



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Análise da vulnerabilidade à erosão costeira na área urbana de São José da Coroa Grande, Litoral Sul de Pernambuco

¹Eduardo Paes Barreto, ²Maria das Neves Gregório, ³Marcia Cristina de Souza Matos, ⁴Carlos de Oliveira Bispo, ⁵Ítalo Rodrigo Paulino de Arruda

¹Doutor em Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Cidade Universitária - Av. Prof. Moraes Rego, 1235 -Cidade Universitária, Recife -PE, 50670-901; Docente do Mestrado profissional em Tecnologia Ambiental do Instituto de Tecnologia de Pernambuco/ITEP. Autor correspondente: eduardo.barreto@ufpe.br. ²Docente colaboradora do Programa de Pós-Graduação de Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação e Professora da Secretaria de Educação do Governo do Estado de Pernambuco. Av. Prof. Moraes Rego, 1235 -Cidade Universitária, Recife -PE, 50670-901. nevesgregorio@hotmail.com. ³Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Av. Domingos Ferreira, 1093 – Boa Viagem – Recife – PE - 51011-051. carmarciaibge@gmail.com. ⁴Doutor em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Cidade Universitária - Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife -PE, 50670-901; Professor Adjunto da Universidade Federal de Sergipe (UFS) no Departamento de Geografia de Itabaiana - DGEI. carlosbispo@academico.ufs.br. ⁵Doutor em Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Cidade Universitária - Av. Prof. Moraes Rego, 1235 -Cidade Universitária, Recife -PE, 50670-901. italo.arruda@ufpe.br.

Artigo recebido em 28/06/2024 e aceito em 25/02/2025.

RESUMO

A praia de São José da Coroa Grande, localizada no litoral sul de Pernambuco, tem experimentado um rápido crescimento urbano ao longo de sua orla, impulsionado pelas atividades turísticas intensas na região. O uso antrópico irregular, desprovido de planejamento e gerenciamento adequados, aliado à instalação de empreendimentos turísticos sobre a área de pós-praia, compromete a capacidade de transporte e deposição sedimentar do sistema praiar. Essa dinâmica interfere diretamente na morfodinâmica costeira, intensificando os processos erosivos ao longo do tempo. Nessa perspectiva, o presente estudo teve como objetivo avaliar quantitativamente o grau de vulnerabilidade à erosão do ambiente costeiro. A metodologia empregada considerou tanto as atividades antrópicas quanto as características naturais da praia. Foi realizado o mapeamento detalhado da orla, segmentando-a em células e atribuindo índices de vulnerabilidade classificados em alto, médio e baixo em setores pré-definidos. Os resultados demonstraram que as células B e D apresentaram alta susceptibilidade à erosão, evidenciada pela completa ocupação da pós-praia, onde as estruturas de proteção são predominantes. Já as células C e E indicaram um grau moderado de vulnerabilidade, com áreas de pós-praia relativamente desenvolvidas e tendência à progradação sedimentar. Por outro lado, a célula de análise A foi classificada com baixa vulnerabilidade, caracterizando-se por uma menor ocupação da orla. Assim, a identificação e a análise dos setores vulneráveis por meio dos índices propostos constituem-se como uma ferramenta estratégica para o gerenciamento costeiro da região, contribuindo para a elaboração de medidas mitigadoras e sustentáveis frente aos desafios impostos pela erosão costeira.

Palavras-chave: Gerenciamento costeiro; Impactos ambientais; Mudanças climáticas; Planejamento ambiental.

Analysis of vulnerability to coastal erosion in the urban area of São José da Coroa Grande, South Coast of Pernambuco

ABSTRACT

The beach of São José da Coroa Grande, located on the southern coast of Pernambuco, has been experiencing rapid urban growth along its shoreline, driven by intense tourism activities in the region. Irregular anthropogenic use, lacking adequate planning and management, combined with the establishment of tourist developments in the backshore area, compromises the sediment transport and deposition capacity of the beach system. This dynamic directly affects coastal morphodynamics, intensifying erosion processes over time. From this perspective, the present study aimed to quantitatively assess the degree of vulnerability to erosion in the coastal environment. The methodology considered both anthropogenic activities and the natural characteristics of the beach. A detailed mapping of the shoreline was conducted, segmenting it into cells and assigning vulnerability indices categorized as high, medium, and low within predefined sectors. The results showed that cells B and D exhibited high susceptibility to erosion, evidenced by the complete occupation of the backshore, where protective structures are predominant. In contrast, cells C and E demonstrated a moderate level of vulnerability, with relatively developed backshore areas and a tendency for sediment progradation. On

the other hand, analysis cell A was classified as having low vulnerability, characterized by less shoreline occupation. Thus, the identification and analysis of vulnerable sectors using the proposed indices constitute a strategic tool for coastal management in the region, contributing to the development of mitigating and sustainable measures to address the challenges posed by coastal erosion.

Keywords: Coastal management; Environmental impacts; Climate change; Environmental planning.

Introdução

A relação entre os seres humanos e o oceano, assim como a relação entre aqueles e as áreas litorâneas, é antiga e profunda. Com efeito, a maioria das regiões litorâneas, que são tipicamente áreas de baixa altitude, enfrenta uma vulnerabilidade significativa a ressacas, ciclones tropicais e inundações (Ariffin, 2023). Nesse contexto, essas ameaças representam grandes riscos para as áreas costeiras globalmente e a previsão é que esses riscos aumentem ao longo do século XXI, devido à elevação do nível do mar e à expansão do desenvolvimento humano nas planícies de inundação costeiras (Al Ruheili; Boluwade, 2023).

É válido ressaltar que as áreas costeiras, em todo o mundo, estão cada vez mais expostas a pressões induzidas pelo homem e a uma variedade de perigos naturais. As praias abarcam as características geomorfológicas costeiras mais vulneráveis. Pesquisas globais indicam que 24% das praias sofrem erosão, 28% passam por progradação e 48% mantêm condições relativamente estáveis (Mićunović; Faivre, 2023). De acordo com Cruz-Ramírez (2024), uns totais de 84% dos países ao redor do mundo possuem uma costa aberta e/ou mares interiores.

Nesse viés, estudos contemporâneos têm demonstrado que, até 2050, espera-se que a população global atinja 9,1 bilhões, com a maior parte dessa expansão ocorrendo em países emergentes e/ou em áreas em desenvolvimento. Outrossim, o rápido crescimento populacional pode comprometer o desenvolvimento humano, a provisão de serviços essenciais e a erradicação da pobreza, além de enfraquecer a capacidade das comunidades pobres de se adaptarem às mudanças climáticas (Thilakarathne et al., 2023).

Ademais, é importante destacar que a zona costeira deve ser uma prioridade nas políticas públicas, a fim de que haja uma melhor orientação no tocante às ações governamentais e à promoção do desenvolvimento sustentável nas discussões da ONU (Barrangán & Lazo, 2018). Dessa forma, o estudo do processo de gestão costeira é um instrumento essencial para aprimorar as políticas públicas, pois integra conhecimentos técnico-científicos às práticas adotadas, evitando decisões políticas baseadas em critérios atécnicos. Para realizar um estudo eficaz das áreas litorâneas, é necessário conhecer previamente os três principais subsistemas relacionados ao litoral: o Físico-

Natural, o Social e Econômico, e o Jurídico-Administrativo (Cissé et al., 2024).

Nessa perspectiva, Novaes et al. (2024) destacam que há uma interação complexa de variáveis socioeconômicas (subsistência, infraestrutura, segurança), geoambientais (morfologia e sedimentação praias), físicas (forçantes meteo-oceanográficas) e biológicas (diversidade de seres vivos) em praias antropizadas.

Nesses locais, o aumento do turismo e os processos de uso e ocupação da zona costeira, impulsionados por diversos fatores de desenvolvimento, resultam muitas vezes em impactos negativos significativos (às vezes irreparáveis) do ponto de vista ambiental, econômico, social e cultural para as próprias comunidades costeiras.

Há um crescente interesse no estudo da vulnerabilidade geomorfológica das praias localizadas no litoral pernambucano, especialmente nas áreas críticas afetadas pela erosão costeira, com o objetivo de fornecer embasamento aos gestores na tomada de decisões sobre esse tema (Barreto et al., 2015).

O contexto das mudanças climáticas aumenta os desafios inerentes relacionados à previsão das tendências de erosão costeira. De acordo com Frohlich et al. (2022), a adoção de uma abordagem de gestão costeira adaptativa permite que os gestores realizem um planejamento costeiro mais adequado, evitando tomar decisões em situações emergenciais, momento em que se ampliam os poderes discricionários previstos na legislação de gestão de desastres e emergências.

Neumann et al. (2017) destacam que os compromissos relacionados ao Objetivo 14 (Vida na Água) da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável da ONU reafirmam a prioridade atribuída pelos Estados ao ambiente costeiro. Não obstante, Thilakarathne et al. (2023) e Oliveira et al. (2024) observam que alcançar a sustentabilidade costeira é uma tarefa complexa devido à sensibilidade ambiental dessa região e à falta de consideração adequada por parte dos gestores no planejamento estratégico.

De acordo com Chalmoukis (2023), a vulnerabilidade costeira é geralmente definida como o potencial de uma praia ser danificada por fenômenos induzidos por tempestades. Brunel & Sabatier (2024) acentuam que a vulnerabilidade é

quantificada comparando-se a magnitude do impacto com a capacidade de adaptação da costa. Em outro viés metodológico, Dada et al. (2024) destacam que o impacto é estimado utilizando-se a intensidade dos processos induzidos pela tempestade, enquanto a capacidade da praia de lidar com os impactos considerados é derivada de sua geomorfologia (ou seja, inclinação, largura e altura da praia). Os impactos mais comuns induzidos por tempestades são a erosão e a inundação.

Em consonância com tais perspectivas, salienta-se que a definição e quantificação da vulnerabilidade costeira são fundamentais para identificar riscos e áreas prioritárias, direcionando estudos e ações de manejo (Barrios-Crespo et al., 2023). Trata-se de uma ferramenta analítica poderosa, capaz de descrever a suscetibilidade de sistemas físicos a danos e orientar ações para a redução de riscos (Adger, 2006). Contudo, seu conceito não é facilmente quantificado ou reduzido a uma única medida, pois envolve a identificação de diversas variáveis, a definição de algoritmos para sua integração, e a classificação e interpretação dos resultados (Chalazas et al., 2024).

Estudos sobre vulnerabilidade costeira têm sido realizados em várias partes do mundo, como por exemplo: Dal Cin & Simioni (1994), Diez et al. (2007), Rizzo et al. (2020), Somphong et al., (2020), Hastuti et al. (2022), Portz et al. (2023), Šimac et al. (2023), Alves et al. (2024), Cheewinsiriwat et al. (2024), Kang & Lee (2024), Lin e Singh (2024), Sulis et al. (2024), Turrizza et al. (2024), Tarigan et al. (2024), Verutes et al. (2024).

Podemos também fazer referência aos trabalhos produzidos a nível nacional, tais como: Aguiar & Ervatti (2020), Mazzucato et al. (2022), Machado & Albino (2023), Laino & Iglesias(2024), Silva et al. (2023a), Silva et al. (2023b), Chacanza et al. (2024) e Novaes et al. (2024).

Dos estudos realizados no litoral pernambucano sobre a temática de vulnerabilidade à erosão costeira, encontram-se: Mallmann & Araújo (2010), Silva et al. (2015), Barreto et al. (2015), Menezes et al. (2020), Holanda et al. (2020), Câmara et al. (2023), Cavalcanti et al. (2024), Oliveira et al. (2024) e Vieira et al. (2024).

O litoral de Pernambuco, com uma faixa costeira de aproximadamente 187 km de extensão, enfrenta graves problemas ambientais causados principalmente pela ocupação desordenada, que resulta no desequilíbrio do ambiente praial (Araújo et al., 2007). O principal problema está relacionado à erosão marinha progressiva, cujos efeitos são predominantemente sentidos no pós-praia. No

litoral sul de Pernambuco, os processos erosivos estão associados tanto às condições hidrodinâmicas quanto às ações antrópicas, especialmente à ocupação desordenada do sistema praial (Pitombeira & Romcy, 2023).

A área que abrange parte do município de São José da Coroa Grande, litoral sul de Pernambuco, e que compreende a praia de São José da Coroa Grande constitui uma importante área turística (turismo de sol e praia) e urbana, a qual se encontra em expansão urbana (nos últimos anos) e que tem sido alvo de outros interesses sociais, turísticos e políticos. Consequentemente, são encontrados inúmeros elementos que refletem este crescimento que vem ocorrendo de forma desordenada, tais como: construção de casas (de moradia fixa e uso sazonal), barracas, hotéis, lançamento de efluentes, má destinação dos resíduos sólidos, entre outros, sobre o ambiente praial. Nesse contexto, a avaliação do grau de vulnerabilidade à erosão costeira na orla de São José da Coroa Grande revela-se necessária, uma vez que agrega a finalidade de identificar pontos mais ou menos suscetíveis ao processo erosivo e à intensificação deste por agentes antrópicos.

Destarte, neste estudo, defende-se que a vulnerabilidade de uma zona costeira, especificamente de uma praia, pode ser determinada com base no deslocamento da linha de costa, bem como na estabilidade e nas características de uso da área. O conhecimento acerca da vulnerabilidade de um sistema dimensiona a intensidade com que um processo ou elemento sofre agressões de agentes de impacto, causando danos ambientais, sociais e econômicos. De modo geral, a vulnerabilidade pode estar associada ao grau de urbanização e de intervenções na zona costeira (Coutinho et al., 1999). A análise de vulnerabilidade torna conhecidas as áreas preferenciais para ocupação urbana, preservação, entre outros usos.

Assim, o presente trabalho tem por objetivo principal identificar e avaliar quantitativamente o grau de vulnerabilidade da praia de São José da Coroa Grande/PE, na qual o ambiente litorâneo está sujeito a grandes processos de erosão e vulnerabilidade que precisam constantemente ser analisados, identificados, mensurados, a fim de que propostas emergenciais sejam apresentadas, garantindo-se, assim, uma geodinâmica ambiental.

Material e métodos

De início, realizou-se uma vasta investigação bibliográfica por meio de trabalhos científicos disponibilizados no Google Acadêmico, em repositórios institucionais nacionais e em periódicos referentes à área temática. Também

forma utilizadas diferentes discussões envolvendo gerenciamento, vulnerabilidade e erosão costeira na realidade do litoral sul pernambucano.

Abordagem metodológica

Os procedimentos metodológicos adotados objetivaram alcançar uma melhor compreensão da vulnerabilidade física à erosão na praia de São José da Coroa Grande, localizada no litoral sul de Pernambuco. Esses procedimentos incluíram o levantamento de dados e informações, tanto em campo quanto em laboratório. A integração desses dados e informações se deu em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com a confecção de produtos cartográficos representativos, delimitação de áreas e caracterização das vulneráveis e dos processos erosivos.

Para a realização do presente estudo, foram realizados dois trabalhos de campo no mês de maio de 2023, com o objetivo de coletar informações sobre o atual estado geoambiental da praia. Considerando as características naturais da praia e as atividades antrópicas desenvolvidas na região, foi elaborado um inventário das feições naturais e da relação entre estas e as atividades ali desenvolvidas. Com base nessa análise, foram definidos graus de vulnerabilidade para a região estudada.

A compilação de dados secundários e a sistematização dos dados coletados em campo foram essenciais para garantir que a escolha das variáveis envolvidas estivesse alinhada com as

informações disponíveis. Além disso, essa escolha foi orientada por estudos preexistentes sobre os níveis de vulnerabilidade e os processos de erosão costeira das praias monitoradas.

Os níveis de vulnerabilidade e os processos de erosão costeira foram estabelecidos por meio da integração de estudos e análises desenvolvidos, aplicando-se a metodologia proposta por Sousa, et al. (2013). Também foram integradas as características particulares de ocupação, com base nas metodologias propostas por Dal Cin e Simeoni (1994), Projeto Orla (Brasil, 2006) e Mallmann & Araújo (2010).

Levando-se em consideração as características naturais da praia e as atividades antrópicas ali desenvolvidas, foram estabelecidos três graus de vulnerabilidade (Baixo, Moderado e Alto).

Assim, os graus de vulnerabilidade foram determinados em função dos seguintes parâmetros, de acordo com as interações humanas e as características naturais da praia estudada: I) ambiente praial (presença ou ausência de pós-praia); II) estruturas de proteção natural (presença ou ausência de recifes); III) desenvolvimento urbano (grau de ocupação); IV) estruturas artificiais de proteção (presença ou ausência e posicionamento). Para cada um dos parâmetros considerados, foram atribuídos classes e pesos apresentados no Quadro 1. Os pesos, por sua vez, aumentam de acordo com o impacto negativo da ausência ou presença dos elementos propostos (Figura 1).

Quadro 1- Parâmetros, classes, pesos e definições para a determinação dos graus de vulnerabilidade à erosão costeira

	PARÂMETROS	CLASSES	PESOS	DEFINIÇÕES
I	Ambiente Praial (pós-praia)	Ausente	3	Substituídas pela urbanização
		Presente	2	Conservadas e com pouca urbanização
		Presente	1	Bem conservadas, sem ocupação urbana
II	Estruturas de proteção natural	Ausente	1	Sem recifes
		Presente	0	Com recifes
III	Desenvolvimento Urbano	Baixo	1	Baixa concentração da área costeira ocupada
		Moderado	2	Média concentração da área costeira ocupada
		Alto	3	Alta concentração de ocupações da área costeira
IV	Estruturas Artificiais	Ausentes	0	Sem estruturas de proteção
		Presentes	1	Com estruturas de proteção

Fonte: Elaborado pelos autores.

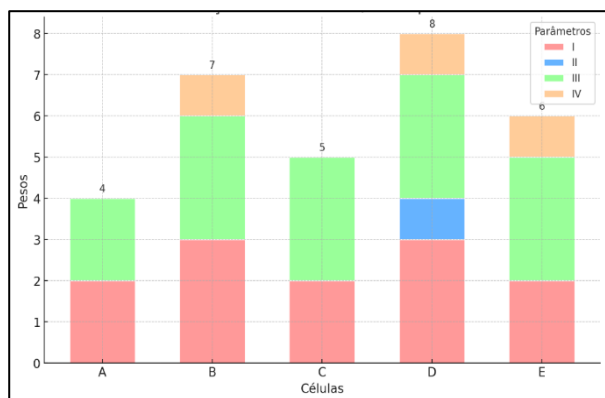


Figura 1: Distribuição dos parâmetros de análise por pesos e por célula na área de estudo.

Quadro 2 - Classificação quanto aos graus de Vulnerabilidade à Erosão Costeira e o respectivo significado ambiental de cada classe.

VULNERABILIDADE À EROSÃO COSTEIRA		SIGNIFICADO AMBIENTAL
Alta	Entre 7 e 8	Ausência de pós-praia e estirâncio reduzido; praia com tendência erosiva, além da presença de estruturas artificiais de proteção e de alta concentração de ocupação urbana.
Moderada	Entre 5 e 6	Praia com frágil estabilidade ou ligeira tendência erosiva; setores de pós-praia e estirâncio pouco desenvolvidos; presença de obras de contenção e média concentração urbana.
Baixa	Entre 0 e 4	Praia com tendência à progradação; pós-praia e estirâncio bem desenvolvidos; ausência de obras de contenção; desenvolvimento urbano incipiente.

Tabela 1 - Classificação da vulnerabilidade à erosão costeira por meio dos parâmetros e classes.

Células	Parâmetros/Pesos				Soma dos Pesos = Vulnerabilidade
	I	II	III	IV	
A	2	0	2	0	4
B	3	0	3	1	7
C	2	0	3	0	5
D	3	1	3	1	8
E	2	0	3	1	6

Área de estudo

A praia de São José da Coroa Grande é uma área de significativa importância turística e urbana, que atualmente em processo de expansão. Situa-se a uma distância de 123 km da capital Recife, na região da Zona da Mata Sul de Pernambuco, próximo à divisa com o Estado de Alagoas. (Figura 2).

A área de estudo é delimitada ao norte pelo Rio Una, onde se forma um pontal, e ao sul pelo Rio Persinunga, abrangendo uma extensão de aproximadamente 10 km de costa.

O município ao qual pertence é o menor do litoral sul de Pernambuco, com uma área total de 69 km². Possui a segunda maior densidade

populacional dessa região costeira, com 272,10 habitantes por km² (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2022).

Conforme a classificação climática de Köppen e Geiger (1936), o clima da região é tropical, com chuvas no inverno que se antecipam para o outono. As precipitações são, principalmente, decorrentes das áreas de instabilidade geradas pelo encontro entre a massa de ar Tropical Atlântica, a massa Polar Atlântica e as Ondas de Leste. A temperatura da região é moderada pela ação dos ventos alísios que predominam de sudeste (SE) e, secundariamente, de nordeste (NE). Durante o inverno, a influência do anticiclone polar provoca temperaturas médias mais baixas e maiores índices de precipitação (Costa et al., 2016; Wanderley; Nóbrega, 2022).

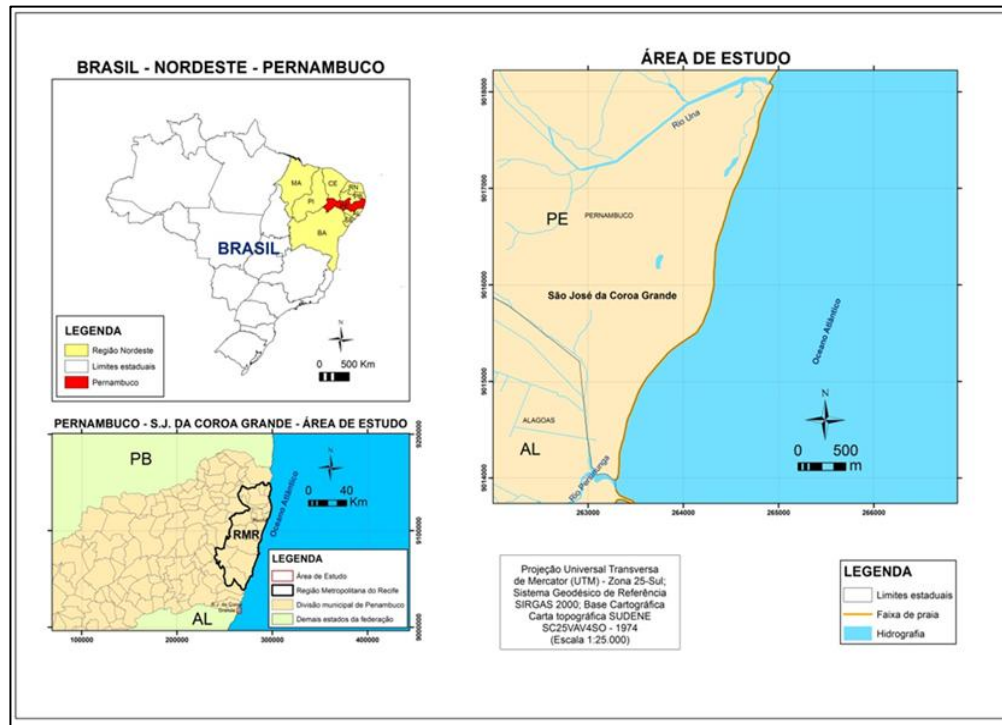


Figura 2: Mapa de localização da praia de São José da Coroa Grande.

Na área de estudo, as rochas de praia se apresentam de forma descontínua e, em alguns trechos da porção intermediária da orla, são caracterizadas como de mar aberto, encontrando-se na abertura desses trechos, local onde se observam as ondas com as maiores amplitudes na arrebentação.

Em relação aos aspectos oceanográficos, o regime de maré é de mesomaré, com características semidiurnas (Manso et al., 2018). O clima das ondas em oceano aberto é controlado principalmente pelos ventos alísios, sendo predominante a direção leste-sudeste. Durante o outono e o inverno, também ocorrem ondas provenientes do quadrante sul (Costa et al., 2016; Pereira et al., 2016).

As ondas observadas na arrebentação são do tipo deslizante e são características de praias do tipo dissipativa, conforme os estágios propostos por Wright & Short (1984). Na plataforma interna adjacente, há a ocorrência de recifes que acompanham a linha de costa de forma paralela, servindo como proteção natural ao sistema praiial. Segundo Sanderson e Eliot (1996), a refração e a difração de ondas sobre os recifes induzem a formação de saliências e embaixamentos ao longo da costa.

Conforme Barreto et al. (2015), que realizou um estudo sobre as ondas da praia de São José da Coroa Grande, utilizando-se de um banco de dados disponibilizado gratuitamente pelo CPTEC/INPE para o Porto de Suape (de agosto de Barreto, E. P., Gregório, M.N., Matos, M.C. S., Bispo, C. O., Arruda, I. R. P.

2010 a setembro de 2011), a altura significativa das ondas (H_s), neste período, foi, na maioria das vezes, superior a 1,7 m, com médias de 1,8 m no verão e 2,1 m no inverno. O período médio medido foi de 10,27 segundos, variando entre 7,9 s e 17,2 s. A altura média das ondas na arrebentação (H_b) foi de 1,67 m, variando entre 1,1 m e 2,0 m, com médias de 1,42 m no verão e 1,93 m no inverno.

Nas áreas protegidas pelos recifes, a linha de costa apresenta a formação de saliências, que se formam em zonas de sombra, onde há diminuição da energia da onda incidente, o que por sua vez favorece a sedimentação. O contrário ocorre nos embaixamentos, que estão relacionados a áreas com aberturas nos recifes, favorecendo, assim, um recuo da linha de costa em relação às saliências. Na área de estudo, as rochas de praia se apresentam de forma descontínua e, em alguns trechos, a exemplo da porção intermediária da orla, caracterizam-se por ser de mar aberto, encontrando-se na abertura deles, onde se observam ondas com as maiores amplitudes na arrebentação.

O município de São José da Coroa Grande está situado sobre a planície costeira que se formou durante o período Quaternário. Transgressões e regressões marinhas retrabalharam o Grupo Barreiras durante este período, (Bittencourt et al. 1983; Dominguez et al., 1990), formando os terraços marinhos arenosos, sendo os cordões holocênicos o produto da última Transgressão, quando o nível do mar atingiu 5m acima do nível atual, há aproximadamente 5.000 anos AP.

Em geral, as praias de São José da Coroa Grande são constituídas de sedimentos arenosos de granulação média a fina, apresentando um perfil com baixa declividade e uma berma pouco desenvolvida (Barreto et. al., 2015). Na plataforma interna adjacente, verifica-se a ocorrência de recifes que acompanham a linha de costa de forma paralela, servindo de proteção natural ao sistema costeiro.

Resultados e discussão

O mapa de vulnerabilidade à erosão costeira (Figura 3) apresentou dois setores com vulnerabilidade à erosão alta (B e D), dois setores moderados (C e E) e somente um baixo (A).

Por meio de correlações realizadas em um ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), assim como pelas observações feitas durante os trabalhos de campo, constatou-se que as áreas que apresentaram vulnerabilidade à erosão costeira baixa estão representadas pelo segmento “A”, o qual apresenta baixo grau de vulnerabilidade devido, principalmente, ao fato de a concentração urbana ainda não estar tão intensa em comparação aos trechos anteriores da orla. O perímetro também se encontrava protegido por estruturas naturais (*beachrocks*). Este setor fica próximo a uma fonte de sedimentos que mantém o equilíbrio do perfil praiar, resultando numa pós-praia mais ampla.

Já as áreas que apresentaram vulnerabilidade à erosão costeira moderada são representadas pelos segmentos referentes às imagens C e E. Constata-se que, apesar de terem sido classificadas com grau de vulnerabilidade mediano, estas áreas também possuem algumas peculiaridades.

O segmento C apresenta um trecho com pós-praia bem desenvolvida e, a princípio, com tendência à progradação. Trata-se ainda de um trecho protegido naturalmente por *beachrocks*. Todavia, as construções presentes na pós-praia e o lançamento de efluentes vêm favorecendo a perda de sedimentos.

No trecho que compreende a célula E, a pós-praia possui uma razoável faixa de areia, sobre a qual estão assentadas algumas casas de veraneio e hotéis. Percebeu-se o soterramento de alguns trechos e pontos de erosão chegando a uma rua de acesso à praia, que foi protegida por um enrocamento. Essa parte da orla fica próxima ao Rio Persinunga, uma importante fonte de sedimentos para a manutenção da praia e que apresenta uma das margens imobilizada, o que

pode facilitar a retenção de sedimentos para as praias adjacentes.

Por último, as áreas que apresentaram vulnerabilidade à erosão costeira em nível alto correspondem aos pontos mais críticos, representados pelos segmentos B e D. Tais áreas exibem algumas características particulares contrastantes.

No segmento "B" do mapa de vulnerabilidade, apesar do aumento da incidência de ondas, é evidente que a área estava em equilíbrio. No entanto, o avanço da ocupação sobre a pós-praia impediu a manutenção do transporte de sedimentos até o estirâncio, retirando, assim, a estabilidade do perfil praiar. Isso resultou na necessidade de construção de uma estrutura de contenção para evitar a erosão.

Já no segmento "D", são observadas várias estruturas de proteção costeira, como enrocamentos, juntamente com lançamentos de efluentes na pós-praia. As estruturas artificiais contidas na linha de costa da Praia de São José da Coroa Grande referem-se principalmente a calçadões de praia, muros de contenção (estruturas rígidas verticais ou quase verticais apoiadas em uma fundação sólida) e enrocamentos (estruturas maciças compostas por blocos de rocha compactados). Todas essas construções destroem as características geomorfológicas da praia, favorecendo o déficit sedimentar e, conseqüentemente, a erosão costeira.

Salienta-se que as áreas identificadas como D e B enfrentam uma ocupação intensa, especialmente em locais próximos à praia, o que aumenta consideravelmente a vulnerabilidade à erosão e ao risco costeiro. Essas construções reduzem a área disponível para a troca de sedimentos, interferindo na dinâmica morfológica da praia e reduzindo a permeabilidade do solo. As edificações próximas à linha costeira estão sujeitas a um risco que varia de moderado a alto, levando à degradação de propriedades e de estruturas públicas. Além dos prejuízos materiais, esses riscos incluem ameaças à vida, como deslizamentos de encostas e danos às residências.

Vale ressaltar que em todos os trechos estudados, mesmo os que apresentaram grau baixo e moderado de vulnerabilidade, é preocupante o prognóstico, tendo em vista que a deriva litorânea nesta região se dá de Sul para Norte (Pennetta et al., 2018). Assim, diante da construção de estruturas de proteção/contenção em determinados trechos, o processo erosivo poderá apenas migrar ou ser incorporado a praias adjacentes.

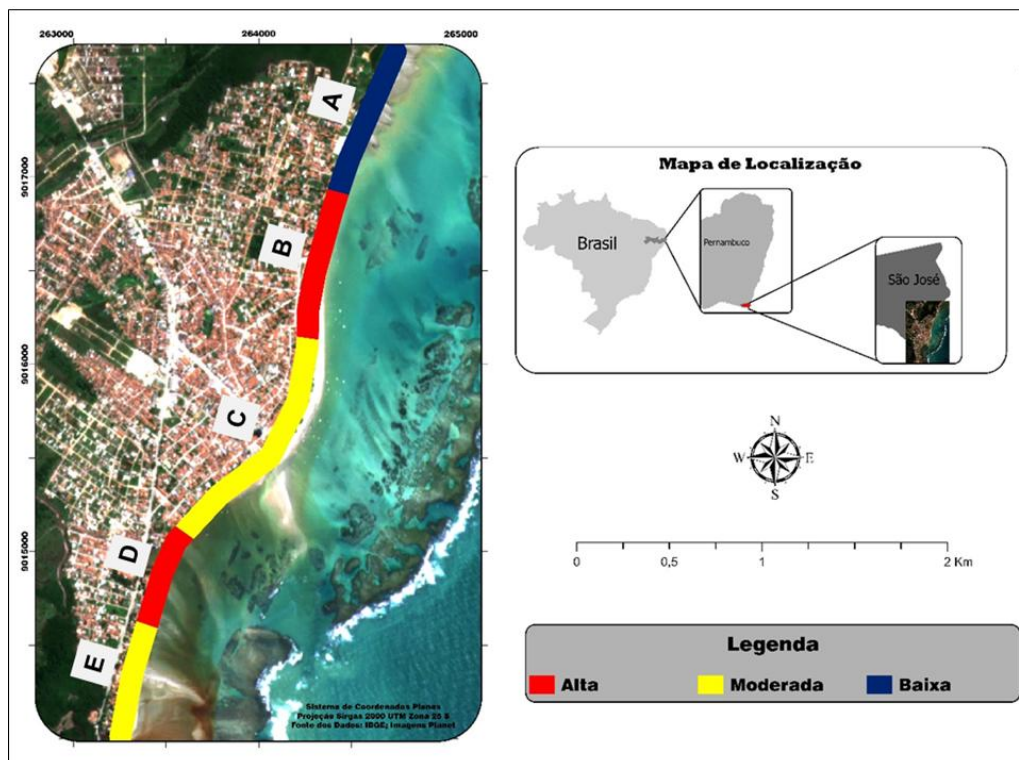


Figura 3: Mapa de vulnerabilidade a erosão costeira do município de São José da Coroa Grande - PE (divisão da orla por células indicando o grau de vulnerabilidade à erosão ao longo da costa).

De forma a corroborar os achados desta pesquisa, Martins et al. (2017) estudaram as praias arenosas de Pernambuco, situadas no Nordeste do Brasil. Na referida pesquisa, constatou-se que as áreas costeiras identificadas como altamente vulneráveis (Figura 4) eram caracterizadas por densidades populacionais elevadas, presença de edifícios altos, estreitamento do espaço costeiro e utilização de estruturas rígidas de engenharia. Por outro lado, as praias com menor vulnerabilidade geralmente exibiam baixas taxas de urbanização e apresentavam litorais bem conservados e resilientes. Destarte, o estudo ressaltou a importância de considerarmos cenários futuros, visto que há previsões de aumento da vulnerabilidade nessa região costeira devido ao aumento do nível do mar e às mudanças relativas à altura das ondas.

Nesse aspecto, Garcia-ayllon (2018), destaca que a urbanização é uma questão contemporânea de alcance global e que está crescendo rapidamente nos ambientes costeiros, causando repercussões nocivas e mudanças sem precedentes na cobertura do solo.

A transformação da paisagem costeira é um processo complexo e multifacetado, caracterizado pela transição de estados naturais para estados alterados, de viés antropogênico. Essa mudança provoca modificações significativas nas interações entre diversos componentes ambientais, resultando em alterações substanciais nos ecossistemas.

De acordo com Zhang e Ning (2024), a fragilidade da legislação específica, associada às condições deficientes de controle urbano, favoreceu uma exploração desordenada da área em análise. Nesse sentido, a participação da sociedade civil na tomada de decisões, assim como a destinação de ações efetivas de educação sustentável, é imprescindível para a preservação do ambiente costeiro.

Segundo Nicolodi et al. (2018), a complexidade do ambiente costeiro requer a compatibilização da conservação dos espaços naturais com a qualidade de vida da população, como forma de valorizá-lo sob os pontos de vista ambiental, econômico, social e cultural.

Em um estudo desenvolvido na zona costeira da cidade de Suez, no Egito, utilizando-se de técnicas de sensoriamento remoto e SIG, foi detectado que as mudanças no uso/cobertura da terra (LULC) são altamente imperativas para que os tomadores de decisão preparem e implementem projetos de desenvolvimento sustentável. No estudo supracitado, concluiu-se que a expansão urbana foi fortemente governada pelo crescimento populacional, enquanto as condições fisiográficas naturais restringiram a forma da cidade, o que resultou na supressão de características geomorfológicas do ambiente praias.



Figura 4: Análise da dinâmica costeira da Praia de São José da Coroa Grande-PE. Distribuição por Cédulas (C) de vulnerabilidade. CA1 a CA3- Erosão pós-praia com contenção contra o avanço do mar; CB1 a CB3- Contenção praiar moderada; CC1 a CC3- Intensificação da contenção do avanço do mar entre baixo a médio; CD1 a CD3- Contenção entre médio a alta; CE1 a CE3- Contenção aos processos erosivos entre baixo a médio.

De acordo com Mendoza et al. (2023), a perda da identidade morfológica e tipológica é resultado das ocupações e construções informais na região da orla, do aterramento dos manguezais, dos loteamentos com objetivos especulativos, bem como da obstrução do acesso à praia.

Nesse prisma, os resultados obtidos na área de estudo corroboram com a preocupante realidade global da erosão costeira. Conforme evidenciado, a erosão já afetou aproximadamente 24% das praias arenosas ao redor do mundo, sendo desencadeada por uma combinação de fatores antrópicos e naturais (Forgiarini et al. 2019).

Entre os fatores antrópicos, destacam-se a presença de estruturas rígidas na costa e a construção próxima à linha d'água, enquanto eventos erosivos de tempestade representam um exemplo de fator natural. Além disso, observa-se um aumento na frequência de episódios de elevação extrema do nível do mar, como os que ocorrem durante ressacas, desde 1970, conforme apontado pelo IPCC (2023).

Esses eventos, combinados com um aumento na intensidade da potência das ondas desde 1984, resultam em uma erosão costeira mais intensa e em problemas de inundação ao longo das costas de barreira. Tal situação compromete as características naturais de proteção das praias, como as dunas dianteiras, e coloca em risco a população que habita nas áreas costeiras.

Validação do mapa de vulnerabilidade

A orla do município é dividida em duas áreas: a área urbana ao sul e a área dos distritos de Várzea do Una e Abreu do Una ao norte. Na parte sul, encontra-se a sede municipal, onde há uma maior concentração urbana.

Evidencia-se nessa região uma tendência de processos erosivos, em razão de aterros e ocupações irregulares sobre o sistema praial (Figura 5).



Figura 5: Praia de São José da Coroa Grande-PE, agosto de 2023. A) Lançamento de efluentes na praia; B) Enrocamento construído à revelia; C) Estrutura de proteção feita de rolos de coqueiros; D) Quiosques construídos na pós-praia.

Fonte: Autores (2023).

Na zona da pós-praia, foi observado o lançamento de efluentes de origem mista, tanto da rede pluvial quanto da rede de esgoto. Os dejetos lançados formam ravinamentos no perfil praial, de forma que, em algumas áreas da orla, há exposição do lençol freático (voçorocas) (Figura 6).



Figura 6: Lançamento de efluentes na pós-praia. A) Ravinamento e; B) Voçorocas na pós-praia.

Fonte: Autores (2023).

Em marés de sizígia, o *swash* das ondas atinge regiões mais distais do perfil praial, chegando a porções que antes apresentavam cotas mais altas, como, no caso, a pós-praia.

Vale ressaltar que, em alguns trechos da praia, a pós-praia é vegetada (Figura 7). Por outro lado, em outros trechos, enrocamentos foram construídos sem que tenha sido levada em consideração a morfodinâmica do sistema praial.



Figura 7: Validação do regime pós-praia. No setor sul da praia de São José da Coroa Grande-PE, a pós-praia nativa é (A) pouco desenvolvida; (B) Estrutura de proteção; (C) contenção; (B-C); (D) barracas construídas na pós-praia.

Fonte: Autores (2023).

O mesmo processo observado na Figura 7 ocorre especialmente junto ao setor sul da praia, no qual é possível verificar que tais estruturas estão acelerando e intensificando o processo, já que a disposição e a granulometria do enrocamento podem não ter sido adequadamente escolhidas (Figura 8).

Como consequência, a obra realizada não cumpre seu papel de absorção de energia das ondas incidentes, gerando turbulência na base e favorecendo a retirada de um volume ainda maior do pacote sedimentar.



Figura 8: Estuário do Rio Persinunga com estrutura de contenção da margem.

Fonte: Autores (2023).

De acordo com Martins et al (2016), a erosão que ocorre no ambiente costeiro é decorrente de diversos tipos de alterações morfológicas provenientes da dinâmica entre os ambientes de caráter praias, as ondas, os ventos, as correntes, as variações relativas ao nível do mar, os processos antrópicos (estes, os mais atuais e pontuais), dentre outros tipos de processos.

Portanto, Câmara et al. (2023) definem a importância dos estudos relacionados a taxas erosivas anuais e da compreensão do padrão de ocupação aplicado à legislação vigente. Ambos os autores reforçam a importância da utilização dos documentos normativos vigentes para subsidiar uma boa gestão da zona costeira, que é a mais sujeita à dinâmica antrópica relativa.

Em geral, a praia de São José da Coroa Grande é constituída de sedimentos arenosos de granulagem média a fina, apresentando um perfil com baixa declividade e uma berma pouco desenvolvida.

As ondas observadas na arrebentação são do tipo deslizante. Estas características são de praias do tipo dissipativa, segundo os estágios propostos por Wright e Short (1984). Na plataforma interna adjacente, há ocorrência de

recifes que acompanham a linha de costa de forma paralela, servindo de proteção natural ao sistema praias.

Segundo Sanderson e Eliot (1996), a refração e difração de ondas sobre os recifes induz a formação de saliências e embaixamentos ao longo da costa. Nas áreas protegidas pelos recifes, a linha de costa apresenta a formação de saliências, as quais são formadas em zonas de sombra, quando há diminuição da energia da onda incidente, favorecendo a sedimentação.

O contrário ocorre nos embaixamentos, que estão relacionados às áreas onde há abertura nos recifes, o que favorece um recuo da linha de costa em relação aos embaixamentos (Figura 9).



Figura 9: Saliências e embaixamentos da linha de costa resultantes da difração e refração das ondas sobre os recifes.

Fonte: Google Earth (2023).

Conclusões

Ante o exposto, é notório que o estado de Pernambuco, especificamente as áreas litorâneas, contém ambientes com grande potencial de fragilidade ambiental e de vulnerabilidade aos processos erosivos relacionados à dinamicidade dos elementos abióticos predominantes. É válido reforçar que a ação antrópica nesse espaço geográfico ocorre de forma constante ao longo do tempo. Ressalta-se, por oportuno, que, nos últimos anos, foi crescente o aumento da expansão imobiliária somado ao turismo de sol e praia.

O mapa de vulnerabilidade evidenciou processos ambientais voltados às questões erosivas que ocorreram no ano de 2023. Percebeu-se que os arenitos de praia foram cruciais, de forma positiva, no processo de contenção da erosão local. No entanto, as áreas mais ocupadas apresentaram um regime entre médio a alto. Nesse ponto, destaca-se que a vulnerabilidade costeira está intrinsecamente ligada aos processos de uso e ocupação desses ambientes.

Ademais disso, a análise da vulnerabilidade à erosão costeira na orla urbanizada do município de São José da Coroa Grande, no litoral sul de Pernambuco, destaca uma situação alarmante, de modo que várias áreas da praia estão densamente

ocupadas com estruturas de contenção para minimizar os impactos das ondas.

Ao longo do estudo, revelou-se evidente a necessidade de que se promova uma fiscalização mais rigorosa por parte do poder público, uma vez que as normativas legais de construção estão sendo flagrantemente desrespeitadas.

Assim como em muitas praias do Nordeste do Brasil, observa-se uma ocupação irregular que inclui construções inadequadas no pós-praia, como casas de veraneio, hotéis e barracas. Essa ocupação desenfreada não apenas compromete o suprimento sedimentar, mas também culmina na degradação de partes da praia, gerando desconforto e danos às espécies locais.

É fundamental que o poder público exerça um controle mais efetivo sobre essas construções, realizando uma avaliação criteriosa antes da concretização das respectivas edificações e estabelecendo uma distância de segurança adequada entre estas e a zona de praia ativa.

Somente por meio de medidas proativas e de um planejamento adequado é que será possível mitigar os impactos negativos da ocupação desordenada e, dessa forma, garantir a preservação desse importante ecossistema costeiro para as presentes e futuras gerações.

Assim, sugere-se o desenvolvimento de mais pesquisas com o objetivo de avaliar os processos erosivos ao longo do tempo e de examinar como estes respondem aos impactos ambientais e às medidas de conservação. Assim, conclui-se que que a análise ambiental precisa ser constante e que, além disso, as medidas, os esforços e os projetos atinentes ao presente tema precisam ser desenvolvidos entre o poder público e o setor privado.

Agradecimentos

Agradecemos ao apoio logístico da Empresária Mônica Zeneide da Silva Rodrigues, proprietária do Costa Dourada VILLAGE, Maragogi - Alagoas.

Referências

- Adger, W. N., 2006. Vulnerability. *Global Environmental Change*, East Anglia, v.16, p. 268-281. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>.
- Aguiar, T. M. C. B., Ervatti, M., 2020. Vulnerabilidade costeira frente a mudanças climáticas e políticas públicas na cidade do Rio de Janeiro: estamos prontos? *Novos Cadernos NAEA*, v. 23, n. 2. DOI: <http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v23i2.7171>.
- Araújo, M. C. B., Souza, S. T., Chagas, A. C. O., Barbosa, S. C. T., & Costa, M. F. 2007. Análise da ocupação urbana das praias de Pernambuco, Brasil. *Ver. Gestão Costeira Integrada* 7(2): 97-104.
- Al Ruheili, A., & Boluwade, A. 2023. Towards quantifying the coastal vulnerability due to natural hazards using the InVEST coastal vulnerability model. *Water*, v. 15, n. 3, 380. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15030380>.
- Alves, F. L., Silva, C. P., & Pinto, P. 2024. The assessment of the coastal zone development at a regional level—the case study of Portugal central area. *Journal of Coastal Research*, v. 50, 72-76. DOI: <https://doi.org/10.2112/JCR-SI50-015.1>.
- Ariffin, E. H., Mathew, M. J., Roslee, A., & Ismailuddin, A., 2023. A multi-hazards coastal vulnerability index of the east coast of Peninsular Malaysia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 84, 103484. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103484>.
- Barragán, J. M., Lazo, Ó., 2018. Policy progress on ICZM in Peru. *Ocean & Coastal Management*, v. 157, 203-216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.03.003>.
- Barreto, E. P., Mallmann, D. L. B., Jimenez, J. A., Araújo, T. C. M., & Manso, V. A. V., 2015. Análise Crítica dos Estudos de Vulnerabilidade Geomorfológica a Agentes Diversos no Litoral de Pernambuco – Brasil. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 7(6), 1028–1043. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v7.6.p1028-1043>.
- Barrios-Crespo, E., Torres-Ortega, S., Díaz-Simal, P., 2023. Are We Underestimating the Risk of Coastal Flooding in Europe? The Relevance of Critical Infrastructure. *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 11, n. 11, 2146. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse11112146>.
- Bittencourt, A. C. S. P., Martin, L., Dominguez, J. M. L. & Ferreira, Y. A., 1983. Evolução paleogeográfica quaternária da costa do Estado de Sergipe e da costa sul do Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Geociências* 13, 93-97. DOI: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.19831329397>.
- Brasil. 2006. Ministério do Meio Ambiente; Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Projeto Orla: fundamentos para gestão integrada. Brasília: MMA.
- Brunel, C., Sabatier, F. 2024. Pocket beach vulnerability to sea-level rise. *Journal of Coastal Research*, v. 50, n. sp1, p. 604-609. DOI: <https://doi.org/10.2112/JCR-SI50-114.1>.

- Câmara, I. F., Holanda, T. F., Costa, M. B., 2023. Erosão e gestão costeira em praias protegidas por recifes no litoral sul de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 24, n. 1. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v24i1.2189>.
- Cavalcanti, E. R., Suassuna, C., Pedrosa, F., & Lima Filho, M., 2024. Áreas de morros da cidade do Recife (Pernambuco, Brasil): a importância da governança adaptativa diante dos riscos geológicos. *Territorium*, n. 31, 37-53. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_31-2_3.
- Chacanza, M. S., Almeida, N. M., Freire, G. S. S., Silva Neto, C. Â., Medeiros, M. E. M., Freires, E. V., & Silva, M. T., 2024. Coastal Vulnerability in the Stretch Between Beaches of Peroba and Redonda in the Municipality of Icapuí-Ceará, Brazil. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 10, n. 1, 414-425. DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2024v10n1ID31738>.
- Chalazas, T., Bove, G., Chatzistratis, D., Monioudi, I. N., & Velegrakis, A. F., 2024. A system for the management of sandy shorelines under climate change: United States Virgin Islands (USVI). *Ambio*, v. 53, n. 3, 406-420. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-023-01946-w>.
- Chalmoukis, I. A., 2023. Assessing Coastal Vulnerability to Storms: A Case Study on the Coast of Thrace, Greece. *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 11, n. 8, 1490. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse11081490>.
- Cheewinsiriwat, P., Langkulsen, U., Lertwattanamongkol, V., Poompongthai, W., Lambonmung, A., Chamchan, C., Boonmanunt, S., Nakhapakorn, K., & Moses, C., 2024. Assessing Coastal Vulnerability to Climate Change: A Case Study of Nakhon Si Thammarat and Krabi. *Social Sciences*, v. 13, n. 3, p. 142. DOI: <https://doi.org/10.3390/socsci13030142>.
- Cissé, C. O. T. et al. 2024. Derivation of Coastal Erosion Susceptibility and Socio-Economic Vulnerability Models for Sustainable Coastal Management in Senegal. *Sustainability*, v. 16, n. 17, p. 7422. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16177422>.
- Costa, M. B. S. F., Araújo, M., Araújo, T. C. M., & Siegle, E., 2016. Influence of reef geometry on wave attenuation on a Brazilian coral reef. *Geomorphology*, v. 253, 318-327. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.11.001>.
- Cruz-Ramírez, C. J., Chávez, V., Silva, R., Muñoz-Perez, J. J., & Rivera-Arriaga, E., 2024. Coastal Management: A Review of Key Elements for Vulnerability Assessment. *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 12, n. 3, 386. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse12030386>.
- Coutinho, P.N., Lima, A.T.O., Queiroz, C.M.; Freire, G.S.S., Almeida, L.E.S.B., Maia, L.P., Manso, V.A.V., Borba, A.L.S.; Martins, M.H.A., & Duarte, R.X., 1999. Estudo da erosão marinha nas praias de Piedade e de Candeias e no estuário de Barra de Jangadas. Município de Jaboatão dos Guararapes-PE. Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha-LGGM/UFPE. Relatório Técnico. 154p.
- Dada, O. A., Almar, R., & Morand, P., 2024. Coastal vulnerability assessment of the West African coast to flooding and erosion. *Scientific Reports*, v. 14, n. 1, 890. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-48612-5>.
- 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*, v. 10, p. 18-29.
- Diez, P. G., Perillo, G. M. E., Piccolo, M. C., 2007. Vulnerability to sea-level rise on the coast of the Buenos Aires Province. *Journal of Coastal Research*, West Palm Beach, Florida, v. 23, n. 1, 119-126. DOI: <https://doi.org/10.2112/04-0205.1>.
- Dominguez, J. M.; Bittencourt, A. C. S. P., Leão, Z. M. A. N. & Azevedo, A. E. G., 1990. Geologia do Quaternário costeiro do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geociências* 20, 208-215. DOI: <https://doi.org/10.5327/RBG.V20I1.330>.
- Forgiarini, A. P. P., Figueiredo, S. A. de, Calliari, L. J., Goulart, E. S., Marques, W., Trombetta, T. B., Oleinik, P. H., Guimarães, R. C., Arigony-Neto, J., & Salame, C. C., 2019. Quantifying the geomorphologic and urbanization influence on coastal retreat under sea level rise. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 230, p. 106437. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106437>.
- Frohlich, M., Smith, T. F., Fidelman, P., Baldwin, C., Jacobson, J., & Carter, R. W., 2022. Towards adaptive coastal management law: Lessons from Australia and Brazil. *Ocean & Coastal Management*, v. 219, 106057. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106057>.
- Garcia-Ayllon, S., 2018. Long-term GIS analysis of seaside impacts associated to infrastructures and urbanization and spatial correlation with coastal vulnerability in a mediterranean area. *Water*, v. 10, n. 11, p. 1642. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10111642>.

- Google (2023). Google Earth website. <http://earth.google.com/>.
- Hastuti, A. W., Nagai, M., & Suniada, K. I., 2022. Coastal Vulnerability Assessment of Bali Province, Indonesia Using Remote Sensing and GIS Approaches. *Remote Sensing*, v. 14, n. 17, p. 4409. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14174409>.
- 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 morphodynamic classification, variations and coastal processes of Paiva Beach, PE, Brazil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 21, n. 2. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v21i2.1796>.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). Censo Brasileiro de 2022. IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao> (Acesso em: 23 set. 2024).
- IPCC, (2023). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34. DOI: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>.
- Kang, S. W., & Lee, M. S., 2024. How just is the low-carbon transition in coastal areas? Development of a composite vulnerability index for coastal low-carbon transition. *Ecological Indicators*, v. 158, p. 111401. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111401>.
- Koppen, W., 1936. Das geographische system der klimat. *Handbuch der klimatologie*, 46
- Laino, E., Iglesias, G., 2024. Beyond coastal hazards: A comprehensive methodology for the assessment of climate-related hazards in European coastal cities. *Ocean & Coastal Management*, v. 257, p. 107343. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107343>.
- Lin, Z., & Singh, M., 2024. Assessing Coastal Vulnerability and Evaluating the Effectiveness of Natural Habitats in Enhancing Coastal Resilience: A Case Study in Shanghai, China. *Sustainability*, v. 16, n. 2, p. 609. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16020609>.
- Machado, G. M. V., & Albino, J., 2023. Avaliação conceitual e síntese de ferramentas metodológicas na determinação da sensibilidade à erosão e inundação costeira. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 43, p. e197486-e197486. DOI: <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2023.197486>.
- Mallmann, D. L. B., Araújo, T. C. M., 2010. Vulnerabilidade do Litoral Sul de Pernambuco à erosão. *Tropical Oceanography*, v. 38, n. 2, p. 129-151, 2010. DOI: <https://doi.org/10.5914/tropocean.v38i2.5167>.
- Manso, V. A. V., Coutinho, P. N., Pedrosa, F. J., Macedo, R. J., Silva, A. C.; Gois, L. A.; Barcellos, R. L., Arruda, S. D. D.; Soares Junior, C. F. A., Madruga Filho, J. D. Pernambuco. In: Muehe, D., 2018. *Panorama da erosão costeira no Brasil*. 1º Ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente - MMA, p. 345-379.
- Martins, K. A., Pereira, P. S., Silva-Casarín, R., & Nogueira Neto, A. V., 2017. The influence of climate change on coastal erosion vulnerability in northeast Brazil. *Coastal Engineering Journal*, v. 59, n. 2, p. DOI: <https://doi.org/10.1142/S0578563417400071>.
- Martins, K. A., Souza Pereira, P., Pereira Lino, A., & Mikosz Gonçalves, R. 2016. Determinação Da Erosão Costeira No Estado De Pernambuco Através De Geoindicadores. *Revista Brasileira De Geomorfologia*, 17(3). DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v17i3.854>.
- Mazzucato, E., De la Corte Bacci, D., Souza, C. R. G., 2022. Geomorphological heritage on the North Coast of the State of São Paulo: a perspective about current and past climate changes. *Geoheritage*, v. 14, n. 4, p. 121. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00756-y>.
- Mendoza, E. T., Salameh, E., Sakho, I., Turki, I., Almar, R., Ojeda, E., Deloffre, J., Frappart, F., & Laignel, B., 2023. Coastal flood vulnerability assessment, a satellite remote sensing and modeling approach. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 29, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100923>.
- Menezes, A. F., Pereira, P. S., Gonçalves, R. M., & Queiroz, H. A., 2020. O Uso de Geoindicadores para avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira na Praia do Forte Orange (Ilha de Itamaracá-PE, Brasil). *Anuario do Instituto de Geociencias*, v. 43, n. 3. DOI: https://doi.org/10.11137/2020_3_250_259.
- Mićunović, M., & Faivre, S., 2023. Toward the vulnerability assessment of the island of Hvar beaches Croatia, Central Adriatic. In: 8º Hrvatski geografski kongres-Geografski odgovori na izazove suvremenog svijeta u 21. stoljeću i 140 godina geografije na Sveučilištu u Zagrebu.

- Neumann, B., Ott, K., & Kenchington, R., 2017. Strong sustainability in coastal areas: a conceptual interpretation of SDG 14. *Sustainability science*, v. 12, 1019-1035. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0472>.
- Nicolodi, J. L., Asmus, M., Turra, A., & Polette, M., 2018. Avaliação dos Zoneamentos Ecológico-Econômicos Costeiros (ZEEC) do Brasil: proposta metodológica. *Desenvolvimento e meio ambiente*, v. 44, 378-404. DOI: <https://doi.org/10.5380/dma.v44i0.54865>.
- Novaes, G. de O., Lobo, F. C., & Ranieri, L. A., 2024. Geoindicadores de vulnerabilidade à erosão e risco costeiro em praias estuarinas da costa amazônica. *Revista Brasileira De Geomorfologia*, 25(2). DOI: <https://doi.org/10.20502/rbgeomorfologia.v25i2.2461>.
- Oliveira, F. S.B.F., Fortunato, A. B., & Freire, P., 2024. Beach Nourishment Protection against Storms for Contrasting Backshore Typologies. *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 12, n. 9, 1465. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse12091465>.
- Pennetta, M., Corbelli, V., Gattullo, V., & Nappi, R., 2018. Beach vulnerability assessment of a protected area of the Northern Campania coast (Southern Italy). *Journal of Coastal Conservation*, v. 22, p. 1017-1029. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11852-017-0572-y>.
- Pereira, S. P., Araújo, T. C. M., Manso, V. A. V. Tropical Sandy Beaches of Pernambuco State. In: Short, D. A.; Klein, A. H. F., 2016. *Brazilian Beach System*. 1º Ed. Switzerland: Coastal Research Library, 2016. p. 251-279.
- Pitombeira, S. C., Romcy, C. M. A., 2023. Ocupação do território em áreas costeiras: proposta de gestão e ordenamento de zona costeira-uma oportunidade para o planejamento urbano. *Revista de Direito da Cidade*, v. 15, n. 3. DOI: <https://doi.org/10.12957/rdc.2023.65109>.
- Portz, L. C., Pérez Torres, Y. S., & Manzolli, R. P., 2023. Coast Change: Understanding Sensitivity to Beach Loss for Coastal Tourism in the Colombian Caribbean. *Sustainability*, v. 15, n. 18, 13903. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151813903>.
- Rizzo, A., Vandelli, V., Buhagiar, G., Micallef, A. S., & Soldati, M., 2020. Coastal vulnerability assessment along the north-eastern sector of Gozo Island (Malta, Mediterranean Sea). *Water*, v. 12, n. 5, 1405. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12051405>.
- Sanderson, P. G. & Eliot, I., 1996. Shoreline salients, cusped forelands and tombolos on the coast of Western Australia. *Journal of Coastal Research*, 12, 761-773. DOI: <http://www.jstor.org/stable/4298522>.
- Silva, E. R. M., Mallmann, D. L. B., Pereira, P. S., 2015. Análise da estabilidade da Praia do Janga (Paulista, PE, Brasil) utilizando ferramenta computacional. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 15, n. 1, 109-120. DOI: <https://doi.org/10.5894/rgci492>.
- Silva, P. F., Silva, V. A., Tolentino, G. M., Baitz, E. F., Reis, C. H., & Lisboa, G. S., 2023a. Caracterização física e suscetibilidade aos processos erosivos do município de Ilhéus-Bahia: Physical characterization and susceptibility to erosive processes in the municipality of Ilhéus-Bahia. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 9, n. 1, 105-129. DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2023v9n1ID31523>.
- Silva, L. R. J., Amaro, V. E., Scudeleri, A. C., & Pinheiro, L. R. S. G., 2023b. Mapa de Risco à Erosão Costeira e Movimentos Gravitacionais de Massa no Litoral Oriental do Nordeste do Brasil: Estudo de Caso na Praia de Pipa/RN. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 24, n. 2, 1-19. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v24i2.2281>.
- Šimac, Z., Lončar, N., & Faivre, S., 2023. Overview of coastal vulnerability indices with reference to physical characteristics of the Croatian Coast of Istria. *Hydrology*, v. 10, n. 1, DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology10010014>.
- Somphong, C., Udo, K., Ritphring, S., & Shirakawa, H., 2020. Beach nourishment as an adaptation to future sandy beach loss owing to sea-level rise in Thailand. *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 8, n. 9, p. 659. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse8090659>.
- Sousa, P. H.G.O., Siegle, E.; Tessler, M. G., 2013. Vulnerability assessment of Massaguaçu beach (SE Brazil). *Ocean & coastal management*, v. 77, 24-30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.03.003>.
- Sulis, A., Serreli, S., & Carboni, A. 2024. A coupled approach for planning in vulnerable coastal landscapes. *Environmental Modelling & Software*, v. 172, p. 105906. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105906>.
- Tarigan, T. A., Fauzi, M. A. R., Wishu, U. J., & Martin, Y., 2024. Assessment of coastal vulnerability index (CVI) and its application along the Labuhan Maringgai coast, east Lampung Indonesia. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, p. 012025. DOI

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1298/1/012025>.

- Thilakarathne, S., Suzuki, T., & Mäll, M., 2023. Applying Artificial Neural Networks for Predicting Beach Vulnerability to Storm-Induced Erosion. *Journal of JSCE*, v. 11, n. 2, 2. DOI: <https://doi.org/10.2208/journalofjsce.23-18101>.
- Turriza, R. A. C., Fernández-Díaz, V. Z., Rojas, D. M. C., & Tzuc, O. M., 2024. Coastal vulnerability assessment with a hierarchical coastal segments approach. *Ocean & Coastal Management*, v. 249, p. 106989. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106989>.
- Verutes, G. M., Yang, P. F., Eastman, S. F., Doughty, C. L., Adgie, T. E., Dietz, K., Dix, N. G., Guannel, G., & Chapman, S. K., 2024. Using vulnerability assessment to characterize coastal protection benefits provided by estuarine habitats of a dynamic intracoastal waterway. *PeerJ*, v. 12, p. e16738. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.16738>.
- Vieira, A. F. F., Melo, J. H. S. de, Silva, O. G. da, Silva, W. F. da, & Lira, D. R., 2024. Identificação do risco geomorfológico de erosão costeira em praias do litoral leste da Ilha de Itamaracá-PE. *Revista Contexto Geográfico*, v. 9, n. 18, 41-56. DOI: <https://doi.org/10.28998/contegeo.9i.18.16837>.
- Wanderley, L. S. A., Nóbrega, R. S., 2022. Desenvolvimento de um sistema de classificação climática com base na metodologia dos tipos sinóticos de tempo para a Região Nordeste do Brasil. *GEOUSP Espaço e Tempo (Online)*, São Paulo, Brasil, v. 26, n. 1, p. e-175243. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2022.175243>.
- Wright, L. D. & Short, A. D. (1984). Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, 56(1-4), 93-118. DOI: [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(84\)90008-2](https://doi.org/10.1016/0025-3227(84)90008-2).
- Zhang, X., Ning, J., 2024. Land use change in coastal zones of China from 1985 to 2020. *Frontiers in Marine Science*, v. 11, p. 1323032. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15040981>.