejos irregulares de lixo domiciliar e resíduos sólidos, ilha de Caratateua, Outeiro.** 2022. 15f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnólogo em Geoprocessamento) – Universidade Federal do Pará, 2022.

FRANÇA, J. P.de; GUEDES, A. P. A percepção ambiental como ferramenta para a conservação das zonas costeiras no Brasil: uma revisão bibliográfica. **Ambiente & Educação: Rev. de Educação Ambiental**, v. 30, n. 1, p. 1-22, 2025.

GALLINA, V. *et al.* A multi-risk methodology for the assessment of climate change impacts in coastal zones. **Sustainability**, v. 12, n. 9, p. 3697, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e estados**. [S.l.: s.n.], 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE(IPCC). **Sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

KOMAR, P. D.; MOORE, J. R. **Handbook of coastal processes and erosion**. Florida: CRC Press. 1983. 316p.

LAINO, E.; IGLESIAS, G. Extreme climate change hazards and impacts on European coastal cities: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 184, p. 113587, 2023.

LIMA, P. M.; SOUZA, J. P. Impactos das mudanças climáticas na erosão costeira em Bragança, Pará. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE GEOGRAFIA, 2023, local. **Anais[...]**. Local: editora, 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Programa Nacional para Conservação da Linha de Costa - PROCOSTA**. Brasília - DF: MMA. Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Territorial, 2018.

MOURA, A. C. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em análise de multicritérios. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis, Brasil. **Anais[...]**. Florianópolis, Brasil.: [s.n.], 2007. p.2899-2906.

MOURA, A. G.; SILVA, E. F.da; ORLANDA, J. F. Dinâmica da expansão urbana na Ilha de Outeiro/PA. **Rev. Equador**, v. 12, n. 1, p. 54-70, 2023.

MUEHE, D. **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. Brasília,DF: MMA. 2006. 476p.

MUEHE, D. O Plano nacional de gerenciamento costeiro: evolução e desafios. **Rev. Brasileira de Geografia**, v. 45, n. 1, p. 33-48, 2018.

NAZARNIA, H. *et al.* A systematic review of civil and environmental infrastructures for coastal adaptation to sea level rise. **Civil Engineering Journal**, v. 6, n. 7, p. 1375-1399, 2020.

NOVAK, L. P.; LAMOUR, M. R. Avaliação do risco à erosão costeira em praias urbanizadas do Paraná. **Rev. Brasileira de Geomorfologia**, v. 22, n. 01, p. 163-185, jan./mar. 2021.

NEGRÃO, Y. SOUZA; SOUSA, H. C.de; RANIERI, L. A. Vulnerabilidade à erosão costeira em praias amazônicas e a ocupação populacional em áreas de riscos. **Rev. Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, n. 2, p. 1264-1284, 2022.

NOVAES, G.de O.; LOBO, F. C.de; RANIERI, L. A. Geoindicadores de vulnerabilidade à erosão e risco costeiro em praias estuarinas da costa amazônica. **Rev. Brasileira de Geomorfologia**, v. 25, n. 2, 2024. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v25i2.2461>.

OLIVEIRA, D. **Análise multicritério aplicada ao diagnóstico e adequação de estradas florestais**. 2023. 45 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2023.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. **Gleissolos do subplanalto Cascavel: características e potencial de uso**. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/PronasolosPR/Pagina/GLEISSOLOS-DO-SUBPLANALTO-CASCADEL-caracteristicas-e-potencial-de-uso>. Acesso em: 21 jan. 2025.

PEREIRA, A. *et al.* Mapeamento geoambiental e análise da vulnerabilidade à erosão na APA do Litoral Norte, município de Entre Rios, Bahia. **Rev. GeoNorte**, v. 15, n. 50, p. 281-302, 2024.

PEREIRA, C. **Avaliação de erodibilidade em um solo do bairro Pingo de Ouro, Guaratinguetá/SP**. 2022. 95f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade do Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo, 2022.

PINHEIRO, C. D; ROSA, A. G.; SOUSA, A. M. Análise dos impactos socioambientais na zona costeira do município de Salinópolis/PA. **DRd-Desenvolvimento Regional em debate**, v. 10, p. 222-244, 2020

RANGEL-BUITRAGO, N.; NEAL, W. J.; JONGE, V. N.de. Risk assessment as tool for coastal erosion management. **Ocean & Coastal Management**, v. 186, e 105099, 2020.

SANTOS, A. C. *et al.* Vulnerabilidade à erosão costeira em praias amazônicas e a influência antrópica. **Rev. Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, n. 2, p. 345-359, 2022.

SANTOS, A. R.; SILVA, L. P.; OLIVEIRA, J. S. Avaliação da suscetibilidade do solo à erosão nas zonas costeiras do nordeste brasileiro. **Rev. Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 3, p. 507-521, 2020.

SANTOS, F. H. **Avaliação multicritério em ambiente SIG para identificação de áreas de risco na bacia do São José dos Dourados – SP**. 2021. 71f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Pato Branco, 2021.

SANTOS, L. S.; SILVA JUNIOR, O. M.; SOUSA, T. G. Análise da dinâmica da cobertura vegetal urbana na ilha de Caratateua, distrito de Belém-PA, utilizando índice de vegetação por diferença normalizada para os anos de 1984 e 2008. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA*, 26., 2014, Gramado, RS. **Anais[...]** Gramado, RS: [s.n], 2014.

SANTOS, M. C. *et al.* Ocupações de manguezais: risco, vulnerabilidade e território usado na zona costeira paraense. **GeSec: Rev. de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 8, p.12554-12572, 2023.

SILVA, F. N. da; SILVA, R. T. da; ESPINDOLA JUNIOR, G. Uma análise multicritério para a qualificação das vias urbanas do município de Campo Grande-MS. **Geofronter**, v. 8, 2022. DOI: <https://doi.org/10.61389/geofronter.v8.7104>.

SILVA, A. F.; SOUZA, D. A.; MOREIRA, F. C. Resistência à penetração em gleissolos: variações conforme o uso da terra. **Rev. Geografia (UFSM)**, Santa Maria, v. 12, n. 4, p. 56-67, 2023.

SILVA, W. F. Identificação de medidas de mitigação à erosão costeira no município de Belém, Pará, Brasil. **BDTA - Biblioteca Digital de Trabalhos Acadêmicos da UFRA**, 2021.

TEIXEIRA, S.; BANDEIRA, I. Padrões diferenciados de recuo da linha de costa e sua correlação com processos erosivos e as áreas de risco à erosão costeira no estado do Pará. **Rev. Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, p.50-63, 2022.

VANZELA, L.; HERNADEZ, F.; FRANCO, R. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Rev. Bras. Eng. Agrícola Ambient.**, v. 14, n.1, 2010.

VASCONCELOS, A. F.; AMARAL, M. D. A produção do espaço urbano na Ilha de Caratateua, Belém-PA: conflitualidades, conjuntura habitacional e transformações recentes. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.2, p.19140-19159. 2021.

APÊNDICE A – ÍNDICE DE SUSCETIBILIDADE EROSIVA NA ILHA DE CARATATEUA – BELÉM/PA

