



Revista Brasileira de Geografia Física

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



Evolução da Linha de Costa em Vila Tradicional da Amazônia: Jubim, Ilha do Marajó, Pará

Fabício de Sousa Figueiredo¹, Leilanne Almeida Ranieri²

¹Universidade Federal do Pará/ Programa de Pós-graduação em Oceanografia. Belém, Brasil. e-mail: fabicio.figueiredo2201@gmail.com ORCID: 0009-0002-7984-8890. ²Universidade Federal do Pará/ Instituto de Geociências. Belém, Brasil, e-mail: laranieri@ufpa.br ORCID: 0000-0002-9870-4879.

Artigo recebido em 20/12/2024 e aceito em 12/03/2025

RESUMO

A linha de costa (LC), que delimita o contato entre oceano e continente, é um marcador essencial para entender a dinâmica dos ambientes costeiros, refletindo a influência de processos naturais, como ondas, marés correntes, ventos, tempestades; e de ações antrópicas, como ocupação humana e obras costeiras. A análise multiespectral e multitemporal da LC permite identificar tendências erosivas e deposicionais, essenciais para a gestão da zona costeira. Na ilha do Marajó, especificamente na comunidade costeira de Jubim, município de Salvaterra, os processos naturais estuarinos predominam na modificação da LC. Dessa maneira, realizou-se uma avaliação multitemporal (33 anos) da variação da LC nesta comunidade tradicional através do uso de imagens de satélite Landsat e da ferramenta *Digital Shoreline Analysis System*. A área de estudo foi limitada em três setores (Norte: praia do Salazar, Central: praia das Meninas e Sul: praias da Baleia e do Curuanã). De 1990 a 2023, o recuo médio linear obtido para toda área de estudo foi de -35,24 m, enquanto o avanço médio linear foi de 15,10 m, indicando o predomínio da erosão costeira. As taxas mais elevadas de variação foram registradas entre os anos de 1990 e 2002. As áreas afetadas por processos erosivos se concentraram principalmente no Setor Norte, área de menor gradiente topográfico, cujo recuo da vegetação de manguezal na LC e a sobreposição da praia do Salazar sobre esse ecossistema é observado. Em contrapartida, os setores Central e Sul demonstraram melhor estabilidade, devido as falésias na LC, que permitem menor avanço da erosão costeira.

Palavras-Chave: Análise Multitemporal, Erosão Costeira, Praia Estuarina, Geoprocessamento.

Shoreline Evolution in a Traditional Village of the Amazon: Jubim, Marajó Island, Pará

ABSTRACT

The shoreline, which marks the boundary between the ocean and the continent, is an essential indicator for understanding coastal dynamics, reflecting the influence of natural processes such as waves, tides, currents, winds, and storms, as well as anthropogenic activities like human occupation and coastal structures. Multispectral and multitemporal analysis of the shoreline allows for the identification of erosional and depositional trends, which are crucial for coastal zone management. On Marajó Island, specifically in the coastal community of Jubim, located in the municipality of Salvaterra, estuarine natural processes predominantly drive changes in the shoreline. A multitemporal assessment (33 years) of shoreline variation in this traditional community was conducted using Landsat satellite images and the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) tool. The study area was divided into three sectors (North: Salazar Beach, Central: Meninas Beach, and South: Baleia and Curuanã Beaches). From 1990 to 2023, the average linear retreat for the entire study area was -35.24 m, while the average linear advance was 15.10 m, indicating a predominance of coastal erosion. The highest rates of variation were recorded between 1990 and 2002. Erosional processes were mainly concentrated in the North Sector, an area with a lower topographic gradient, where mangrove vegetation retreat along the LC and the overlapping of Salazar Beach onto this ecosystem were observed. In contrast, the Central and South Sectors demonstrated greater stability, attributed to cliffs along the LC, which reduce the extent of coastal erosion.

Keywords: Multitemporal Analysis, Coastal Erosion, Estuarine Beach, Geoprocessing.

Introdução

A Zona Costeira (ZC) é classificada como um espaço geográfico delimitado pela interação entre oceano e o continente, que está sob efeitos dos processos físicos marítimos, continentais e atmosféricos (Souza e Andrade, 2024), engloba diferentes ecossistemas e unidades geomorfológicas, além de seus recursos renováveis ou não (Brasil, 1988). A linha de contato oceano-continente, é definida como Linha de Costa (LC), onde ocorre o alcance máximo da maré. Há diversos critérios que definem a posição da LC, como a faixa de contato água/continente, linha de vegetação litorânea e a linha de deixa (Moore, 2000).

Sua posição, que varia tanto no espaço quanto no tempo, faz da LC um importante indicador geomorfológico da dinâmica no ambiente costeiro (Ding et al., 2019), devido aos processos oceânicos (ondas, marés, correntes), continentais (descarga fluvial, movimentos neotectônicos), meteorológicos (ventos, tempestades, precipitações) e antrópicos (destruição de ecossistemas costeiros, obras costeiras) que atuam nesta zona, modelando o relevo local (Baía e Ranieri, 2023). O deslocamento da LC em direção ao continente ou ilha, reflete processos erosivos (Baral et al., 2018). Por outro lado, seu movimento em direção ao mar/baía/estuário, representa avanço ou acreção.

Por meio do sensoriamento remoto, as taxas de avanço e recuo da LC constituem uma importante ferramenta para a determinação das tendências erosivas ou deposicionais de setores costeiros. Meneses e Almeida (2012) destacaram que o uso desta ferramenta fornece dados confiáveis sobre objetos físicos e sobre o ambiente natural por meio do processo de registro, medição, e interpretação de imagens e representações digitais dos padrões de energia derivados dos sistemas sensores sem contato físico (Colwell, 1997).

Entre os métodos científicos disponíveis para a observação e interpretação da dinâmica da LC, o mais preciso é a análise multiespectral e multitemporal, que se baseia na aquisição de múltiplas imagens de uma área específica, em diferentes bandas espectrais e períodos. Essa abordagem possibilita o monitoramento contínuo de fenômenos ao longo do tempo, permitindo uma compreensão mais aprofundada dos processos que influenciam o ambiente e sua significância (Jensen, 2019; Colwell, 1997; Chu et al., 2006). Dentre os exemplos de recursos que se utilizam do sensoriamento remoto e geoprocessamento, está o *Digital Shoreline Analysis System – DSAS* (Thieler et al., 2009), desenvolvido pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), que é uma ferramenta

de acesso livre que funciona como extensão dentro do SIG ArcGIS. Ele permite calcular estatisticamente as taxas de variação da LC de uma série temporal usando transectos perpendiculares a um determinado trecho estudado.

O DSAS tem sido aplicado em diversas áreas do mundo para rastrear e quantificar mudanças na LC, como em Portugal (Gonçalves et al., 2019), Índia (Shenbagaraj et al., 2021), Itália (Minervino Amodio et al., 2022) e Egito (Abd-Elhamid et al., 2022, 2025). Este método também pode ser aplicado para analisar mudanças de margens fluviais, principalmente em rios meandantes (Hasan et al., 2025) ou também na verificação da estabilidade costeira após eventos extremos (como ciclones) (Ramachandran et al., 2025).

No Brasil, destacando o Estado do Pará, pesquisas recentes sobre as alterações na morfologia de alguns setores costeiros revelaram o comportamento da LC ao longo do tempo (Baía et al., 2021; Henriques, 2022), apontando que, especialmente nas regiões de desembocaduras de estuários, ocorre acreção sedimentar. No entanto, essas áreas também podem ser impactadas por processos erosivos, principalmente resultantes da ação das correntes de maré, quando o aporte sedimentar não é suficiente. O acompanhamento da evolução da LC é essencial para uma gestão adequada da zona costeira, especialmente aquelas cujas especificidades ambientais originam uma alta dinâmica (Matos et al., 2022), tal como a região da foz do rio Amazonas, onde se localiza a Ilha do Marajó.

Estudos precisam ser desenvolvidos na Ilha do Marajó, dada sua grande importância internacional, sendo a maior ilha fluviomarina do mundo (Lisboa, 2012). Ela apresenta alta biodiversidade e está bastante vulnerável às mudanças climáticas atuais, assim como muitos locais da Amazônia, cuja zona costeira desempenha um papel fundamental ao abrigar atividades econômicas e ambientais essenciais para o desenvolvimento da região, como a ostrasicultura, a reprodução de espécies, e as práticas tradicionais de pesca (Chagas et al., 2019).

Henriques et al. (2024) demonstraram que a costa oriental da Ilha do Marajó apresenta diversos setores sujeitos à erosão, em grande parte decorrente da elevação do nível do mar e de processos oceanográficos. Nessa região, encontram-se diferentes comunidades tradicionais que habitam as margens da Baía do Marajó. Assim, a avaliação detalhada da dinâmica e modificações na LC em escala reduzida se torna indispensável para o gerenciamento destas comunidades.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi

compreender a evolução da LC na comunidade de Jubim, localizada na costa oriental da Ilha do Marajó, Amazônia. Buscou-se identificar locais com erosão, estabilidade ou acreção costeira através de uma análise multitemporal de imagens de satélite para um período de 33 anos (1990 a 2023). Por se tratar de uma comunidade tradicional, rural, com baixa densidade demográfica, majoritariamente os processos oceanográficos impactam a costa em comparação às atividades antrópicas. Sendo assim, partiu-se da hipótese de que trechos com maior exposição à atuação dos agentes físicos (maré, ondas e correntes), como praias arenosas em áreas de planície, apresentariam maior mobilidade da LC (principalmente erosão costeira), do que as praias em áreas de falésia e plataforma de abrasão. Estas

tenderiam a uma maior estabilidade.

Material e métodos

Área de estudo

A Vila de Jubim integra a zona costeira do município de Salvaterra-PA (margem leste da Ilha do Marajó), no trecho da desembocadura dos igarapés do Tapariaçu e Curuanã (latitude entre 0°47'24.09"S e 0°50'54.31"S; longitude 48°31'12.42"O e 48°34'16.24"O), que desaguam na Baía do Marajó, especificamente no estuário do Rio Pará. A área abrange aproximadamente 45 km² (Figura 1) e está distante cerca de 80 km da capital do Estado, Belém, cujo acesso ocorre por via rodofluvial.

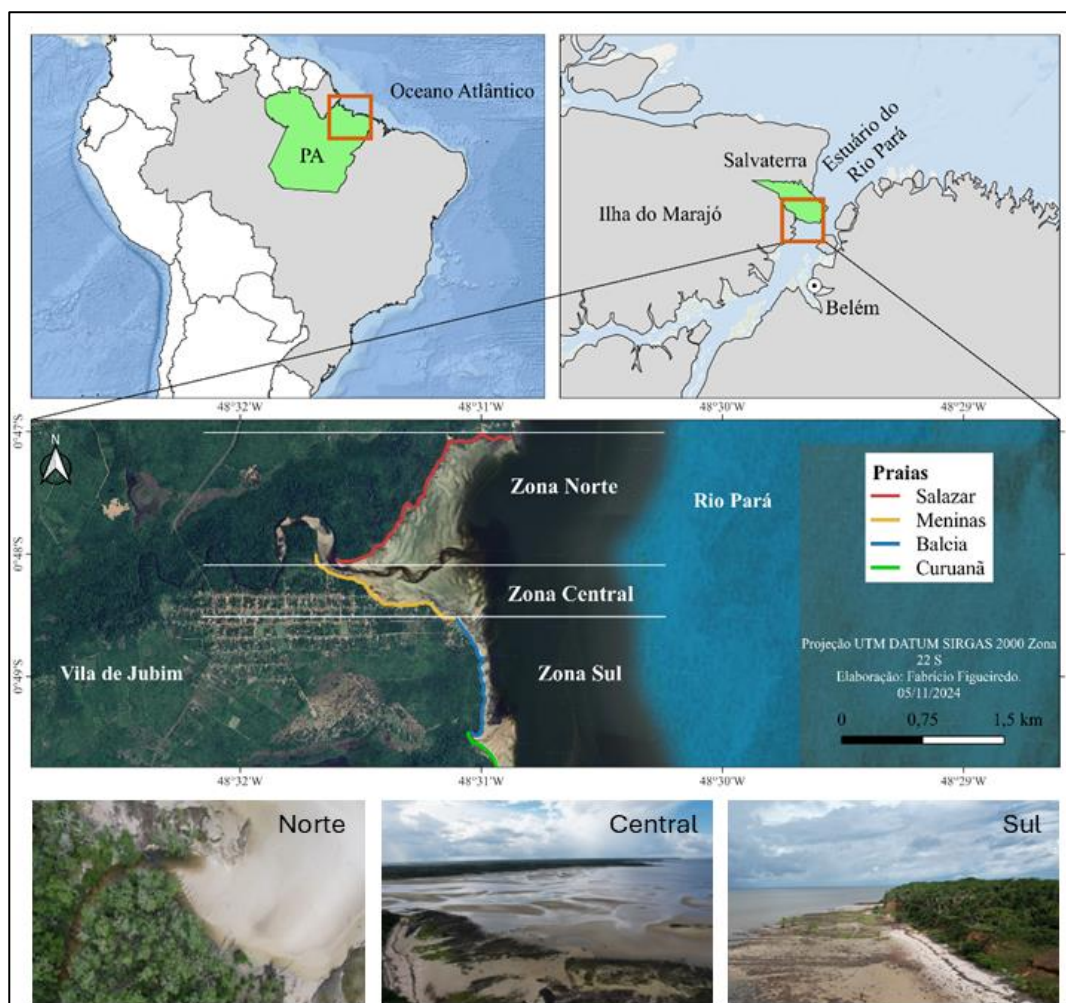


Figura 1 - Localização da área de estudo (Vila de Jubim e adjacências), com destaque para as praias onde foi realizada a pesquisa.

A Ilha do Marajó, maior ilha do arquipélago na foz do rio Amazonas, apresenta 50.000 km² (El-Robrini et al., 2018). A ilha apresenta uma paisagem fluvial-estuarina multidimensional, representando uma área muito suscetível às mudanças climáticas na Amazônia (Vousdoukas et al., 2020; Henriques, 2022). Enquanto a população

da Ilha do Marajó depende tradicionalmente dos serviços ecossistêmicos para sustentar a sua vida, as projeções climáticas para a ilha indicam que a maior parte dela, em área de planície, poderá ser inundada nas próximas décadas (Henriques, 2022).

A região da margem leste da ilha é segmentada em subunidades morfológicas: planalto

costeiro, planície de intermaré e delta de maré vazante (Souza Filho e França, 2006), as últimas sobre área de planície costeira. O planalto costeiro é caracterizado por apresentar superfície de baixos platôs, cujas cotas topográficas variam de 5 a 20 m acima do nível do mar (Ab'Saber, 1967), formando um relevo suave e aplainado.

A planície de intermaré é uma unidade morfológica que se desenvolve ao longo de estuários ou em costas abertas com baixo declive, recortadas e dominadas por maré, apresentando geometria alongada e paralela à linha de costa (Reineck & Singh 1980). Uma das principais drenagens da margem oriental da ilha é representada pelo canal do Jubim, cuja cobertura vegetal é dominada por florestas de mangue.

Na margem leste da ilha de Marajó, os canais de maré apresentam orientação SW-NE, consequentemente induzindo correntes de maré que fluem na direção 45° (vazante) e 225° (enchente) (El-Robrini et al., 2024).

Nas desembocaduras dos canais de maré da Ilha do Marajó, ocorrem a formação de deltas de maré vazante. Esta morfologia é caracterizada pela presença de bancos arenosos de foz de canal, que ficam expostos na maré baixa, o qual induzem a formação de dois ou mais braços rasos do canal principal (Souza Filho & França, 2006).

A Ilha do Marajó é influenciada por mesomares semidurnas, com amplitude variando de 2,5 a 3,7 m (Prestes et al., 2017). As correntes de maré alcançam velocidades de 1,64 m/s durante a maré enchente e período de baixa descarga fluvial, sendo que a propagação da onda de maré é do tipo mista (Rosário, 2016).

O clima na margem leste da Ilha do Marajó é quente e úmido (Clima Equatorial Amazônico) (Köppen, 1948). A umidade relativa do ar é alta durante o ano todo, mantendo-se acima dos 80% e temperatura média de 27° C (Lima et al., 2005). A velocidade média do vento é 6,2 m/s, e a precipitação média de 2500 mm/ano.

O ciclo sazonal das chuvas na costa amazônica é marcado fortemente pelo movimento migratório latitudinal da ZCIT, definido como o máximo em precipitação tropical ou como um cinturão tropical de nuvens convectivas, e sua posição média varia sazonalmente de 9° N a 2° N no Oceano Atlântico Equatorial (Utida et al., 2019).

Devido a maior influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) entre os meses de dezembro a maio, classifica-se o período como “estação chuvosa”, com os maiores índices entre fevereiro e abril. Os meses de junho a novembro compreendem a “estação menos chuvosa ou seca”, com menores índices pluviométricos entre setembro e novembro (Lima et al., 2005).

Processos metodológicos

O processo metodológico (Figura 2) abrangeu a obtenção de imagens gratuitas disponibilizadas por plataformas públicas, o uso de infraestrutura técnica apropriada, o processamento dos dados utilizando ferramentas de geoprocessamento e, por fim, a análise dos resultados obtidos. A aplicação de técnicas de geoprocessamento é fundamental para a execução e sucesso do estudo, tornando indispensáveis as etapas de laboratório e processamento de dados para a compreensão da dinâmica da área de estudo.

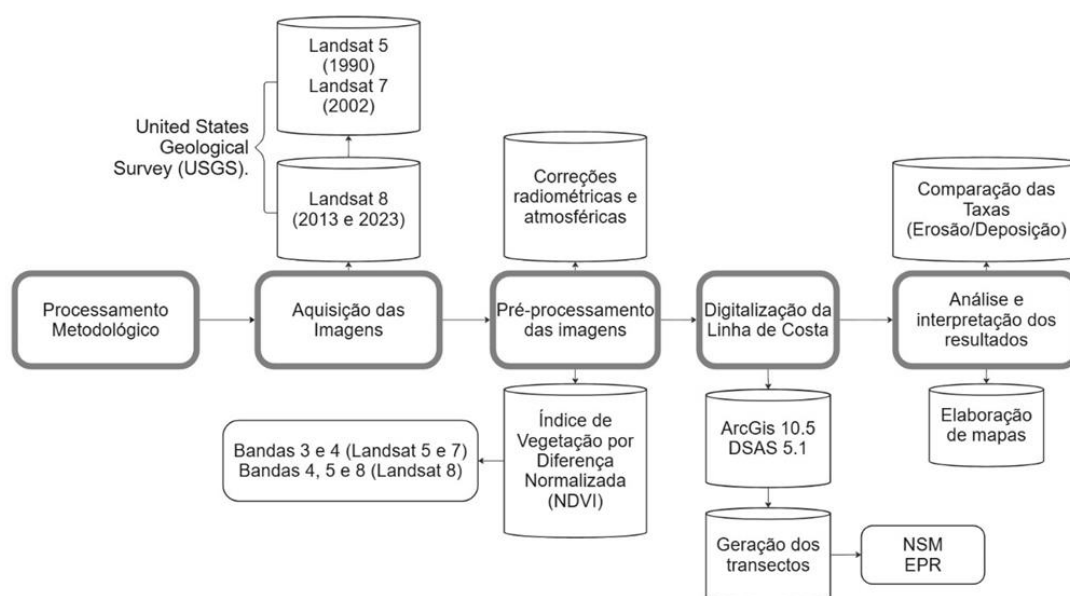


Figura 2 - Fluxograma da metodologia aplicada.

Aquisição das imagens e pré-processamento

Para a análise da variação da LC foram utilizadas imagens de média resolução (Tabela 1) dos satélites Landsat 5 TM de 1990, Landsat 7 ETM+ de 2002, com resolução espacial de 30 m, e Landsat 8 OLI/TIRS de 2013 e 2023, com

resolução espacial aprimorada para 15 m após a aplicação da ferramenta *pan-sharpening* (fusão da banda pancromática). Todas as imagens foram obtidas por meio do portal USGS, disponível no site EarthExplorer, disponível no endereço eletrônico: <https://earthexplorer.usgs.gov>.

Tabela 1 - Apresentação dos anos das imagens de satélite, o modelo e suas respectivas bandas. Adaptado de USGS (2024).

Data de Aquisição	Satélite	Sensor	Bandas	Resolução Espacial	Condição da Maré
09/05/1990	Landsat 5	TM	3, 4	30m	Vazante
07/09/2002	Landsat 7	ETM+	3, 4	30m	Vazante
18/07/2013	Landsat 8	OLI/TIRS	4, 5, 8	30/15m (pan)	Vazante
23/07/2023	Landsat 8	OLI/TIRS	4, 5, 8	30/15m (pan)	Vazante

Inicialmente, realizou-se correções radiométricas e atmosféricas semiautomáticas, utilizando as ferramentas disponíveis no software ArcGIS 10.5, o que permite minimizar efeitos atmosféricos e garantir a consistência entre diferentes cenas. A área de estudo foi recortada e convertida para o sistema de coordenadas UTM e zona 22 S, assegurando a análise na escala e localização corretas.

As bandas de comprimento de onda visível e infravermelho próximo dos satélites Landsat foram empregadas para a identificação de superfícies de terra e água ao longo da LC. As faixas de comprimento de onda no espectro infravermelho são particularmente eficazes para diferenciar elementos aquáticos e terrestres, dado que a energia do infravermelho médio é intensamente absorvida pela água, enquanto a vegetação, a areia e outras características costeiras apresentam alta refletância nessa faixa espectral (Alesheikh et al., 2007). Assim, nesta pesquisa, foi possível aplicar o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), que se mostrou mais eficiente do que outros métodos, oferecendo maior precisão técnica para a detecção da LC (Mishra et al., 2019).

Digitalização da linha de costa (LC)

Métodos semiautomáticos foram utilizados para identificação da LC e digitalização delas na área de estudo para cada ano estipulado (Santos et al., 2021). Assim, todas as LC's delineadas para diferentes anos (1990, 2002, 2013 e 2023) foram sobrepostas e usadas para realizar a análise de mudança entre elas (Figura 3). Por meio da extensão *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) executada no software *ArcGis* 10.5, as LC's foram digitalizadas e calculados parâmetros estatísticos propostos por Thieler et al. (2009).

Foram utilizados os parâmetros *Net Shoreline Movement* (NSM) e *End Point Rate* (EPR). O primeiro parâmetro se refere ao deslocamento líquido da LC, definido como a distância entre a posição da linha de costa mais antiga e a mais recente ao longo de cada transecto analisado. O segundo parâmetro é determinado pela razão entre a distância do deslocamento da LC e o intervalo de tempo decorrido entre as datas das LC's mais antiga e mais recente (Conti & Rodrigues, 2011).

Para avaliar a variação espaço-temporal nas posições das LC, foi desenhada uma linha de base hipotética, paralela à linha costeira, localizada na zona *offshore*. A partir dessa linha de base, foram gerados transectos perpendiculares, igualmente espaçados a intervalos de 1 m. As estatísticas das taxas de mudança (NSM e EPR) foram obtidas pelas interseções entre esses *transectos* e a LC.

Conforme descrito por Maiti e Bhattacharya (2009), valores positivos nas taxas de mudança indicam deslocamento da LC em direção ao mar (ou estuário), caracterizando deposição ou acreção costeira. Em contrapartida, valores negativos representam deslocamento em direção ao continente, refletindo processos de erosão.

Resultados

Os resultados obtidos a partir da análise da variabilidade multitemporal da LC (Figura 3) estão apresentados na Tabela 2. Observa-se que as taxas positivas (>0) do parâmetro EPR indicam deslocamento da linha de costa em direção ao estuário do Rio Pará, caracterizando valores associados à acreção ou avanço costeiro. Por outro lado, as taxas negativas (<0) refletem um deslocamento em direção ao continente/ilha, representando a ação erosiva ou recuo costeiro.

Valores entre -15 a 15 m no parâmetro NSM indicam estabilidade costeira, adotado como intervalo de confiança, visto que as imagens de

satélite utilizadas apresentam resolução espacial de 15 m após o fusão com a banda panconromática.

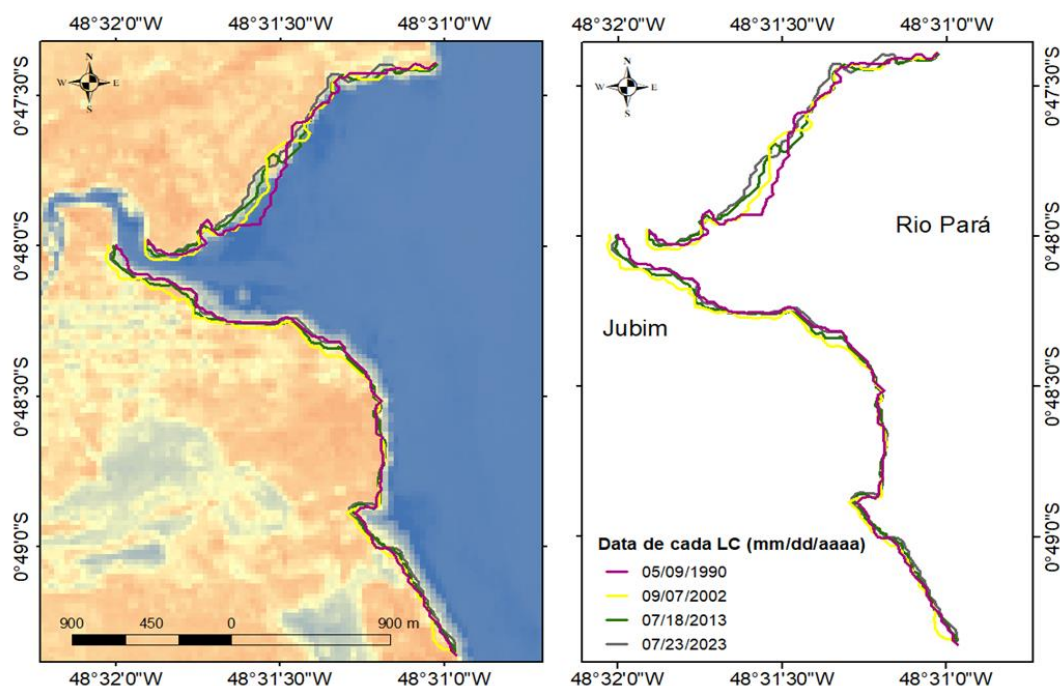


Figura 3 - Posição das linhas de costa para cada ano analisado. Fonte: Autor, 2024.

Para facilitar a análise, a zona costeira de Jubim e adjacências foi segmentada em três setores (Figura 4): a) Setor Norte (Praia do Salazar, na divisa da Vila de Jubim e Passagem Grande); b) Setor Central (Praia das Meninas); e c) Setor Sul (Praia da Baleia e norte da Praia do Curuanã).

Assim, os Setores Central e Sul exibem um processo predominantemente de acreção/estabilidade, com destaque para o Sul, onde o número de *transectos* com características erosivas e acrecionais foi praticamente equivalente, totalizando 942 e 973, respectivamente.

Tabela 2 - Taxas de mudança da LC linha de costa usando os métodos EPR (m/ano) e NSM (m) para todo o período analisado (1990 – 2023).

Estatística descritiva	Setor Norte	Setor Central	Setor Sul
Número total de <i>transectos</i>	2449	1491	1915
Deslocamento médio (m)	-27,35	-22.06	2,31
Número total de <i>transectos</i> com erosão	1344	1368	942
Número total de <i>transectos</i> com acreção	1105	123	973
% do número total de <i>transectos</i> onde a erosão foi registrada	54,88	91,75	49,19
% do número total de <i>transectos</i> onde a acreção foi registrada	45,12	8,25	50,81
Mudança média da LC (m/ano)	-0,82	-0,66	9,1
Máximo valor de erosão (m/ano)	-5,05	-2,69	-3,61
Média das taxas de erosão (m/ano)	-1.99	-0,74	-0,21
Máximo valor de acreção (m/ano)	1,96	0,38	1,13
Média das taxas de acreção (m/ano)	0,59	0,14	0,34



Figura 4 – Costa de Jubim e adjacências (Salvaterra/PA). A) Praia do Salazar, divisa Jubim-Passagem Grande (Setor Norte). B) Praia das Meninas (Setor Central). C) Praia da Baleia e D) Curuanã (Setor Sul). Fonte: Autor, 2024.

O litoral de Jubim apresenta um predomínio de erosão da LC, especialmente no Setor Norte. Os valores obtidos para o período de 1990 a 2023 nos parâmetros NSM e EPR (Tabela 2) demonstraram principalmente resultados negativos, indicando um recuo da LC ao longo de todo o período analisado, o que reforça a tendência erosiva.

No Setor Norte, com um total de 2449 *transectos* analisados, as taxas de NSM indicaram um deslocamento médio da LC de -27,35 m, com uma taxa de recuo de -1,99 m/ano e uma taxa de avanço de 0,59 m/ano. No Setor Central, baseado em 1491 *transectos*, o deslocamento médio registrado foi de -22,06 m, com uma taxa de recuo de -0,74 m/ano e de avanço de 0,14 m/ano. Por fim, no Setor Sul, a análise de 1915 *transectos* revelou um deslocamento médio da LC de 2,31 m, com taxas de recuo e avanço de -0,21 m/ano e 0,34 m/ano, respectivamente.

O recuo total da LC na área de estudo corresponde a 62,41% dos *transectos* analisados, com deslocamento máximo de -167,7 m no Setor Norte. Em consonância, dos 2201 *transectos* que indicaram acreção costeira (37,59%), o maior avanço da LC também foi verificado no Setor Norte, cujo deslocamento foi de até 65,11 m. Portanto, observou-se que a maior mobilidade na posição da LC ocorreu no Setor Norte, atribuído à morfologia costeira local de baixo gradiente topográfico.

O seguimento praial do Setor Norte (praia do Salazar), que se estende por 2,63 km (Tabela 3), apresentou recuo médio da LC, entre 1990 e 2002, de -3,01 m/ano, indicando uma tendência exclusivamente erosiva. Já para os períodos de 2002-2013 e 2013-2023, a taxa média de variação foi maior, sendo de -10,07 m/ano e -18,72 m/ano, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 3 - Características da LC nos setores Norte, Central e Sul. Elaborado pelo autor.

Setor	Extensão (km)	Orientação	Sistemas associados
Norte	2,63	NE - SW	Manguezal, estuário, delta de maré
Centro	1,74	W - L	Estuário, delta de maré, falésias
Sul	2,31	N - S	Falésias, plataformas de abrasão, canal de maré

Tabela 4 - Dados gerais da evolução da LC expressos em taxas anuais e em recuo ou avanço linear ao longo dos transectos (μ - valores médios; Min.- valores mínimos e Max.- valores máximos; valores positivos indicam deposição e negativos erosão).

			Setor		
			Setor Norte	Central	Setor Sul
Nº de transectos			2449	1491	1915
Taxa de variação (m/ano)	1990-2002	μ	-0,24	-4,16	-0,84
		Mín.	-10,25	-8,63	-5,53
		Máx.	8,95	0	1,83
	2002-2013	μ	-0,99	2,22	1,3
		Mín.	-6,2	-0,13	-2,73
		Máx.	8,61	5,53	11,43
	2013-2023	μ	-1,87	1,91	0,7
		Mín.	-6,21	-2,75	-14,26
		Máx.	5,72	5,12	3,42
Recuo (-) e avanço (+) da LC (m)	1990-2002	μ	-3,01	-51,33	-10,41
	2002-2013	μ	-10,7	24,15	14,09
	2013-2023	μ	-18,72	19,16	7

O Setor Central, correspondente à Praia das Meninas, com extensão de 1,74 km, apresentou predomínio da erosão no período de 1990 a 2002, com recuo linear médio de -51,33 m (Tabela 4). Em contrapartida, nos períodos subsequentes, verificou-se um predomínio de processos acrecionais, com avanços lineares médios de 24,15 m e 19,16 m, nos intervalos de 2002 a 2013 e 2013 a 2023, respectivamente (Tabela 4).

Semelhança ocorreu no Setor Sul, onde a tendência erosiva foi observada apenas entre 1990 e 2002, com um recuo linear médio de -10,41 m. Nos períodos posteriores, destacaram-se os processos de acreção, com avanços lineares médios de 14,09 m e 7,00 m para os intervalos de 2002 a

2013 e 2013 a 2023, respectivamente (Tabela 4).

Os resultados apontam que, em uma escala temporal de médio prazo (anos de 1990 a 2023), houve predomínio do recuo da LC, atribuído principalmente ao Setor Norte (Figuras 5 e 6), cujo indicativo de erosão costeira abrangeram 91,75% dos *transectos* analisados no setor.

Nos Setores Central e Sul, verificou-se tendência mais próxima à estabilidade costeira, caracterizada pelo balanço entre os valores de avanço e recuo da LC. No Setor Central, 54,88% dos *transectos* indicaram erosão e 45,12% acreção costeira. Já no Setor Sul, 49,19% dos *transectos* apresentaram comportamento erosivo e 50,81% acreção da LC.

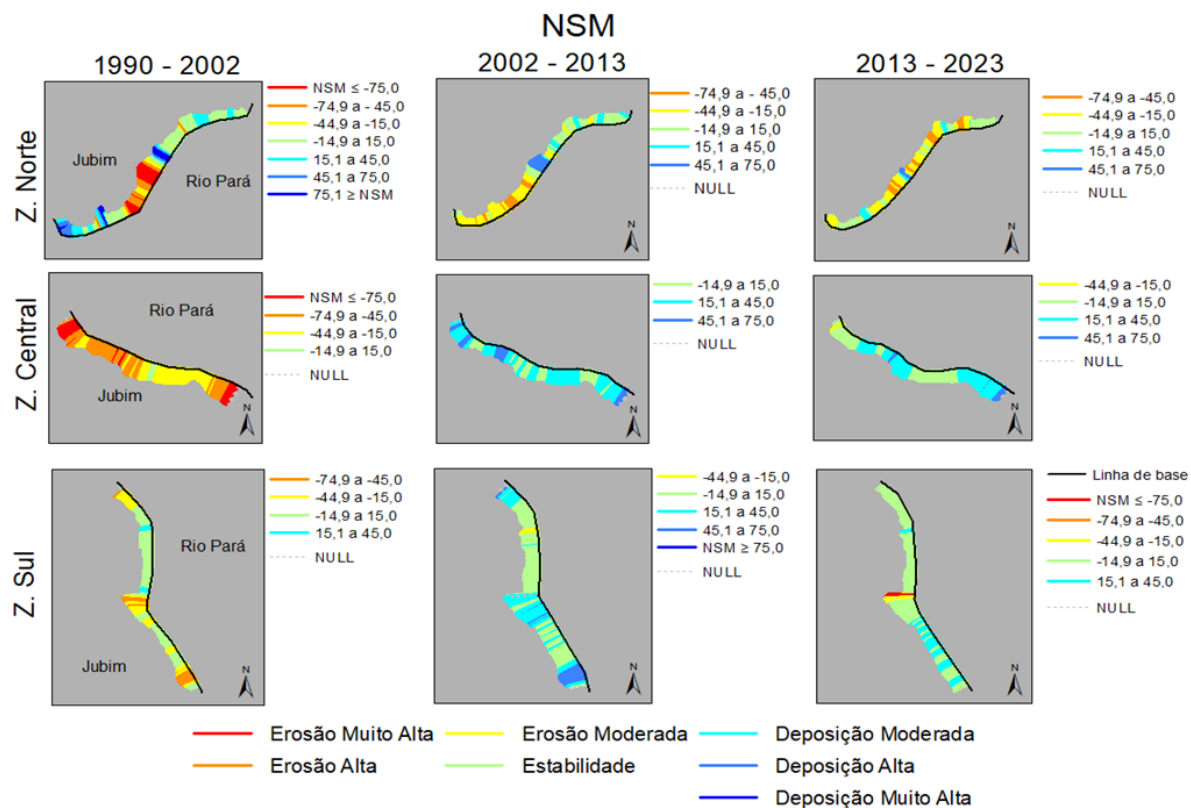


Figura 5 – Valoração do deslocamento da linha de costa (m) pelo parâmetro NSM nos setores norte, central e sul da área de estudo; e qualificação do processo costeiro (erosão, estabilidade e deposição/acreção).

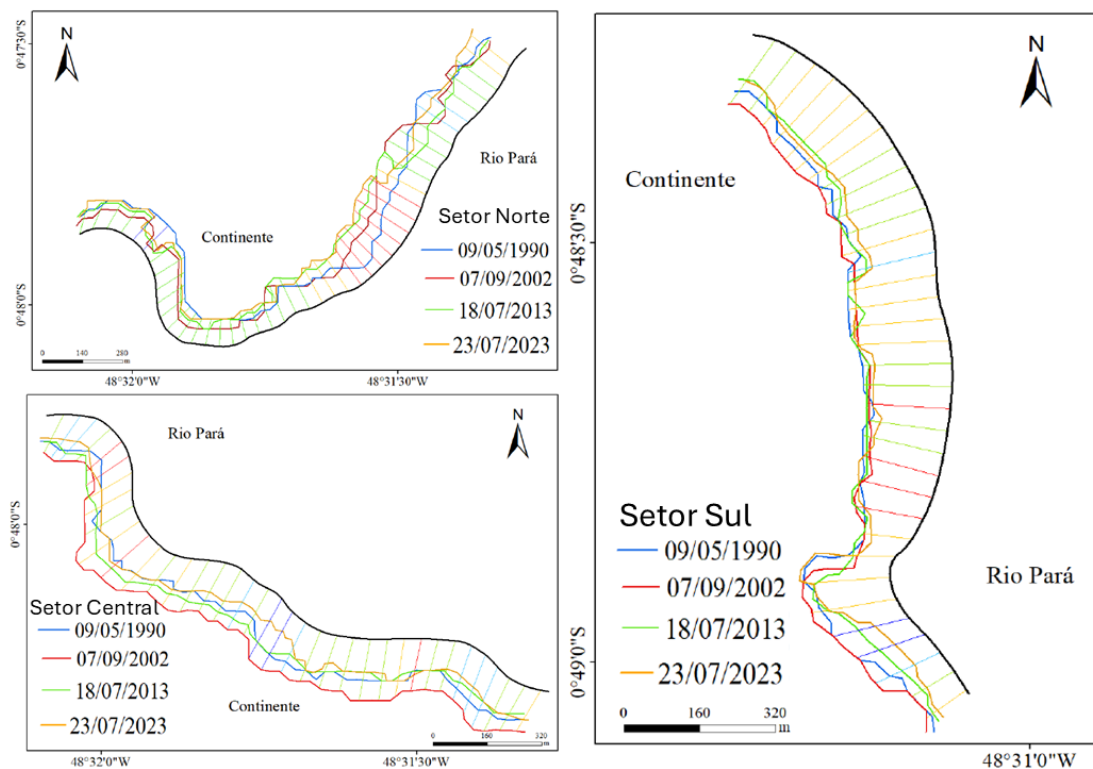


Figura 6 – Variação da LC por setor da Vila de Jubim e adjacências.

Discussão

A utilização do sensoriamento remoto, em conjunto com as ferramentas DSAS, demonstrou ser uma abordagem eficaz para a análise das transformações geomorfológicas em ambientes costeiros. Apesar de limitações, como a resolução média das imagens de satélite e a ocorrência de períodos com elevada cobertura de nuvens na área imageada, essa metodologia tem sido aplicada em zonas costeiras de diversos países, possibilitando a identificação precisa de áreas sujeitas a processos de erosão e acreção, além de permitir a análise da evolução da linha de costa em uma escala temporal ampliada (Apostolopoulos & Nikolakopoulos, 2021).

Constatou-se diferentes comportamentos da LC ao longo dos setores analisados em decorrências da variabilidade morfoestrutural da paisagem local. Os fatores responsáveis pela gênese das paisagens da área de estudo estão relacionados a eventos de caráter regional, tais como as movimentações crustais de soerguimento, subsidência, falhamento e as flutuações relativas do nível do mar (regressão e transgressão marinha), que ocorreram durante o Cenozóico Superior (do Mioceno ao Holoceno), e à hidrodinâmica costeira atual, sob a ação das marés e ondas da baía de Marajó (França, 2003).

A alta variabilidade da posição da LC observada no Setor Norte, com elevada erosão costeira, ocorre principalmente pela combinação de agentes oceanográficos e da morfologia costeira plana da praia do Salazar e seu pós-praia. Este setor está inserido na unidade geomorfológica denominada de Planície de Intermaré (Souza Filho e França, 2006), lamosa e arenosa, na qual os ecossistemas se formam ao longo de costas de declive suave, dominadas por maré, tal como a maior parte da costa amazônica, sendo bastante suscetíveis à elevação do nível do mar.

Segundo Voudoukas et al. (2020), o nível médio do mar no último século aumentou muito. Nos últimos 25 anos houve uma tendência de intensa erosão costeira em todo o mundo, afetando a foz do rio Amazonas, onde se situa a Ilha do Marajó. Estima-se que uma elevação de 2 m no nível do mar provocaria inundações em 28% da área da Ilha de Marajó. Se a elevação do nível do mar atingir 6 m, 36% da ilha poderá ser inundada (INPE, 2016).

A elevação do nível do mar e a erosão costeira exercem impactos significativos tanto ambientais quanto socioeconômicos, especialmente em sistemas costeiros vulneráveis, como os de Jubim, compostos por manguezais e praias arenosas. Esses habitats desempenham funções essenciais, atuando como barreiras

naturais contra tempestades. Contudo, a retração desses ecossistemas, mesmo que de forma natural, acarreta uma expressiva redução da biodiversidade e aumenta ainda mais a vulnerabilidade da costa a eventos extremos, comprometendo a resiliência dos ecossistemas locais (Freitas et al., 2020).

Além disso, a redução dos manguezais afeta diretamente as comunidades locais, tal como a tradicional vila do Jubim, que depende do extrativismo de recursos naturais para suas atividades de subsistência. Assim, a perda de áreas com as de mangue intensifica os impactos negativos tanto sobre as populações humanas, quanto as espécies que utilizam esses habitats para a manutenção de seus ciclos biológicos (Ankrah et al., 2023; Souza et al., 2018).

Estudos prévios documentaram processos erosivos tanto nos manguezais, como nos cordões arenosos atuais da margem leste da Ilha do Marajó, que são limitados no pós-praia pela formação de terraços lamosos (França & Souza Filho, 2003; Souza Filho & França, 2006; França et al., 2012; Henriques, 2022; Sousa & Ranieri, 2023; Menezes et al., 2024). Há presença de queda de árvores adultas e deslocamento dos cordões praias sobre os depósitos lamosos, resultando no recuo da LC (Figura 7).



Figura 7 – Tombamento e recuo do manguezal na LC e avanço do cordão arenoso sobre ele na praia do Salazar, divisa da Vila de Jubim e Vila da Passagem Grande.

Entre 1986 e 2001, foi identificado um recuo linear máximo de 344 m, com uma taxa média de 22 m/ano para a margem leste da Ilha do Marajó (França & Souza Filho, 2003). Menezes et al. (2024) identificaram recuo médio de 98,92 m (3,09 m/ano) entre 1985 a 2017 especificamente no setor costeiro de Soure, ao norte da área de estudo. Esses processos podem ser atribuídos à posição geográfica no estuário inferior do Rio Pará, onde as praias estuarinas sofrem forte influência das correntes de maré, das variações na descarga

fluvial e dos níveis de deposição sedimentar ao longo das margens (Sousa & Ranieri, 2023).

As marés semidiurnas, com máximo de 4,3 m de amplitude durante a preamar (Rosário *et al.*, 2016), e as correntes geradas por elas, têm a capacidade de alterar constantemente a morfologia das praias estuarinas e causam grande movimentação de sedimentos (Câmara *et al.*, 2023). Outro fator a considerar é que a LC na margem leste da Ilha do Marajó está exposta a ventos alísios que adentram a região com velocidades de 2 m/s a 7 m/s (INMET 2022), contribuindo para maior erosão, por gerar ondas locais, que intensificam a hidrodinâmica da região.

No Setor Central, devido às forças hidrodinâmicas oriundas do Estuário do Rio Pará (efeito “molhe hidráulico”), os sedimentos transportados pela corrente de maré na foz do canal do Jubim, ficam aprisionados na sua desembocadura promovendo a formação de um delta de vazante (Figura 8).



Figura 8 – Delta de vazante formado na desembocadura do Canal do Jubim com o estuário do Rio Pará, devido ao efeito de “molhe hidráulico” do rio.

Entre os anos de 2002 e 2023, observa-se uma tendência de acreção neste setor, atribuída em grande parte a essa dinâmica sedimentar local. No entanto, no período de 1990 a 2002, ocorreram intensos processos erosivos na mesma área, possivelmente associados ao evento El Niño que perpetuou por quase toda essa década, em escala moderada a muito forte, a exemplo de sua mais alta intensidade, impactando o clima global, especialmente entre 1997 e 1998 (INPE, 2016). Em 1998, as anomalias de precipitação em setores da região amazônica foram predominantemente negativas, de até -100 mm (Souza *et al.*, 2022).

Resultados semelhantes foram obtidos por Barros *et al.* (2024) ao analisarem a variação da LC de três praias amazônicas, onde observaram a influência do El Niño na redistribuição dos

sedimentos. Ambrizzi *et al.* (2004) relatou que o ENSO (El Niño Oscilação Sul) é um grande influenciador nos padrões de precipitação sobre a América do Sul. Esse fenômeno climático é caracterizado pela redução da pluviosidade na região Norte do Brasil.

A redução de chuvas causa diminuição na descarga fluvial e no aporte de sedimentos fluvio-estuarinos, prevalecendo os processos erosivos sobre os deposicionais, visto que as correntes de maré geradas por fatores oceanográficos continuam intensas no estuário. Sendo assim, a diminuição do fluxo fluvial, em contrapartida ao fluxo oceânico, compromete a reposição sedimentar nas praias estuarinas, aumentando, consequentemente, a suscetibilidade à erosão e o recuo da LC.

No Setor Sul, verificou-se uma variação limitada na posição da LC ao longo do período analisado, o que pode ser atribuído à morfologia costeira característica dessa região. De acordo com Souza Filho e França (2006), este setor está inserido em uma unidade geomorfológica denominada Planalto Costeiro, caracterizada por terreno com pequenas elevações (escarpas arenosas baixas e falésias).

Essa unidade apresenta um relevo aplainado, representativo das terras firmes da Amazônia Brasileira (Ab'Saber, 1967), e é composta por sedimentos do Grupo Barreiras/Pós-Barreiras. Apesar da presença de falésias ativas em alguns trechos (Figura 9), que são indicativos de processos erosivos, essas formações geomorfológicas conferem maior estabilidade à LC em comparação as outras áreas, onde a ação das ondas e das inundações provocadas por grandes preamares de sizígia tende a intensificar os processos erosivos na zona costeira (Novaes *et al.*, 2024; Façanha *et al.*, 2024).



Figura 9 – Falésias ativas e formação de plataforma de abrasão de ondas no Setor Sul da costa de Jubim.

As falésias, mais resistentes à erosão, protegem a borda do litoral, minimizando o

desgaste provocado pelas ondas e protegendo o continente da erosão acelerada (Maia, 2022). Além disso, as áreas de arenito mais duras são ainda mais fortes contra a erosão e projetam-se para o mar, formando promontórios expostos e plataformas de abrasão (Imam *et al.*, 2024; Bar *et al.*, 2022). A erosão nas falésias ocorre apenas quando a força de ataque das ondas ultrapassa a força de resistência das rochas formadoras de escarpa arenosa (Sunamura, 2019).

Conclusão

Este artigo mostrou a evolução da LC de uma vila costeira na Ilha do Marajó, Amazônia, as tendências erosivas e acrecionais observadas ao longo de 33 anos (1990 a 2023) nas praias estuarinas da vila de Jubim, limitadas por manguezais e falésias na LC.

A hipótese desta pesquisa era de que trechos com maior exposição aos agentes físicos (maré, ondas e correntes), como em áreas de planície, apresentariam maior mobilidade da LC do que trechos em áreas de falésia e plataforma de abrasão. Tal hipótese foi confirmada, visto que o Setor Norte de Jubim, localizado sobre a planície costeira e limitado por manguezal na LC, obteve as maiores taxas de recuo costeiro, enquanto nos Setores Central e Sul, a presença de escarpas arenosas baixas e falésias ativas na LC tem propiciado uma mobilidade menor da LC, portanto uma melhor estabilidade costeira.

Embora a vila costeira de Jubim esteja numa região com densidade populacional baixa, tendo processos costeiros (erosão e deposição) mais afetados por fatores naturais do que antrópicos, uma grande parcela da comunidade é extrativista e depende dos recursos ambientais nas suas atividades cotidianas, sejam elas a pesca, a navegabilidade, a catação do caranguejo, ou mesmo o lazer desempenhado nos ecossistemas costeiros.

Sendo assim, estudos de variação da LC são essenciais para o gerenciamento costeiro tanto no meio urbano, como no meio rural, onde comunidades tradicionais dependem do equilíbrio ambiental. O monitoramento da LC na Amazônia Oriental auxilia na preservação de ecossistemas e na elaboração de estratégias que promovam o uso sustentável dos recursos naturais frente às mudanças climáticas e alterações costeiras.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia (PPGOC) da UFPA. A Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) e ao

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento em projeto de pesquisa (Processo FAPESPA: 2023/717500; Processo CNPq: 422166/2023-5).

Referências

- Ab'Saber, A.N. (1967). Problemas geomorfológicos da Amazônia Brasileira. Dossiê Amazônia Brasileira I. *Estudos Avançados*, 19(53). In H. Lent (Org.), *Atas do Simpósio sobre a Biota Amazônica* (Vol.1, pp. 35-67). Geociências. Conselho Nacional de Pesquisas. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142005000100002>
- Abd-Elhamid, H.F., Abdelfattah, M., Zeleňáková, M., Kabeel, A.E., Gharbia, J.S.S., & Mahdy, M. (2025). Monitoring coastal changes in Port Said, Egypt using multi-temporal satellite imagery and GIS-DSAS. *Modeling Earth Systems and Environment*, 11:56. <https://doi.org/10.1007/s40808-024-02266-y>
- Abd-Elhamid, H.F., Zeleňáková, M., & Mahdy, M. (2022). Assessing the impact of climate change and sea level rise on the shoreline of Alexandria city - recreation area. *Proc Public Recreat Landsc Prot Environ Hand Hand*, Brno, Czech Repub. <https://doi.org/10.11118/978-80-7509-831-3-0045>
- Alesheikh, A.A., & Ghorbanali, A., Nouri. (2007) Coastline change detection using remote sensing. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 4(1), 61–66. <https://doi.org/10.1007/BF03325962>
- Ambrizzi, T., De Souza, E.B., & Pulwarty, R.S. (2004). The Hadley and Walker Regional Circulations and Associated ENSO Impacts on South American Seasonal Rainfall. In H.F. Diaz, R.S. Bradley (Org), *The Hadley Circulation: Present, Past and Future*. Advances in Global Change Research (Vol. 21, pp. 203-225). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2944-8_8
- Ankrah, J., Monteiro, A., & Madureira, H. (2023). Shoreline Change and Coastal Erosion in West Africa: A Systematic Review of Research Progress and Policy Recommendation. *Geosciences*, 13(2), 59. <https://doi.org/10.3390/geosciences13020059>
- Apostolopoulos, D., & Nikolakopoulos, K. (2021). A review and meta-analysis of remote sensing data, GIS methods, materials and indices used for monitoring the coastline evolution over the last twenty years. *European Journal of Remote Sensing*, 54(1), 240-265. <https://doi.org/10.1080/22797254.2021.190429>

- Baía, L.B., & Ranieri, L.A. (2023). Utilização de dados de sensores remotos para o monitoramento da linha de costa da Ilha de Algodão/Maiandeuá, Litoral Amazônico. *Revista Geográfica Acadêmica*, 17(2), 33-51. <https://revista.ufr.br/rga/article/view/7597>
- Baía, L.B., Ranieri, L.A., & Rosário, R.P. (2021). Análise multitemporal da variação da linha de costa em praias estuarinas de macromaré na Amazônia Oriental. *Geociências*, 40(1), 231-244. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i1.13470>
- Bar, A., Bookman, R., Galili, E., & Zviely, D. (2022). Beachrock Morphology along the Mediterranean Coast of Israel: Typological Classification of Erosion Features. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(11), 1571. <https://doi.org/10.3390/jmse10111571>
- Baral, R., Samal, R.N., & Mishra, S.K. (2018). Shoreline Change Analysis at Chilika Lagoon Coast, India Using Digital Shoreline Analysis System. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46(3), 1637-1644. <https://doi.org/10.1007/s12524-018-0818-7>
- Barros, V.H.C. de, Menezes, R.A.A., Paula, E.M.S. de, & Veloso, G.A. (2024). Alterações recentes da linha costeira na região do Salgado Paraense (Amazônia Oriental, Brasil). *Revista Verde Grande: Geografia e Interdisciplinaridade*. 6(2), 382-416. <https://doi.org/10.46551/rvg2675239520242382416>
- Brasil. (1988). Decreto-lei nº 5.300, de 7 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente. Características e limites da Zona Costeira e Espaço Marinho. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5300.htm
- Câmara, I.F. da, Holanda, T.F. de, & Costa, M.B. (2023). Erosão e gestão costeira em praias protegidas por recifes no litoral sul de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 24(1). <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i1.2189>
- Chagas, R.A. das, Silva, R.E.O. da, Passos, T.A.F. dos, De Assis, A.S. de, Abreu, V.S. de, Santos, W.C.R. dos, Barros, M.R.F., & Herrmann, M. (2019). Análise biomorfométrica da ostra-do-mangue cultivada no litoral amazônico. *Scientia Plena*, 15(10), 1-13. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2019.107401>
- Chu, Z.X., Sun X.G., Zhai, S.K., & Xu, K.H. (2006). Changing pattern of accretion/erosion of the modern Yellow River (Huanghe) subaerial delta, China: Based on remote sensing images. *Marine Geology*, 227(1-2), 13-30. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2005.11.013>
- Colwell, R.N. (1997). History and Place of Photographic Interpretation. In W.R., Phillipson (Org.), *Manual of Photographic Interpretation* (2 ed., p. 33-48). Ed. Bethesda, ASPRS.
- DHN. Diretoria de Hidrografia e Navegação. (2023). Tábua das Marés. Marinha do Brasil. <http://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>.
- Ding, X.S., Shan, X.J., Chen, Y.L., Jin, X.S., & Muhammed, F.R. (2019). Dynamics of shoreline and land reclamation from 1985 to 2015 in the Bohai Sea, China. *Journal of Geographical Sciences*, 29, 2031-2046. <https://doi.org/10.1007/s11442-019-1703-1>
- El-Robrini, M., Ranieri, L. A., Silva, P. V. M., Alves, M.A.M.S., Guerreiro, J.S., Oliveira, R.R.S., Silva, M.S.F., Amora, P.B.C., El-Robrini, M.H.S., & Fenzl, N. (2018). Pará, In D. Muehe (Org.), *Panorama da Erosão Costeira no Brasil* (Vol. 2, pp. 65-166). Ministério do Meio Ambiente. https://gaigerco.furg.br/images/Arquivos-PDF/Livro_panorama_erosao_costeira.pdf
- El-Robrini, M., Silva, P.V.M., Guerreiro, J.S., & Ranieri, L.A. (2024). Seasonal and macrotidal influence on the morphodynamics of estuarine beaches (Marajó island - Eastern amazon - Brazil). *Quaternary and Environmental Geosciences*, 15. <https://doi.org/10.5380/qeg.v15i0.94228>
- Façaanha, M.C., Albuquerque, M.G., de Paula, D.P., Leisner, M., Espinoza, J.M.A., Vasconcelos, Y.G., Alves, D.C.L., & de Sá, L.P. (2024). Medium-term analysis of coastal cliff retreat change at Pacheco beach, northeastern Brazil. In: Phillips, M.R.; Al-Naemi, S., and Duarte, C.M. (eds.), *Coastlines under Global Change: Proceedings from the International Coastal Symposium (ICS) 2024* (Doha, Qatar). *Journal of Coastal Research*, SI 113, 335-340. <https://doi.org/10.2112/JCR-SI113-066.1>
- França, C.F., & Souza Filho, P.W.M. (2003). Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da Ilha de Marajó (PA) em imagem Landsat. *Revista Brasileira de Geociências*, 33, 127-136.

- <https://doi.org/10.25249/0375-3687536.200333S2127136>
- França, M.C., Francisquini, M.I., Cohen, M.C.L., Pessenda, L.C.R., Rosseti, D.F., Guimarães, J.T.F., & Smith, C.B. (2012) The last mangroves of Marajó Island – Eastern Amazon: Impact of climate and/or relative sea-level changes. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 187, 50-65. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2012.08.007>
- Freitas, A., Achete, F., & Vinzón, S. B. (2020). Characterization of the Coastal Environment as a Baseline for Alternative Tourism Segments Development in Salinópolis, Pará. *World*, 1(3), 227-238. <https://doi.org/10.3390/world1030017>
- Gonçalves, G., Santos, S., Duarte, D., & Gomes, J. (2019). Monitoring Local shoreline changes by integrating UASs, airborne LiDAR, historical images and orthophotos. *GISTAM*, 126-134. <https://doi.org/10.5220/0007744101260134>
- Hasan, J., Zaman, A.U. & Faridatul, M.I. (2025). Assessing spatiotemporal trends of riverbank erosion using a GIS-DSAS-based integrated approach. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/24749508.2025.2451450>
- Henriques, R.J. (2022). Geoambientes, geoarqueologia e cenários de mudanças climáticas na Ilha do Marajó, Amazônia brasileira. [Tese de doutorado, Universidade Federal do Pará]. Repositório Digital da UFMG. <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/53904>
- Henriques, R.J., Oliveira, F.S., Schaefer, C.E.G.R., Lopes, P.R.C., Senra, E.O., Lourenço, V.R., & Francelino, M.R. (2024). Impacts of anthropocene sea-level rise on people, environments, and archaeological sites in Marajó Island, Brazilian Amazonia. *Journal of South American Earth Sciences*, 136, 104836. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2024.104836>
- Imam, C., Chaibi, M., Ougougdal, M.A., Charif, A., Vacchi, M., & Pappalardo, M. Multitemporal analysis of cliffs Evolution along an Atlantic African coast (Safi Region, Morocco). *Regional Studies in Marine Science*, 79, 103810. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103810>
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. (2022). *Normais climatológicas do Brasil 1961-2020*. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>.
- INPE. Instituto nacional de pesquisas espaciais. (2016). *Aquecimento global pode reduzir Ilha de Marajó*. http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?%20Cod_Noticia=607#:~:text=Com%20%20metros%20de%20eleva%C3%A7%C3%A3o,da%20ilha%20pode%20ser%20inundada.
- Jensen, J.R. (2009). *Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres* (2 ed). Parêntese.
- Köppen, W. (1948). *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura Económica.
- Lima, A.M.M., Oliveira, L.L., Fontinhas, R.L., & Lima, R.J.S. (2005). Ilha do Marajó: Revisão histórica, hidroclimatológica, bacias hidrográficas e proposta de gestão. *Holos Environment*, 5(1), 65–80. <https://doi.org/10.14295/holos.v5i1.331>
- Lisboa, P.L.B. (2012). *A terra dos Aruã: uma história ecológica do arquipélago do Marajó* (1 ed.). Museu Paraense Emílio Goeldi.
- Maia, R.P. (2022). *Falésias: origem, evolução, risco*. [Recurso eletrônico]. Imprensa Universitária, Universidade Federal do Ceará. <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/69688>.
- Maiti, S., & and Bhattacharya, A. (2009) Shoreline Change Analysis and Its Application to Prediction: A Remote Sensing and Statistics Based Approach. *Marine Geology*, 257, 11-23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2008.10.006>
- Matos, M.F.A. de, Amaro, V.E., Scudelari, A.C., & Rosado, S.B. (2022). Estimativas das alterações de longo prazo na linha de praia do Litoral Oriental do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 23(1). <https://doi.org/10.20502/rbg.v23i1.1953>
- Meneses, P.R., & Almeida, T. (2012). *Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. UnB-CNPq.
- Menezes, R.A.A, Guimarães, D.K.M., & El-robrini, M. (2024). Variations of the coastline in a medium period (1985-2017) of a tropical island: the case of Soure (Marajó - Pará/Brazil). *Boletim Paulista de Geografia*, 1(112), 51–76. <https://doi.org/10.61636/bpg.v1i112.3300>
- Minervino Amodio, A., Di Paola, G., & Roskopf C.M. (2022). Monitoring coastal vulnerability by using DEMs based on UAV spatial data. *International Journal of Geo-Information* 11(3), 155. <https://doi.org/10.3390/ijgi11030155>
- Mishra, M., Chand, P., Pattnaik, N., Kattel, D.B.,

- Panda, G.K., Mohanti, M., Baruah, U.D., Chandniha, S.K., Achary, S., & Mohanty, T. (2019). Response of long- to Short- term changes of the Puri Coastline of Odisha (India) to natural and anthropogenic factors: a remote sensing and statistical assessment. *Environmental Earth Sciences*, 78(338), 1-23. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8336-7>
- Moore, L.J. (2000) Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, 16(1), 111-124.
- 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). <https://doi.org/10.20502/rbgeomorfologia.v25i2.2461>
- Prestes, Y.O., Silva, A.C., Rollnic, M., & Rosário, R.P. (2017). The M2 and M4 tides in the Pará river estuary. *Tropical Oceanography*, 45(1): 26-37. <https://doi.org/10.5914/tropocean.v45i1.15198>
- Ramachandran, A., Sujatha, M., Alruwais, N., & Alshahran, H.M. (2025). Forecasting coastal stability: Digital shoreline analysis system and machine learning techniques in evaluating Impacts of cyclones. *Regional Studies in Marine Science*, 81, 103961. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103961>
- Ranieri, L.A., & El-Robrini, M. (2015). Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. *Pesquisa em Geociências*, 42(3), 207-226. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.78121>
- Reineck, H. E., & Singh, I. B. (1980). *Depositional Sedimentary Environments*. Springer-Verlag.
- Rodríguez, J.J., & Windevoxxell, N.J. (1998). Análisis Regional de la Situación de la Zona Marina Costera Centroamericana. [Recurso eletrônico]. Banco Inter-Americano de Desenvolvimento BID. <http://dx.doi.org/10.18235/0010211>
- Rosário, R.P. (2016). *Análise de processos oceanográficos no estuário do rio Pará* [Tese de doutorado, Universidade Federal do Pará]. Repositório Digital da UFPA. <https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/8876>
- Rosário, R.P.; Borba, T.A.C.; Santos, A.S., & Rollnic, M. (2016). Variability of Salinity in Pará River Estuary: 2D Analysis with Flexible Mesh Model. *Journal of Coastal Research*, [S.I.], n. 75(10075), p. 128-132. <https://doi.org/10.2112/SI75-026.1>
- Santos, C.A.G., Nascimento, T.V.M. do, Silva, R.M. da, & Misha, M. (2021). Analysis of long- and short-term shoreline change dynamics: A study case of João Pessoa city in Brazil. *Science of the Total Environment*, 769(8). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144889>
- Shenbagaraj, N., Senthil Kumar, K., Rasheed A.M., Leostalin, J., & Naresh Kumar, M. (2021) Mapping and electronic publishing of shoreline changes using UAV remote sensing and GIS. *Journal Indian Society of Remote Sensing*, 49, 769-1777. <https://doi.org/10.1007/s12524-020-01287-1>
- Sousa, M.B.P., & Ranieri, L.A. (2023) Morfodinâmica de praias estuarinas da costa leste da Ilha do Marajó, Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 24(3). <https://doi.org/10.20502/rbg.v24i3.2350>
- Souza Filho, P.W.M., & França, C.F. (2006). Compartimentação morfológica da margem leste da Ilha do Marajó: Zona costeira dos municípios de Soure e Salvaterra – Estado do Pará. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 7(1), 33-42.
- Souza, C.A., Duarte, L.F.A., João, M.C.A., Pinheiro, & M.A.A. (2018). Biodiversidade e conservação dos manguezais: importância bioecológica e econômica. In M.A.A. Pinheiro & A.C.B. Talamoni (Org.). *Educação Ambiental sobre Manguezais* (Vol.1, pp. 16-56). UNESP.SP. https://www.crusta.com.br/biblio/04.Cap%C3%ADtulos/20-educacao_ambiental_manguezais_cap01_biodiversidade_conservacao.pdf
- Souza, E.M.S., & Andrade, M.M.N. (2024). Dinâmica da linha de costa na Zona Costeira Amazônica: estudo de caso na ilha de Atalaia (Salinópolis, PA). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 17(4), 2911-2929. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.4.p2911-2929>
- Souza, S.A.S. de, Querino, C.A.S., Ferreira, N.C., Moura, M.A.L., Biudes, M. S., Machado, N.G., Vogt, R.H.M., Querino, J.K.A.S., & Rohleder, L.A.S. (2022). Spatiotemporal variability of precipitation and surface temperature in the southern mesoregion of Amazonas, Brazil, during the occurrence of ENSO. *Ciência e Natura*, 44, e48. <https://doi.org/10.5902/2179460X65690>
- Sunamura, T. (2019). Cliffs, Erosion Rates. In C.W. Finkl & C. Makowski (Orgs.) *Encyclopedia of Coastal Science* (pp. 398-403). Encyclopedia of Earth Sciences Series.

- Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93806-6_71
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., & Ergul, A. (2009). *The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.1: An ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change*. Geological Survey: Reston VI, USA. Open File Report 2008-1278.
- Utida, G., Cruz, F.W., Etourneau, J., Bouloubassi, J., Schefuß, E., Vuille,M., Novello,V.F., Prado, L.F., Sifeddine, A., Klein, V., Zular, A., Viana, J.C.C., & Turcq, B. (2019). Tropical South Atlantic influence on Northeastern Brazil precipitation and ITCZ displacement during the past 2300 years. *Scientific Reports*, 9, 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38003-6>.
- Vousdoukas, M.I., Ranasinghe, R., Mentaschi, L., Plomaritis, T.A., Athanasiou, P., Luijendijk, A., & Feyen, L. (2020). Sandy coastlines under threat of erosion. *Nature Climate Change*, 10, 260-263. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0697-0>