

Análise multitemporal do comportamento da linha de costa no município de Areia Branca/RN

Multitemporal analysis of the shoreline behavior in the municipality of Areia Branca/RN

Maykon Targino da Silva^{ac} , Frankilys Ryan Medeiros da Silva^{ad} , Alfredo Marcelo Grigio^{ae} , Rodrigo Guimarães de Carvalho^{bf} 

^aNúcleo de Estudos Socioambientais e Territoriais, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, ^bLaboratório de Estudos Costeiros e Áreas Protegidas, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

^cmaykontargino@hotmail.com, ^dfrankilysryan@alu.uern.br, ^ealfredogrigio@uern.br, ^frodrigocarvalho@uern.br,



© 2025 The authors. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons license.

Resumo

Os municípios litorâneos auferem recursos econômicos de atividades realizadas na zona costeira, como exemplo destaca-se a produção de sal marinho em Areia Branca-RN. A erosão costeira que afeta diversos litorais no mundo e no Brasil é uma ameaça às atividades econômicas e habitações desse município. Dessa forma, estudar o comportamento da linha de costa é uma tarefa importante para a gestão da zona costeira do município de Areia Branca. Diante disso, o objetivo do presente estudo foi analisar a evolução da linha de costa do município de Areia Branca no período 1984-2023. Para isso, os procedimentos metodológicos consistiram em: processamento digital de imagens, vetorização das linhas de costa, cálculo das variações da linha de costa e classificação e interpretação dos resultados. Verificou-se que, embora tanto a análise por períodos quanto a regressão linear indicarem predominância da estabilidade da linha de costa, a primeira revelou ação erosiva ao longo do tempo nas praias de: Redondinha, São José, Morro Pintado, Paraíso, Upanema e Pontal. As maiores taxas de erosão costeira foram registradas na praia do Pontal, com -31,3 m/a de 1984 a 1992. As causas dessa erosão nos diferentes trechos são variadas: i) ocupação da zona de *overpassing* costeiro; ii) diminuição do aporte sedimentar; iii) a geometria em forma de espiral da linha de costa; e iv) hidrodinâmica costeira associada ao assoreamento da foz do rio Apodi-Mossoró. A análise identificou padrões espaço-temporais distintos de erosão, com setores críticos apresentando respostas morfodinâmicas específicas aos fatores condicionantes naturais e antrópicos. Essas variações locais exigem estratégias de gestão diferenciadas para mitigação de riscos costeiros.

Palavras-chave: Erosão costeira; Gestão da zona costeira; Geoprocessamento.

Abstract

Coastal municipalities derive economic resources from activities conducted in the coastal zone, with the production of sea salt in Areia Branca-RN being a notable example. The coastal erosion that affects various coastlines around the world and in Brazil is a threat to the economic activities and housing of this municipality. Therefore, studying the behavior of the shoreline is an important task for the coastal management of Areia Branca. Thus, the present study aimed to analyze the evolution of the shoreline in the municipality of Areia Branca between 1984 and 2023. The methodological procedures have included digital image processing, shoreline vectorization, calculations of shoreline variation, and the classification and interpretation of results. It was found that, although both the period analysis and linear regression indicated a predominance of the shoreline stability, the first revealed erosive action over time on the beaches of: Redondinha, São José, Morro Pintado, Paraíso, Upanema, and Pontal. The highest rates of shoreline erosion were recorded at Pontal Beach, with -31.3 m/year from 1984 to 1992. The causes of this erosion in the different stretches, including i) occupation of the coastal overpassing zone; ii) decreased sediment input; iii) spiral-shaped coastline geometry; and iv) coastal hydrodynamics associated with the silting of the mouth of the Apodi-Mossoró River. The analysis identified distinct spatio-temporal patterns of erosion, with critical sectors displaying morphodynamic responses to natural and anthropogenic conditioning factors. These local variations require differentiated management strategies for coastal risk mitigation.

Keywords: Shoreline erosion; Coastal management; Geoprocessing.

1. Introdução

A zona costeira é uma das regiões mais dinâmicas presentes na superfície do planeta Terra, onde é possível perceber modificações de suas feições a curto e médio prazos em escala de tempo humana. Nesse

cenário, os processos erosivos são um dos principais agentes promotores das alterações geomorfológicas (Muehe 2020). Esses processos promovem o recuo da linha de costa. Quando isso ocorre em áreas inabitadas não é um problema, contudo, quando atingem áreas habitadas causam prejuízos econômicos e representam

um risco para as populações que residem nas zonas costeiras (Hauer et al. 2021). Assim, a sobreposição de um grande contingente populacional em um ambiente altamente dinâmico requer estudos dos mais variados escopos, em especial, aqueles direcionados à erosão marinha no intuito de compreender esse fenômeno e, por conseguinte, conceber informações para o planejamento do uso sustentável da zona costeira (Maamar et al. 2024).

No Brasil, a erosão costeira ocorre em vários locais; no Nordeste estima-se que os trechos em recuos perfazem de 60 a 65% (Muehe 2018). No litoral do Rio Grande do Norte, a erosão atinge trechos tanto do litoral oriental como do setentrional, são exemplos, respectivamente, Natal e Macau (Vital et al. 2018). Areia Branca se constitui em um importante município do litoral potiguar para a economia do estado devido às suas atividades econômicas. Nesse município, Silva et al. (2015) identificaram recuos da linha de costa, no período 1987-2014, nas seguintes praias: Upanema, do Meio e Pontal. Já em estudo mais recente, compreendendo o período 1984-2016, foram constatados recuos em quase todas as praias do município de Areia Branca (Silva et al. 2020).

Os trabalhos acima mencionados sobre a erosão costeira em Areia Branca se encontram desatualizados,

pois o mais recente fez uma análise até o ano de 2016 (Silva et al. 2020). Diante disso, o objetivo do presente estudo foi analisar a evolução da linha de costa do município de Areia Branca, por meio de análise estatística, no período entre 1984 e 2023. Assim, o estudo proporcionará uma análise que usa um conjunto de dados sobre a posição da linha de costa, buscando representar o comportamento costeiro. Além disso, atualizará o conhecimento sobre a dinâmica da linha de costa, onde as informações produzidas aqui subsidiarão o planejamento e a gestão da zona costeira do município, denotando sua importância social.

2. Caracterização da área de estudo

O município de Areia Branca tem sua localização no litoral setentrional do Rio Grande do Norte e fica a uma distância de 330 km de Natal, capital do estado (Fig. 1). Esse município tem como características socioeconômicas a produção de sal marinho (Costa et al. 2013), a exploração de petróleo, a indústria de energia eólica, o turismo (Medeiros et al. 2012), a produção de energia solar, a agropecuária, muitas dessas atividades são situadas na/ou próximas da zona costeira. Assim, essa zona em Areia Branca tem uma diversidade de atividades econômicas e, imbricada sobre ela, têm-se a ocupação urbana e comunidades de pescadores tradicionais.

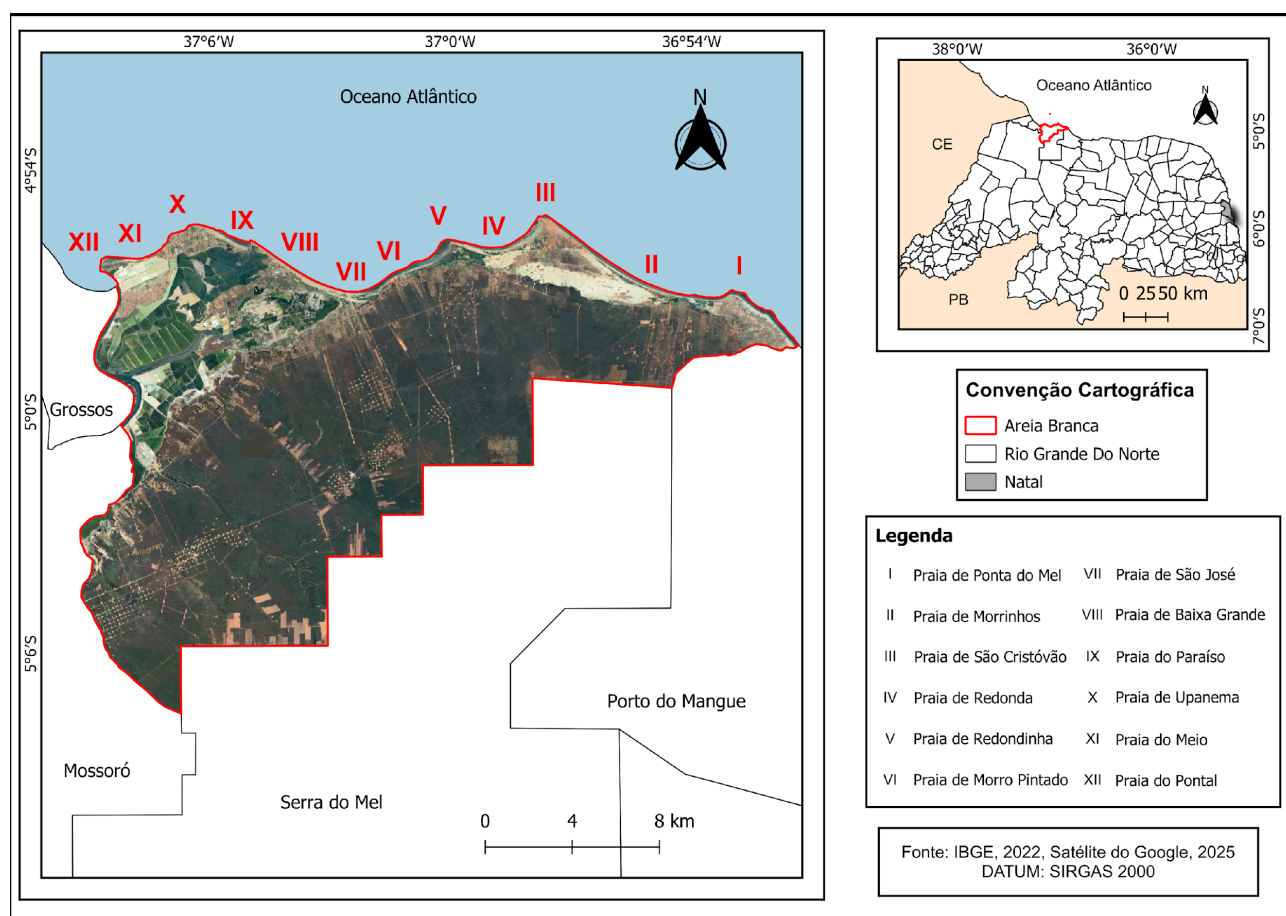


Figura 1 – Mapa de localização do município de Areia Branca, Rio Grande do Norte.

Esse município está localizado no contexto geológico da Bacia Potiguar (Araripe & Feijó 1994, Pessoa Neto et al. 2007). Nele são encontradas rochas de praia (*beachrocks*), depósitos de dunas fixas e móveis; depósitos aluvionares; depósitos de planícies de maré e rochas da Formação Barreiras. A geomorfologia é composta por campos de dunas fixas e móveis; planícies de maré; barras longitudinais emersas na baixa-mar e zona de intermaré (Rogério 2004).

O vento possui direção predominante de nordeste, com velocidades máxima e mínima no verão de, respectivamente, 34,4 km/h e 27,5 km/h; no inverno a média mensal é de 21,1 km/h. As ondas possuem direção nordeste, com alturas que variam de 0,22 m a 0,39 m. A amplitude de maré é de 1,2 m, no período de quadratura, e de 3,3 m, no de sizígia (Almeida et al. 2017). Enquanto as correntes marinhas têm as seguintes velocidades no inverno e verão, respectivamente, 0,6-1,3 m/s e 0,2-0,6 m/s, ambas para oeste (Rogério 2004).

3. Materiais e Métodos

O presente estudo foi feito por meio do uso de produtos de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas (SIG). Primeiramente, foi criada uma base de dados com 25 cenas de imagens de satélites da área de estudo. Os satélites utilizados foram Landsat 5 e 8, onde as imagens são provenientes dos sensores TM e OLI, respectivamente. Essas imagens foram adquiridas do sítio eletrônico Earth Explorer do United States Geological Survey (USGS) e reprojetaadas para SIRGAS 2000 UTM 24 sul.

A escolha pelo uso das imagens produzidas pela série Landsat foi feita com base na amplitude temporal, com cenas desde 1984, e também pela possibilidade de se trabalhar com a mesma resolução espacial de 30 m. Foi realizada uma análise por períodos considerando os anos de 1984, 1992, 2000, 2008, 2016 e 2023. Essa análise por períodos não seguiu um padrão fixo de anos, contudo, foi possível estabelecer um intervalo de cerca de 8 anos entre os períodos. Além disso, também foi executada uma análise mediante a regressão linear com as cenas presentes na Tabela 1.

Essas imagens foram selecionadas com base na ausência de nuvens sobre a costa, pois sua presença prejudicaria a visualização e, consequentemente, a vetorização manual da linha de costa. Diante disso, as imagens selecionadas foram dos meses de junho a outubro, período caracterizado pela ausência ou com poucas nuvens devido às baixas precipitações pluviométricas.

Tabela 1. Dados das imagens de satélites usadas para extração da linha de costa. Fonte: USGS, 2024.

Data	Satélite/Sensor	Órbita/Ponto
19/07/1984	Landsat 5-TM	215/64
11/11/1985	Landsat 5-TM	215/64
30/07/1988	Landsat 5-TM	215/64
06/09/1990	Landsat 5-TM	215/64
23/07/1991	Landsat 5-TM	215/64
13/10/1992	Landsat 5-TM	215/64
04/09/1995	Landsat 5-TM	215/64
01/09/2000	Landsat 5-TM	215/64
18/07/2001	Landsat 5-TM	215/64
10/09/2003	Landsat 5-TM	215/64
27/08/2004	Landsat 5-TM	215/64
29/07/2005	Landsat 5-TM	215/64
04/10/2006	Landsat 5-TM	215/64
06/08/2008	Landsat 5-TM	215/64
10/09/2009	Landsat 5-TM	215/64
09/06/2010	Landsat 5-TM	215/64
20/08/2013	Landsat 8-OLI	215/64
23/08/2014	Landsat 8-OLI	215/64
25/07/2015	Landsat 8-OLI	215/64
05/09/2016	Landsat 8-OLI	215/64
15/08/2017	Landsat 8-OLI	215/64
08/09/2020	Landsat 8-OLI	215/64
29/10/2021	Landsat 8-OLI	215/64
21/08/2022	Landsat 8-OLI	215/64
31/07/2023	Landsat 8-OLI	215/64

Na sequência, foram aplicadas técnicas de processamento digital de imagens (PDI) nas cenas que formavam o banco de dados. Essas técnicas consistiram no realce linear de contraste (ampliação histogâmica) e aritmética de bandas. A aritmética aplicada foi o Normalized Difference Water Index (NDWI), que é um índice usado para delimitar e realçar corpos de água em imagens de sensoriamento remoto (Mcfeeters 1996). A fórmula matemática do índice anteriormente mencionado é:

$$NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)} \quad (1)$$

Onde, GREEN é a faixa espectral do verde na região do visível, e o NIR é a faixa espectral do infravermelho próximo (Mcfeeters 1996). Para os satélites Landsat 5 e Landsat 8, as larguras de bandas dos espectros verde e NIR são, respectivamente, de 0,500 a 0,600 μm e 0,760 a 0,900 μm ; e de 0,533 a 0,590 μm e 0,851 a 0,879 μm (USGS 2022).

O índice anterior foi usado na composição RGB NIR-GREEN-NDWI, porque possibilita uma boa distinção da linha de costa com base nas cores em tons amarelos, representando a areia, e azuis, para águas (Grigio et al. 2005). No presente estudo, as composições formadas no software SPRING (Camara et al. 1996) foram as seguintes: RGB 4-2-NDWI, para imagens do Landsat 5, e RGB 5-3-NDWI, para

imagens do Landsat 8. Essas composições são adotadas frequentemente em estudos sobre a zona costeira com imagens em alta (Dai et al. 2019) e baixa resoluções espaciais (Abu Zed et al. 2018).

A vetorização manual da linha de costa foi realizada no software QGIS 3.34, de todas as imagens que constam na Tabela 1, tomando como referencial a área de contato seco/molhado. Esse proxy foi escolhido por ser um indicador estável (Dolan et al. 1978) e claramente visível em imagens de satélite (Boak & Turner 2005). A etapa seguinte consistiu na aplicação de técnicas de estatística para quantificar a variação da linha de costa no software Digital Shoreline Analysis System (DSAS) versão 6 (USGS 2024). Antes da execução dos cálculos, foi criada uma linha de base offshore no QGIS 3.34, já dentro do DSAS, foram gerados os transectos perpendiculares à linha de base com distância entre eles de 100 m.

Subsequentemente, foram calculadas as medidas de distâncias entre a linha de base e as linhas de costa históricas para a obtenção das taxas de variação em cada transecto. Os métodos estatísticos empregados foram o End Point Rate (EPR) e o Linear Regression Rate (LRR). O EPR consiste na divisão entre a distância total de variação da linha de costa e o intervalo de tempo usado na análise (Yue & Liu 2019). Enquanto o LRR resulta da execução de uma linha de regressão de mínimos quadrados em todos os dados da linha de costa que fazem parte do banco de dados (Ciritci & Türk 2020). O cálculo do EPR é realizado do seguinte modo:

$$EPR = \frac{(d1-d0)}{(t1-t0)} \text{ m/ano} \quad (2)$$

onde:

d1: posição da linha de costa mais antiga;

d0: posição da linha de costa mais recente;

t1: ano da linha de costa mais recente;

t0: ano da linha de costa mais antigo (Ciritci & Türk 2020)

Já o LRR é calculado conforme a equação abaixo (Himmelstoss et al. 2018):

$$y = mx + b \quad (3)$$

onde:

y: distância da linha de base (metros);

m: inclinação (taxa de mudança);

b: intercepto (onde a linha cruza o eixo y)

Por fim, com base nos resultados dos cálculos estatísticos da variação da linha de costa, foram estabelecidos os valores para classificar o seu comportamento. Inicialmente foram calculadas a média e o desvio-padrão, onde o resultado serviu para o estabelecimento dos limites de classes (Silva et al. 2023). A classe acreção é estabelecida com base no valor da média mais o desvio-padrão; já a acreção alta é a média mais duas vezes o desvio-padrão. Enquanto o cálculo da classe erosão é a média menos o desvio-padrão; já a erosão alta é a média menos duas

vezes o desvio-padrão. Para a determinação da classe estabilidade, é considerado o intervalo dos valores entre as classes acreção e erosão. As classes foram as seguintes, tanto para o EPR como para o LRR: i) acreção alta ($> 3,5$ m/ano); ii) acreção ($1,5$ a $3,5$ m/ano); iii) estabilidade ($-1,5$ a $1,5$ m/ano); iv) erosão ($-1,5$ a $-3,5$ m/ano); e, v) erosão alta ($< -3,5$ m/ano).

4. Resultados e Discussão

Observa-se que, nos estudos sobre o comportamento da linha de costa mediante análise de imagens de satélite, não existe padronização quanto à obrigatoriedade de quantificação das incertezas e à incorporação de margens de erro nas avaliações históricas. De modo semelhante, a utilização dessas incertezas para definir os limites das classes de variação da linha de costa também carece de uniformidade. Um exemplo é o trabalho de Matos et al. (2022), que utilizaram dados do Landsat de 30 m para analisar a erosão costeira, o erro calculado foi 2,30 m/ano (p. 1035), apesar disso, esse erro não foi utilizado na determinação dos limites de classes, haja vista os autores considerarem como erosão os valores de: “0 - 0,2 m/ano, 0,2 - 1,5 m/ano e $> 1,5$ m/ano” (p. 1036). Analogamente, Ennouali et al. (2023) também utilizaram imagens de 30 m, estabeleceram o erro de 2,25 m/ano, contudo, não determinaram os intervalos das classes do comportamento da linha de costa com base no erro, ao considerarem valores “ $\leq -0,12$ m/yr” (p. 7) como erosão. Esses casos evidenciam que, mesmo quando as incertezas são calculadas, elas não são integradas à classificação da dinâmica costeira.

Neste estudo, optou-se por não estipular o erro e nem o utilizar para definir os limites das classes de variação da linha de costa, seguindo abordagens metodológicas semelhantes à de Song et al. (2018) e estudos recentes (Abd-Elhamid et al. 2023; Amrouni et al. 2024; Novak et al. 2024; Arasi et al. 2025). Adotou-se, em vez disso, a proposta de Silva et al. (2023) que estabelece os limites com base nos valores da média e do desvio-padrão dos transectos da área de estudo. Essa escolha justifica-se pela aderência aos padrões locais, conforme validado por evidências de erosão em campo, que permitiu delimitar intervalos de classes representativos para o município de Areia Branca.

No litoral de Areia Branca, no período 1984-1992 predominou a estabilidade da linha de costa com 50% (Fig. 2), o que equivale a 18,9 km de extensão. Contudo, a junção das classes de erosão e erosão alta explicitam uma forte tendência erosiva, já que elas ficaram com 44,9% (17 km), sendo 26,8% (10,1 km) de trechos com recuos superiores a uma taxa de 3,5 m/ano que é bastante significativo. A maior taxa de recuo foi de 31,3 m/ano (EPR) em um trecho distal da foz do rio Apodi-Mossoró, na praia do Pontal (Fig. 3). Na mesma praia, em um trecho mais proximal à foz, ocorreu a maior taxa de acreção, com 25 m/ano (EPR).

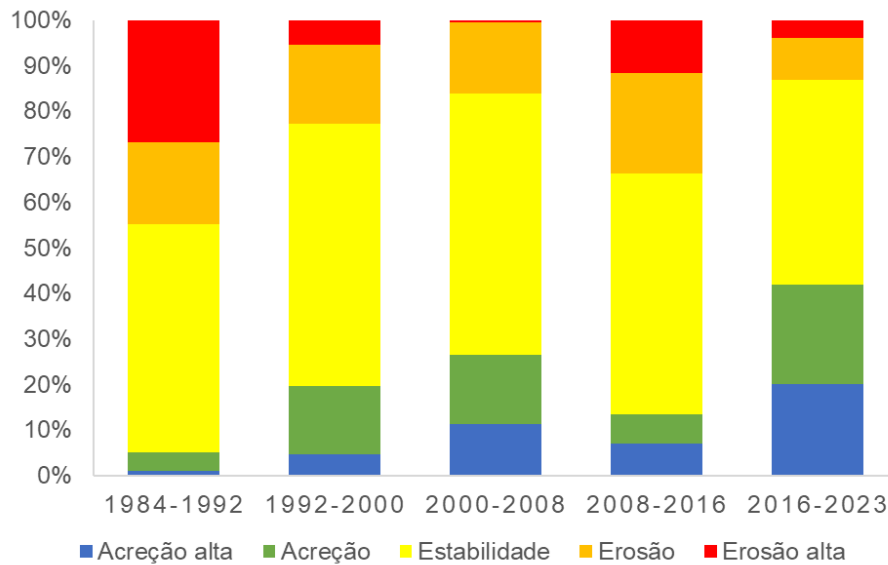


Figura 2: Porcentagem das classes que indicam o comportamento da linha de costa em EPR para Areia Branca.

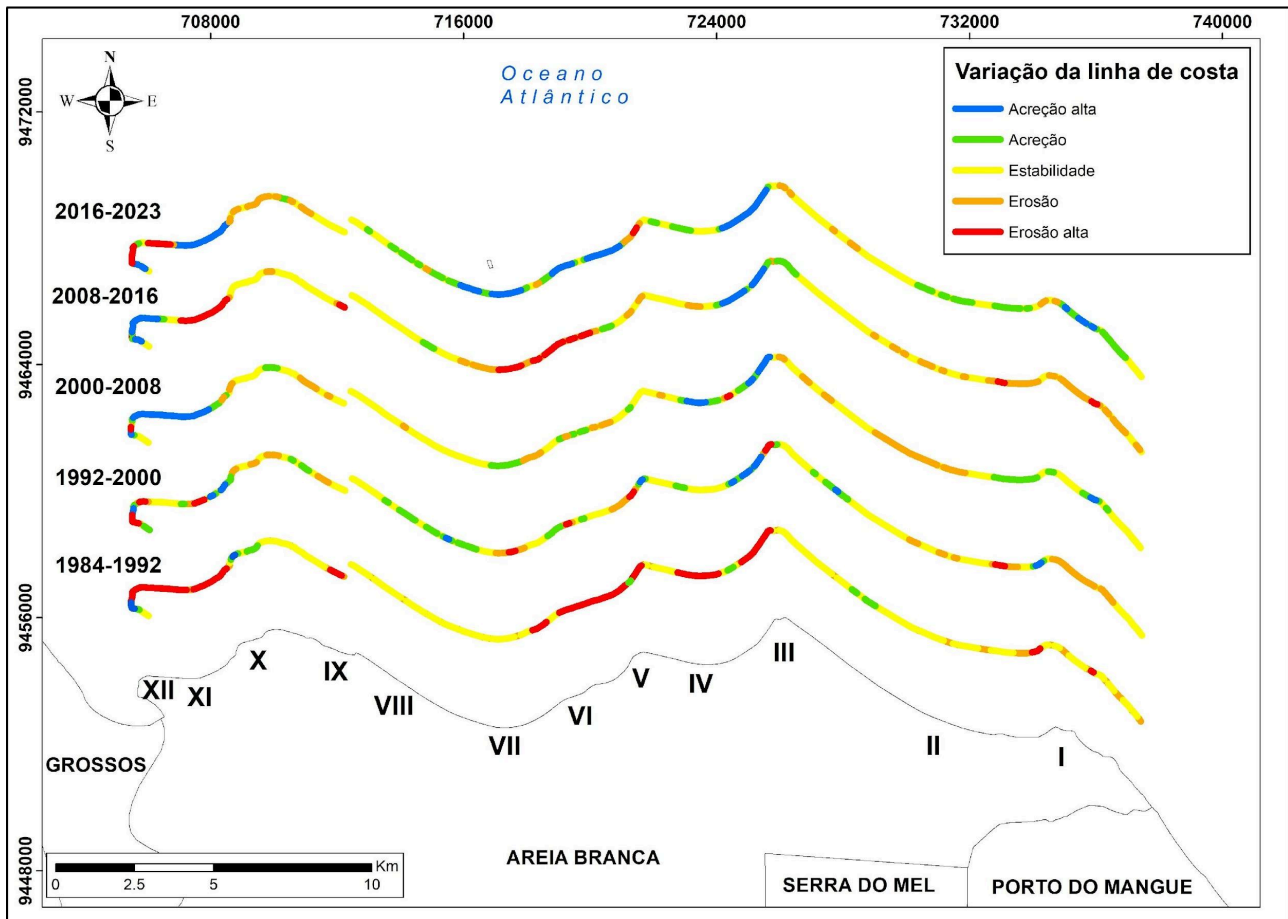


Figura 3: Mapa de variação da linha de costa com valores de EPR, em períodos, para Areia Branca. I – praia de Ponta do Mel; II – praia de Morrinhos; III – praia de São Cristóvão; IV – praia de Redonda; V – praia de Redondinha; VI – praia de Morro Pintado; VII – praia de São José; VIII – praia da Baixa Grande; IX – praia de Paraíso; X – praia de Upanema; XI – praia do Meio; XII – praia do Pontal.

Silva et al. (2015), por meio da análise de mudança de polígonos, também observaram a atuação dos processos de erosão e acreção na praia do Pontal, respectivamente, com -267 m e 84 m lineares, no período 1987-1991. Transformando esses valores em taxas anuais, têm-se: 66,7 m de erosão e 21 m de acreção. Para além da erosão na praia do Pontal, foram

identificados recuos nas seguintes praias: Ponta do Mel, São Cristóvão, Redonda, Redondinha, Morro Pintado, Paraíso, Upanema e Meio (Tabelas 2 e 3).

Em um estudo sobre a dinâmica costeira de Grossos e Tibau-RN, situados a *downdrift* de Areia Branca, Amaro e Araújo (2008) identificaram a predominância

da erosão no período entre 1969 e 1986, com recuo de até 205 m em Tibau. Enquanto no período entre 1986 e 1989, ocorreu prevalência da acreção, mas com recuos de até 30 m em Grossos (Amaro & Araújo 2008). No período entre 1984 e 1991, na foz do rio Jaguaribe, na margem de Fortim, no Ceará, foi constatado um recuo de 241 m (Silva et al. 2019), equivalente a uma taxa de 34,4 m/a. Com esses estudos, constata-se que a tendência de erosão, com recuos expressivos, também ocorreu em alguns trechos em outros litorais.

Para o segundo período (1992-2000), ocorreu novamente à prevalência da estabilidade com o aumento do tamanho dos trechos estáveis que

perfizeram 57,7% (21,8 km). O processo erosivo, que no período anterior atingiu um trecho costeiro expressivo, diminuiu significativamente para 22,8% (8,6 km), enquanto a progradação ficou com 19,6% (7,4 km). A maior taxa de erosão foi observada na praia do Pontal, com 29,8 m/ano (EPR). Silva et al. (2015) identificaram para essa praia recuo linear de 75 m, equivalente à taxa de 7,5 m, no período 1991-2001. Também foram constatados recuos nas seguintes praias: Ponta do Mel, Morrinhos, Redondinha, Morro Pintado, São José e Upanema (Tabela 2 e 3). Já a maior taxa de acreção foi em São Cristóvão, com 6,9 m/ano (EPR).

Tabela 2: Dados de variação da linha de costa das praias de Areia Branca, RN.

Praia	Taxa de variação		Período
	Erosão (m/ano)	Acreção (m/ano)	
Ponta do Mel	-8,2	-	1984-1992 EPR
	-4,9	4,2	1992-2000 EPR
	-	4,6	2000-2008 EPR
	-5,5	-	2008-2016 EPR
	-3	4,2	2016-2023 EPR
	-	-	1984-2023 EPR
	-	-	1984-2023 LRR
Morrinhos	-3,4	-	1984-1992 EPR
	-2	-	1992-2000 EPR
	-3,4	-	2000-2008 EPR
	-2,5	-	2008-2016 EPR
	-	2,9	2016-2023 EPR
	-	-	1984-2023 EPR
	-	-	1984-2023 LRR
São Cristóvão	-18,5	2	1984-1992 EPR
	-9,6	6,8	1992-2000 EPR
	-3,9	19,6	2000-2008 EPR
	-1,7	12,9	2008-2016 EPR
	-3	20	2016-2023 EPR
	-1,6	4,5	1984-2023 EPR
	-	9,4	1984-2023 LRR
Redonda	-5,3	-	1984-1992 EPR
	-	1,9	1992-2000 EPR
	-	5,3	2000-2008 EPR
	-2	3,2	2008-2016 EPR
	-	2,3	2016-2023 EPR
	-	-	1984-2023 EPR
	-	-	1984-2023 LRR
Redondinha	-17,3	1,6	1984-1992 EPR
	-5,4	3,9	1992-2000 EPR
	-1,6	2	2000-2008 EPR
	-3,3	-	2008-2016 EPR
	-3,8	4	2016-2023 EPR
	-4,7	-	1984-2023 EPR
	-2,2	-	1984-2023 LRR
Morro Pintado	-11	-	1984-1992 EPR
	-3,7	2,7	1992-2000 EPR
	-3,3	2,6	2000-2008 EPR
	-5,6	3,1	2008-2016 EPR
	-1,8	10,2	2016-2023 EPR
	-3,4	-	1984-2023 EPR
	-2,4	-	1984-2023 LRR

Tabela 3: Dados de variação da linha de costa das praias de Areia Branca, RN.

Praia	Taxa de variação		Período
	Erosão (m/ano)	Acreção (m/ano)	
São José	-2,9	-	1984-1992 EPR
	-3,6	2,5	1992-2000 EPR
	-1,8	3,3	2000-2008 EPR
	-5,4	-	2008-2016 EPR
	-	7,2	2016-2023 EPR
	-1,7	-	1984-2023 EPR
	-1,5	-	1984-2023 LRR
Baixa Grande	-1,6	-	1984-1992 EPR
	-	3,6	1992-2000 EPR
	-1,5	-	2000-2008 EPR
	-1,8	2,1	2008-2016 EPR
	-1,8	4,3	2016-2023 EPR
	-	-	1984-2023 EPR
	-	-	1984-2023 LRR
Paraíso	-4,4	-	1984-1992 EPR
	-2,7	1,6	1992-2000 EPR
	-2,6	-	2000-2008 EPR
	-3,7	-	2008-2016 EPR
	-1,8	-	2016-2023 EPR
	-	-	1984-2023 EPR
	-1,5	-	1984-2023 LRR
Upanema	-16,3	4,4	1984-1992 EPR
	-4,5	5,8	1992-2000 EPR
	-2,7	22	2000-2008 EPR
	-18,3	-	2008-2016 EPR
	-3,4	36	2016-2023 EPR
	-	4,6	1984-2023 EPR
	-	3,3	1984-2023 LRR
Meio	-7,3	-	1984-1992 EPR
	-2,3	1,5	1992-2000 EPR
	-	21,5	2000-2008 EPR
	-16,7	3	2008-2016 EPR
	-10,5	15,6	2016-2023 EPR
	-	4,4	1984-2023 EPR
	-	5,2	1984-2023 LRR
Pontal	-31,3	25	1984-1992 EPR
	-29,8	5,2	1992-2000 EPR
	-9,9	19,5	2000-2008 EPR
	-7,2	10,3	2008-2016 EPR
	-17,7	14,9	2016-2023 EPR
	-9,6	4,2	1984-2023 EPR
	-7,8	4,4	1984-2023 LRR

Amaro e Araújo (2008) constataram o predomínio da erosão no período entre 1989 e 1996, com recuo máximo de 50 m em Grossos-RN. Entre 1996 e 1999, também predominou a erosão para a zona costeira de Grossos e Tibau-RN (Amaro & Araújo 2008). No litoral oriental do Rio Grande do Norte, houve a predominância da deposição no período entre 1988 e 1998, contudo, expressivas taxas de recuo ocorreram ao longo desse litoral: -8,25 m/a na Praia de Pititinga, Rio do Fogo; -4,48 m/a nas Praias de Sibaúma e Pipa, Tibau do Sul; -3,54 m/a em Baía Formosa; e -3,51 m/a na Praia de Pirangi do Norte, Nísia Floresta (Matos et al. 2022). Em Icapuí (CE), no período entre 1993 e 1998, foram registrados recuos da linha de costa nos

setores central leste e central oeste (Silva Neto et al. 2020). No período entre 1991 e 2000, na foz do rio Jaguaribe, na margem de Fortim (Ceará), ocorreu um recuo de 158 m (17,5 m/a) (Silva et al. 2019). Esses estudos demonstram que a erosão com taxas altas de recuos em Areia Branca não é um fato isolado desse município, mas é uma tendência observada também em outros litorais.

Semelhante ao período anterior, entre 2000-2008, prevaleceu a estabilidade da linha de costa, com 57,3% (21,7 km). A progradação continuou em uma crescente e contabilizou 26,4% (10 km), onde a maior taxa de acreção foi de 22 m/ano (EPR) na praia do Meio.

Enquanto os trechos costeiros onde a erosão atuou continuaram a diminuir, contabilizando 16,2% (6,1 km). A maior taxa de recuo da linha de costa foi constatada na praia do Pontal, com 9,9 m/ano (EPR). Silva et al. (2015) identificaram um recuo de 97 m, equivalente a 9,7 m/ano, no período entre 2001 e 2011. Boori et al. (2010) identificaram para o período 1986-2009 os seguintes valores de acreção e erosão, respectivamente, 17 m/ano e -17,67 m/ano. Já no período 2003-2010, Boori et al. (2012) constataram os seguintes valores para acreção e erosão, respectivamente, 80,06 m/ano e -313,39 m/ano. Os dois estudos anteriormente citados, foram realizados na foz do rio Apodi-Mossoró, contudo, os autores não mencionaram em quais praias foram constatados os valores de acreção e erosão, mas diante disso é possível perceber que essa área da foz é um ambiente muito dinâmico. A erosão atingiu também as praias de Morrinhos, São Cristóvão, Redondinha, Morro Pintado, Paraíso e Upanema (Tabela 2 e 3).

Em Grossos, a acreção predominou nos períodos 1999-2001 e 2001-2002, contudo, alguns trechos apresentaram recuos (Amaro & Araújo 2008). Novamente no litoral oriental do Rio Grande do Norte, agora para o período entre 1998 e 2008, ocorreu o predomínio dos processos deposicionais, contudo, foi percebido um aumento dos trechos erosivos. Taxas significativas de recuos foram registradas na Praia de Pititinga, em Rio do Fogo, com -6,07 m/a, na Praia do Meio, em Natal, com -4,27 m/a, na Praia de Sagi, em Baía Formosa, com -4,01 m/a e na Praia de Muriú, em Ceará-Mirim, com -3,50 m/a (Matos et al. 2022). No município de Icapuí (CE), no seu setor central oeste da linha de costa, ocorreu erosão no período entre 2003 e 2008 (Silva Neto et al. 2020). Na foz do rio Jaguaribe, na margem de Fortim (Ceará), no período entre 2000 e 2008, ocorreu um recuo de 182 m (22,7 m/a) (Silva et al. 2019). As tendências de recuos significativos constatadas em Areia Branca também são percebidas em outros litorais, conforme visto acima.

No período entre 2008 e 2016, a estabilidade da linha de costa novamente predominou, mas com uma redução do seu tamanho para 52,8% (20 km). Nesse período, ocorreu um aumento significativo da retrogradação da linha de costa, que teve 33,7% (12,7 km) no agregado das classes de erosão. A maior taxa de recuo foi na praia de Upanema, com 18,3 m/ano (EPR), enquanto Silva et al. (2015) constataram um recuo de 107 m, que corresponde a uma taxa de 35,6 m/ano, no período 2011-2014. A diferença da análise temporal pode explicar a discrepância dos valores de recuos, contudo, ambos apontam a forte erosão em um trecho na praia de Upanema. Além disso, foram observados pontos erosivos em todas as praias de Areia Branca.

Entre 2008 e 2018, foi observada a predominância da erosão no litoral oriental do Rio Grande do Norte, com taxas expressivas de recuos na Barra do Cunhaú, em Canguaretama, com -12,68 m/a, em Natal, com

-7,68 m/a, na praia de Perobas, em Touros, com -7,34 m/a e em Baía Formosa, com -4,46 m/a (Matos et al. 2022). Em Icapuí (CE), no setor central oeste, verificaram-se recuos no período entre 2008 e 2013, enquanto no setor leste desse município, ocorreu erosão no período entre 2013 e 2018 (Silva Neto et al. 2020). No intervalo temporal entre 2008 e 2018, foram observados recuos nas margens do rio Jaguaribe, em Aracati e Fortim (CE), respectivamente, 239 m (23,9 m/a) e 188 m (18,8 m/a) (Silva et al. 2019). Assim, os resultados do presente trabalho alinham-se a estudos regionais que documentam taxas de recuos expressivas.

Já os trechos onde ocorreram a progradação reduziram para 13,5% (5,1 km) no período 2008-2016. A praia com a maior taxa de acreção foi São Cristóvão, com 12,9 m/ano (EPR). Na praia do Meio, foi constatada uma taxa de progradação de 3 m/ano, valor bem inferior à taxa de 18,6 m/ano (56 m) observada por Silva et al. (2015) no período 2011-2014. A diferença da amplitude temporal pode ser a resposta para essa discrepância, contudo, ambos sinalizam para a progradação no recorte temporal anterior.

Novamente, a estabilidade da linha de costa predominou, agora para o período entre 2016 e 2023. Contudo, a diferença dela para a progradação, representada pela junção das classes de acreção e acreção alta, foi pequena, isto é, 44,9% (17 km) de estabilidade e 42% (15,9 km) de progradação. A maior taxa de acreção foi verificada na praia de Upanema, com 36 m/ano (EPR). Já a retrogradação da linha de costa somou 13,1% (5 km), com recuos nas praias de Ponta do Mel, São Cristóvão, Redondinha, Morro Pintado, Baixa Grande, Paraíso, Upanema e Meio (Tabela 2 e 3), sendo a maior taxa erosiva na praia do Pontal, com 17,7 m/ano (EPR).

Para as praias de Peroba e Redonda, em Icapuí-CE, Chacanza et al. (2022) identificaram, no período entre 2015 e 2020, o predomínio da erosão com taxas de recuos de até -3,34 m/ano (Chacanza et al. 2022). Enquanto no período entre 2020 e 2021 a estabilidade prevaleceu na praia de Peroba, contudo, ocorreram recuos com taxas de até -2,74 m/ano, já na praia de Redonda, predominou a acreção, mas registraram-se recuos com taxas de até -2,89 m/ano (Chacanza et al. 2023). Apesar de no primeiro período (2015-2020) ter sido identificada a prevalência da erosão nas praias de Peroba e Redonda, no período seguinte (2020-2021) ocorreu a predominância da acreção e da estabilidade para as praias anteriormente mencionadas. Essa tendência de estabilidade/progradação no período mais recente (2020-2021), em Icapuí, vai de encontro com os resultados aqui presentes que demonstraram um comportamento mais estável com propensão deposicional, contudo, com trechos em erosão, fato também observado nos estudos acima mencionados.

Na análise do período 1984-2023, pelo método do EPR, a estabilidade prevaleceu com 83% (31,4 km), enquanto a progradação foi superior à retrogradação,

respectivamente, 10,3% (3,9 km) e 6,7% (2,5 km) (Fig. 4). Resultado parecido foi observado com o LRR: estabilidade, 82% (31 km); progradação, 14,6% (5,5 km); retrogradação, 3,4% (1,3 km). Assim, ambos métodos apontaram para a tendência geral de estabilidade na linha de costa de Areia Branca (Fig. 5).

Para os dois métodos utilizados, a maior taxa de recuo constatada foi na praia do Pontal, com 9,6 m/ano

(EPR) e 7,8 m/ano (LRR). Silva et al. (2020) também identificaram um recuo da linha de costa, no período entre 1984 e 2016, na praia do Pontal, no valor de 162 m, equivalente à taxa de 5 m/ano. Assim, o presente estudo constatou um aumento da taxa de erosão ao longo dos anos na praia do Pontal. Já as maiores taxas de acreção foram observadas na praia de São Cristóvão, tanto pelo método EPR como pelo LRR, respectivamente, 4,5 m/ano e 9,4 m/ano.

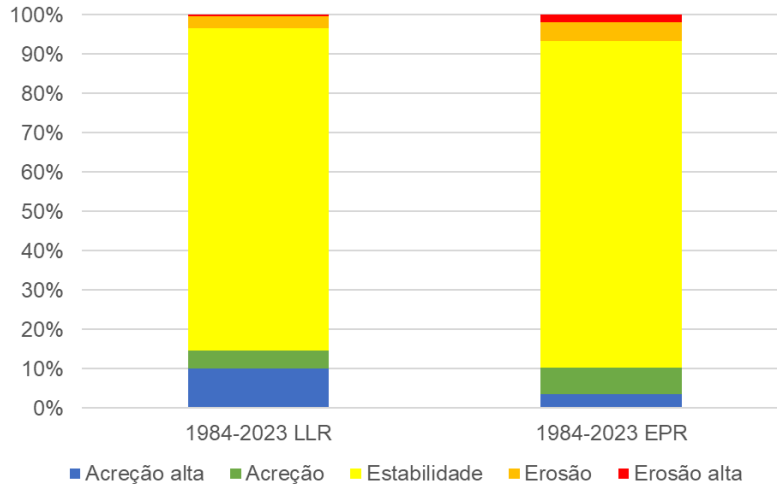


Figura 4: Porcentagem das classes que indicam o comportamento da linha de costa em EPR e LRR, no período 1984-2023, para Areia Branca.

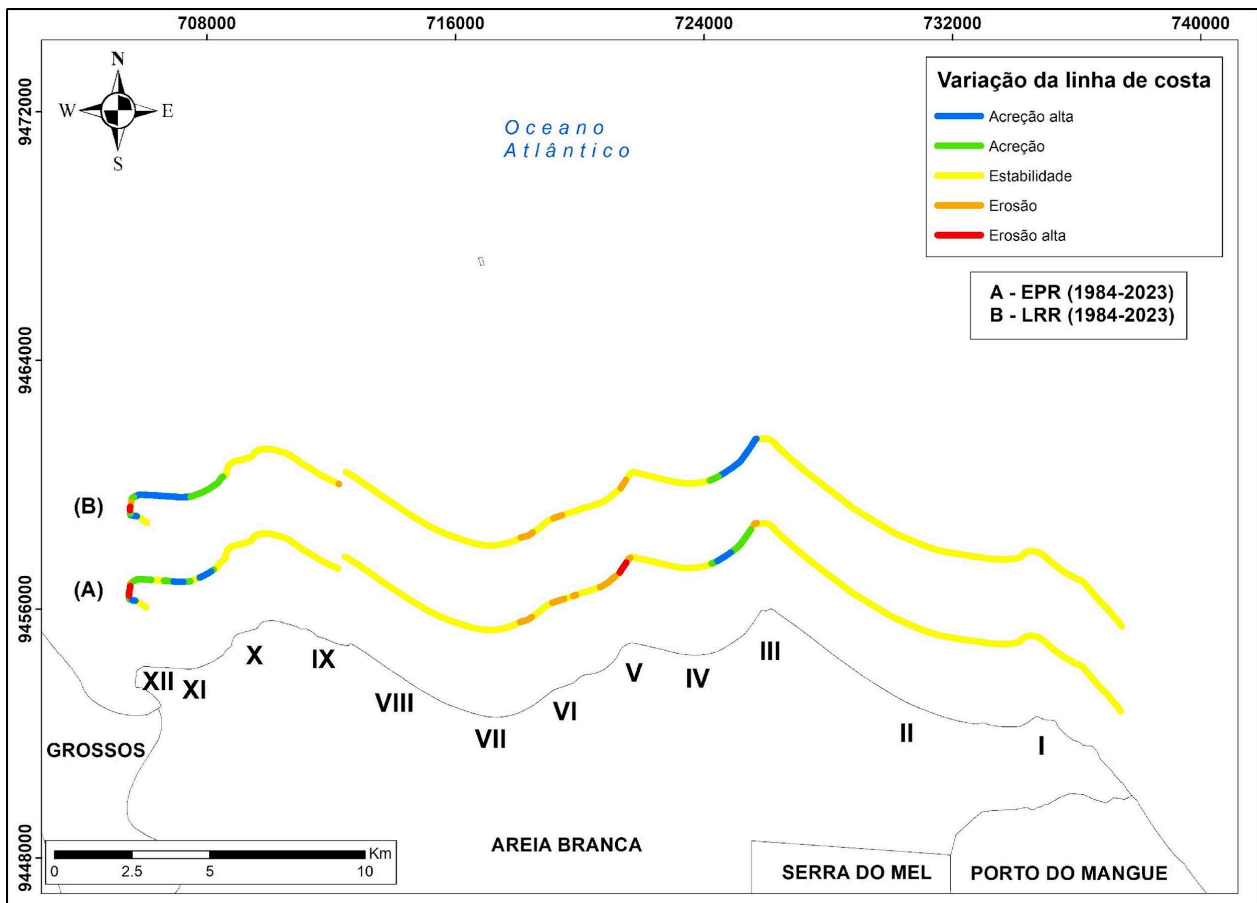


Figura 5: Mapa de variação da linha de costa com valores de EPR e LRR, período 1984-2023, para Areia Branca. A (EPR 1984-2023); B (LRR 1984-2023). I – praia de Ponta do Mel; II – praia de Morrinhos; III – praia de São Cristóvão; IV – praia de Redonda; V – praia de Redondinha; VI – praia de Morro Pintado; VII – praia de São José; VIII – praia da Baixa Grande; IX – praia de Paraíso; X – praia de Upanema; XI – praia do Meio; XII – praia do Pontal.

O esporão arenoso de Galinhos-RN, localizado à *updrift* de Areia Branca, teve um crescimento lateral de 234 m no período entre 1954 e 1989 e uma intensa erosão entre 1989 e 2000, com recuos de até 355 m (Lima et al. 2002). No litoral de Grossos e Tibau-RN, no período entre 1969 e 2002, prevaleceu a erosão com recuos de até 200 m (Amaro & Araújo 2008). Matos et al. (2022) identificaram, para o litoral oriental do Rio Grande do Norte, no período entre 1988 e 2018, o predomínio da erosão no trecho ao sul do estuário do rio Jundiá-Potengi até a divisa com a Paraíba, enquanto desse estuário para o norte, houve a prevalência da acreção. No período entre 1984 e 2020, cerca de 62,4% do litoral leste do Ceará sofreu com a erosão costeira, onde taxas significativas de recuos foram percebidas no estuário do rio Pirangi, com -11,9 m/ano, e na foz do rio Jaguaribe, em Fortim, com -10,77 m/ano (Leite & Almeida 2023). Diante disso, constata-se que a presença de trechos erosivos em Areia Branca segue uma tendência regional observada no litoral oriental do Rio Grande do Norte e no litoral leste do Ceará.

Em alguns períodos, as praias de Ponta do Mel e Morrinhos (I e II, respectivamente da Fig. 1) sofreram com a erosão. A expressão geomorfológica da linha de costa de Ponta do Mel é influenciada por um lineamento estrutural de direção NW-SE (Maia & Bezerra 2014), onde a Formação Barreiras projeta-se ao mar formando um pequeno promontório. Essa feição geomorfológica vai ter implicações na dinâmica costeira de Ponta do Mel e Morrinhos, pois o comportamento expresso nessa área será semelhante ao observado em litorais em espiral, onde o trecho a *downdrift* do promontório apresenta processos erosivos (Claudino-Sales & Carvalho 2014).

As praias de Ponta do Mel e Morrinhos são consideradas de risco extremamente alto às inundações costeiras em cenários de mudanças climáticas (Araújo et al. 2021). Na praia de Ponta do Mel, em condições de marés de sizígia, o mar atinge as barracas presentes nela. Imagens de 2004 dessa praia, visualizadas no Google Earth, mostram que as barracas ficavam a aproximadamente 39 m da linha de costa, atualmente, a distância é menor do que 7 m. Enquanto na praia de Morrinhos, o mar alcança o pós-praia e a vegetação na retroterra, onde é percebida as raízes expostas de coqueiros, bem como árvores tombadas (Fig. 6A). Essas duas praias anteriormente mencionadas são influenciadas pela disponibilidade de sedimentos provenientes da foz da bacia do rio Piranhas-Açu. Nessa bacia, as inúmeras obras de barramentos/reservatórios de água, foram estimadas em 1.536 (Medeiros 2020), impactam negativamente na dinâmica sedimentar costeira, pois existe uma

diminuição no aporte de sedimentos que seria fornecido à dinâmica litorânea. Ainda, a ocupação da área de *overpassing* costeiro na praia de Ponta do Mel possui implicações diretas no fornecimento de sedimentos no sistema praia-dunas, impactando negativamente no balanço sedimentar, semelhante ao observado por Meireles et al. (2006) no Ceará.

A praia de São Cristóvão (III da Fig. 1), semelhante à praia de Ponta do Mel, tem sua fisiografia influenciada por lineamentos estruturais de direção NW-SE (Maia & Bezerra 2014), onde a Formação Barreiras projeta-se ao mar formando um promontório bem pronunciado. Essa feição geomorfológica tem implicação na praia de Redonda (IV da Fig. 1), localizada a *downdrift* do promontório. A erosão que ocorreu a *downdrift* do promontório teve redução de suas taxas ao longo dos períodos aqui analisados em São Cristóvão, bem como em alguns períodos não foram identificados recuos da linha de costa em Redonda (Tabela 2 e 3). A retrogradação que ocorreu em alguns períodos a *updrift* da praia de São Cristóvão, pode ser resultado da abrasão marinha sobre um material consolidado mais friável das falésias presentes nessa praia. A susceptibilidade delas à erosão se torna maior, pois há uma escassez de vegetação para protegê-las da erosão tanto marinha como pluvial (Camara et al. 2019). Nas duas praias anteriormente mencionadas, a população ocupa parte da área de *overpassing* costeiro, impactando negativamente no balanço sedimentar.

As praias de Morro Pintado e São José (VI e VII da Fig. 1) estão localizadas no trecho de maior curva da espiral do promontório anterior. Isso é um fator que contribui para a erosão observada nas duas praias anteriormente mencionadas. Evidências de erosão marinha são constatadas por meio da presença de árvores caídas, formação de escarpas nas dunas frontais, trechos com estreita faixa de praia. Como outro exemplo de evidência de erosão costeira, parte da via pública foi destruída pelo avanço do mar. Em 1969, essa estrutura localizava-se a aproximadamente a 48 metros da linha de costa; atualmente, mesmo em condições de marés normais, a água já atinge a via. Diante desse cenário, o poder público construiu um enrocamento com escombros para conter o avanço do mar em um trecho entre as duas praias (Fig. 6B). Essa medida se mostrará ineficaz, pois não foram feitos estudos das forçantes hidrodinâmicas locais e os materiais usados não são adequados para o tipo de intervenção costeira realizada. Além disso, essa ação poderá causar erosão a *downdrift* como observado em Fansa, na Índia (Balaji et al. 2017) e no Balneário do Hermenegildo, no Rio Grande do Sul (Santos et al. 2024) ou mesmo potencializá-la, como observado no município de Caucaia, no Ceará (Paula 2015).



Figura 6: A, árvores tombadas e raízes de coqueiros expostas na praia de Morrinhos. B, Enrocamento construído com escombros entre as praias de Morro Pintado e São José. C, via pública destruída e residências ao fundo ameaçadas, praia de Upanema. Praia do Pontal: D, escombros da antiga base do farol; E, árvores caídas, Areia Branca, 2024.

Na praia de Paraíso existe um braço de mar que a separa da praia de Baixa Grande (VIII e IX, respectivamente, da Fig. 1). Esse braço de mar já foi bastante alterado pela indústria salineira e pela carcinicultura que existiu em Areia Branca. Na área foi construído um barramento para controlar a dinâmica das águas marinhas e disponibilizá-la para a produção de sal marinho. Outro trecho dele foi soterrado. Essas modificações implicaram diretamente na dinâmica da praia de Paraíso, provocando erosão local, que só não é maior devido à ação de proteção proporcionada pelos arenitos dispostos defronte à praia (Vital et al. 2018). Para a proteção da comunidade frente à erosão costeira, foi construído um pequeno muro de concreto.

Nas análises por períodos, em especial o de 2016-2023, a erosão atuou significativamente na praia de Upanema (X da Fig. 1). Essa praia possui dois trechos de curvatura espiral, com destaque para o trecho próximo à praia do Meio (XI da Fig. 1), que tem a curva mais acentuada. Esses dois trechos possuem evidências de erosão. No primeiro, o mar destruiu parte da via pública que ficava defronte à praia e ameaça destruir as residências presentes na retroterra (Fig. 6, C). No segundo, a erosão destruiu parte do calçadão existente na praia. Essa praia é semi-abrigada à retaguarda por recifes de arenito (Vital et al. 2018), fazendo com que a energia das ondas seja parcialmente interceptada antes de incidir na praia. Além da forma em espiral da costa que favorece a erosão costeira a *downdrift* (Claudino-Sales & Carvalho 2014), a ocupação urbana na área de *overpassing* costeiro interfere negativamente na dinâmica sedimentar do sistema praia-dunas. Esse processo de ocupação urbana, que acarreta erosão costeira, por meio do bloqueio do transpasse de sedimentos, já foi observado em vários trechos do litoral do Ceará (Meireles et al. 2006).

A praia do Pontal (XII da Fig. 1) foi a que teve valores mais significativos de recuos da linha de costa. O processo erosivo nesta praia está associado à dinâmica da foz do rio Apodi-Mossoró, a importação de bancos arenosos para o interior do estuário, devido às condições de mesomaré locais, e a baixa vazão continental do rio (Medeiros 2020, Pinheiro et al. 2020), promove o assoreamento dele, por conseguinte, a diminuição da profundidade da calha. Assim, nas marés cheias, como a calha do rio encontra-se assoreada, as massas de águas avançam costa adentro, provocando o recuo da praia. Nessa praia, o farol foi deslocado duas vezes devido ao avanço do mar (Fig. 6D e E).

Um fator que impactará diretamente as praias de Areia Branca será a elevação do nível do mar (Kulp & Strauss 2019), quando novos trechos erosivos poderão surgir ao longo do litoral estudado, bem como o aumento da intensidade dos recuos, onde já são constatados atualmente. A média global do nível do mar aumentou em 0,20 m no período entre 1901 e 2018, e continuará a subir nos próximos anos,

condicionada à elevação da temperatura global que impactará o degelo e a expansão térmica dos oceanos (Masson-Delmontte et al. 2021). Boori et al. (2010) identificaram que a foz do rio Apodi-Mossoró e as praias adjacentes, como Pontal, Meio, Upanema, Paraíso e Baixa Grande, são altamente susceptíveis à elevação do nível do mar. Para a área urbana de Areia Branca, situada próxima da foz do rio Apodi-Mossoró, em projeções de inundações costeiras, estima-se que, em cenários que variam do atual, até o mais pessimista, a área atingida pelas águas será de 16,2% a 39,5% (Aguilar et al. 2019).

5. Conclusões

No litoral de Areia Branca, predominou a estabilidade da linha de costa nas análises por períodos e por regressão linear. Contudo, a análise por períodos realçou o papel dos processos de acreção e erosão mascarados na regressão linear. A análise por períodos (EPR) revelou que os processos de acreção e erosão apresentaram uma tendência de alternância, ainda que não estritamente cíclica, com magnitudes inferiores à estabilidade dominante. No primeiro período (1984-1992), predominou a estabilidade acompanhada de uma forte ação erosiva. No segundo (1992-2000), houve a prevalência da estabilidade e os processos de erosão e acreção tiveram valores próximos, respectivamente, 22,8% e 19,6%. Nos demais períodos, houve predominância da estabilidade associada tanto com a acreção (2000-2008 e 2016-2023) como com a erosão (2008-2016).

Apesar da predominância da estabilidade, alguns trechos requerem atenção devido à ação erosiva, são eles: Praia de Redondinha, Praia de São José, Praia de Morro Pintado, Praia de Paraíso, Praia de Upanema e Praia do Pontal. As causas da erosão são variadas, por exemplo, ocupação da zona de *overpassing* costeiro que interfere no balanço sedimentar; a diminuição do aporte sedimentar provenientes dos corpos hídricos; a morfologia em espiral, em alguns trechos, que contribui para um pequeno aporte sedimentar na área com curvatura mais acentuada; a diminuição da vazão hídrica na foz do rio Apodi-Mossoró, associada com a dinâmica das marés locais, contribuem para a redução da profundidade da calha do rio e, assim, nas marés cheias, as massas de água avançam sobre a praia, materializando a erosão costeira.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pelo financiamento da pesquisa por meio do PDPGPOSDOC / Programa de Desenvolvimento da Pós-Graduação (PDPG) - Pós-Doutorado Estratégico (2912/2022 / 88881.691894/2022-01), que foi concedido ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Os autores agradecem também ao Projeto Cetáceos da Costa Branca (PCCB/UERN) pelo apoio logístico.

Declaração de autoria

M.T.S: Conceptualization, Formal Analysis, Investigation, Methodology, Validation, Writing–original draft, Writing–review & editing

F.R.M.S: Methodology, Investigation

A.M.G: Conceptualization, Writing–original draft, Writing–review & editing, Supervision

R.G.C: Conceptualization, Investigation, Writing–original draft, Writing–review & editing, Supervision

Referências

- ABD-ELHAMID H.F., ZELENÁKOVÁ M., BARAŃCZUK, J., GERGELOVA, M.B., MAHDY, M. 2023. Historical Trend Analysis and Forecasting of Shoreline Change at the Nile Delta Using RS Data and GIS with the DSAS Tool. *Remote Sensing*, 15:1737.
- ABU ZED, A.A., SOLIMAN, M.R., YASSIN, A.A. 2018. Evaluation of using satellite image in detecting long term shoreline change along El-Arish coastal zone, Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, 57:2687-2702.
- AGUIAR, L.S., AMARO, V.E., ARAÚJO, P.V.N., SANTOS, A.L.S. 2019. Geotecnologias de Baixo Custo Aplicadas à Avaliação de Risco por Inundação em Áreas Urbanas Costeiras em Cenários de Mudanças Climáticas. *Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ. IMPRESSO)*, 42:267-290.
- ALMEIDA, N.M., VITAL, H., EICHLER, P.P.B. 2017. Aspectos sedimentológicos do talude continental setentrional do Rio Grande do Norte, NE do Brasil. *Pesquisas em Geociências (UFRGS)*, 44:537-554.
- AMARO, V.E., ARAUJO, A.B. 2008. Análise Multitemporal da Morfodinâmica da Região Costeira Setentrional do Nordeste do Brasil entre os Municípios de Grossos e Tibau, Estado do Rio Grande do Norte. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 8:77-100.
- AMROUNI, O., HEGGY, E., HZAMI, A. 2024. Shoreline retreat and beach nourishment are projected to increase in Southern California. *Communications earth & environment*, 5:274.
- ARARIPE, P.T., FEIJÓ F. 1994. Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, 8:127-141.
- ARAÚJO, P.V., AMARO, V.E., AGUIAR, L.S., LIMA, C.C., LOPES, A.B. 2021. Tidal flood area mapping in the face of climate change scenarios: case study in a tropical estuary in the Brazilian semi-arid region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21:3353-3366.
- ARASI, M.A., BAIHAN, M., BEGUM, S. S., MARZOUK, R., ALBALAWNEH, D., MOHANARATHINAM, A. 2025. Automated detection of coastal erosion hotspots using deep learning algorithms and remote sensing techniques for improved coastal management. *Journal of South American Earth Sciences*, 162:105605.
- BALAJI, R., KUMAR, S.S., MISRA, A., 2017. Understanding the effects of seawall construction using a combination of analytical modelling and remote sensing techniques: Case study of Fansa, Gujarat, India. *The International Journal of Ocean and Climate Systems* 8 (3), 153-160.
- BOAK, E.H., TURNER, I.L. 2005. Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research*, 21 (4), 688–703.
- BOORI, M.S., AMARO, V.E., VITAL, H. 2010. Coastal ecological sensitivity and risk assessment: a case study of sea level change in Apodi River (Atlantic Ocean), Northeast Brazil. *International Journal of Environmental and Earth Sciences*, 1:127-136.
- BOORI, M.S., AMARO, V.E., FERREIRA, A.T.S. 2012. Coastal risk assessment and adaptation of the impact of sea-level rise, climate change and hazards: a RS and GIS based approach in Apodi-Mossoró estuary, Northeast Brazil. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 2:815-832.
- CAMARA, G., SOUZA, R.C.M., FREITAS, U.M., GARRIDO, J. 1996. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, 20:395-403. DOI: 10.1016/0097-8493(96)00008-8
- CAMARA, M.R., SCUDELARI, A.C., AMARO, V.E., MATOS, M.F.A., RABELO, T. 2019. Geotecnologias como subsídio para gestão de ambientes costeiros: análise do recuo em falésias/arribas no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil, e suas implicações socioambientais. *Revista de Geografia e Ordenamento do Território*, 16:52-79.
- CHACANZA, M.S., ALMEIDA, N.M., FREIRE, G.S.S., SILVA NETO, C.A., ABREU NETO, J. C., JALANE, O.I. 2022. Análise da variação da linha de costa no trecho entre as praias de peroba e redonda no município de Icapuí-Ceará, Brasil, a partir de imagens de satélite aplicando o DSAS. *GEOCIÊNCIAS (SÃO PAULO. ONLINE)*, 41:887-903.
- CHACANZA, M.S., ALMEIDA, N.M., FREIRE, G.S.S., SILVA NETO, C.A., MEDEIROS, M.E.M., ABREU NETO, J.C. 2023. Morphometric changes between Peroba and Redonda beaches (Ceará, Brazil), with the use of high resolution remotely piloted aircraft images from 2020 to 2021. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 24:2331.
- CIRITCI, D., TÜRK, T. 2020. Analysis of coastal changes using remote sensing and geographical information systems in the Gulf of Izmit, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192:341.
- CLAUDINO-SALES, V., CARVALHO, A.M., 2014. Dinâmica costeira controlada por promontórios no Estado do Ceara, Nordeste do Brasil. *Geociências (São Paulo. Online)* 33:579-595.
- DAI, C., HOWAT, I.M., LAROUR, E., HUSBY, E. 2019. Coastline extraction from repeat high resolution satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 229:260-270.
- DOLAN, R., HAYDEN, B.P., HEYWOOD, J., 1978. A new photogrammetric method for determining shoreline erosion. *Coastal Engineering*, 2(1): 21–39.
- ENNOUALI, Z., FANNASSI, Y., LAHSSINI, G., BENMOHAMMADI, A., MASRIA, A. 2023. Mapping Coastal vulnerability using machine learning algorithms: A case study at North coastline of Sebou estuary, Morocco, *Regional Studies in Marine Science*, 60:102829.
- GRIGIO, A.M., AMARO, V.E., VITAL, H., DIODATO, M.A. 2005. A method for coastline evolution analysis using GIS and Remote Sensing: a case study from the Guamaré City, Northeast Brazil. *Journal of Coastal Research*, 42:412-421.
- HAUER, M.E., HARDY, D., KULP, S.A., MUELLER, V., WRATHALL, D.J., CLARK, P.U. 2021. Assessing population exposure to coastal flooding due to sea level rise. *Nature Communications*, 12:6900.
- HIMMELSTOSS, E.A., HENDERSON, R.E., KRATZMANN, M.G., FARRIS, A.S. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide: U.S. Geological Survey Open-File Report, 2018. 110p.
- KULP, S.A., STRAUSS, B.H. 2019. New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. *Nature Communications*, 10:4844.
- LIMA, Z.M.C., ALVES A.L., AMARO V.E., VITAL, H. 2002. Evolução da linha de costa do esporão de Galinhos (NE Brasil) utilizando fotografias aéreas e imagens Landsat TM. *Revista Pesquisas em Geociências*, 28:497-507.
- LEITE, L.H.J., ALMEIDA, N.M. 2023. Análise espaço-temporal e modelagem preditiva da linha de costa do Estado do Ceará. *GEOCIÊNCIAS (SÃO PAULO. ONLINE)*, 42:419-436.
- MAAMAR, E.R., SILVA, P.V.M., GUEREIRO, J.SÁ., RANIERI, L.A. 2024. Seasonal and macrotidal influence on the morphodynamics of estuarine beaches (Marajó island - Eastern amazon - Brazil). *Quaternary and Environmental Geosciences*, 15:34-48.
- MAIA, R.P., BEZERRA, F.R.H., 2014. Inversão neotectônica do relevo na Bacia Potiguar. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 15:61-74.
- MASSON-DELMONTTE, V., ZHAI, A., PIRANI, S.L., CONNORS, C., PÉAN, S., BERGER, N., CAUD, Y., CHEN, L., GOLDFARB, M.I., GOMIS, M., HUANG, K., LEITZELL, E., LONNOY, J.B.R., MATTHEWS, T.K., MAYCOCK, T., WATERFIELD, O., YELEKÇİ, R., YU, ZHOU, B. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the*

- Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 2021. In press.
- MATOS, M.F.A., 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):1027-1053.
- MCFEETERS, S.K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17:1425-1432.
- MEDEIROS, W.D.A., CUNHA L., ALMEIDA A.C. 2012. Riscos ambientais no litoral: estudo comparativo Brasil-Portugal. *Cadernos de Geografia* 30:107-115.
- MEDEIROS, D.H.M. 2020. Influência da salinidade na heterogeneidade de paisagens estuarinas do domínio morfoclimático do semiárido brasileiro. Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- MEIRELES, A.J., SILVA, A.E., THIERS, P.R.L. 2006. Os campos de dunas móveis: fundamentos dinâmicos para um modelo integrado de planejamento e gestão da Zona Costeira. *Revista GEOUSP*, 20:101-119. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2006.74010
- MUEHE, D. 2018. Panorama da erosão costeira no Brasil. Rio de Janeiro, MMA. 759p
- MUEHE, D. 2020. O sistema praial: formas, termos, processos e medição. In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F.M.; PINHEIRO, L.S. (orgs.). *Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos*. Rio de Janeiro: PGGM, 27-55p.
- NOVAK, L.P., ROCHA, T.B., FERNANDEZ, G.B., OLIVEIRA FILHO, S.R., MELLO FILHO, M.E.T., PEREIRA, T.G. 2024. Regional assessment of overwash processes in a retrograding sand barrier (Paraíba do Sul River Deltaic Complex, Rio de Janeiro, Brazil). *Regional Studies in Marine Science*, 78:103733.
- PAULA, D.P. 2015. Erosão costeira e estruturas de proteção no litoral da região metropolitana de Fortaleza (Ceará, Brasil): um contributo para artificialização do litoral. *REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA*, v. 9, p. 73-86.
- PESSOA NETO, O.C., SOARES U.M., SILVA JGF, ROESNER E.H., FLORENCIO C.P., SOUZA, C.A.V. 2007. Bacia Potiguar. *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, 15:357-369.
- PINHEIRO, L., XIMENES NETO, A.R., MEDEIROS, D.H.M., PESSOA, P.R.S., MORAIS, J.O. 2020. A Plataforma Continental Semiárida do Brasil. In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L.S. (orgs.) *Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos*. Rio de Janeiro: PGGM, 129-152p.
- ROGERIO, A.P.C. 2004. Caracterização Geológica e Geomorfológica do Município de Areia Branca/RN, com Vistas à elaboração do Mapa de Sensibilidade ao Derramamento de Óleo. Monografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- SANTOS, A.C.F.B.M., OLIVEIRA, U.R., GOULART, E.S., NICOLODI, J.L., FREITAS, V.L. 2024. Análise espaço-temporal dos impactos da expansão das estruturas de contenção à erosão costeira na orla do Balneário do Hermenegildo - RS. *GEOGRAPHIA MERIDIONALIS* 7:1-29.
- SILVA, M.T., GRIGIO, M.A., CARVALHO, R.G., MEDEIROS, W.D.A., PARANHOS FILHO, A.C. 2015. Variação da linha de costa na região da foz do rio Apodi-Mossoró por sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8:967-980.
- SILVA, M.T., LOPES, D.N., REBOUCAS, I.S., FREIRES, E.V., SILVA NETO, C.A., DUARTE, C.R., SOUTO, M.V.S. 2019. Variação da linha de costa no litoral cearense (1984-2018). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12:2551-2579.
- SILVA, M.T., LOPES, D.N., GRIGIO, A.M., PARANHOS FILHO, A.C., DIODATO, M.A. 2020. Proposal for improvement of methodology to determine the potential of economic losses due to coastal erosion. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13:1132-1144.
- SILVA, M.T., LOPES, D.N., FREIRES, E.V., SILVA NETO, C.A., SOUTO, M.V.S., DUARTE, C.R. 2023. Dinâmica da linha de costa no trecho de praia entre os municípios de Fortaleza e Paraipaba, Estado do Ceará, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 24:2250.
- SILVA NETO, C.A., DUARTE, C.R., SOUTO, M.V.S., FREIRES, E.V., SOUSA, W.R.N., SILVA, M.T. 2020. Caracterização dos setores erosivos e deposicionais da linha de costa de Icapuí (CE) com base em produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13:143-155.
- USGS. 2022. United States Geology Survey. Landsat 5 and Landsat 8.
- USGS. United States Geology Survey. 2024. Earth explorer.
- VITAL, H., SILVEIRA, I.M., LIMA, Z.M.C., TABOSA, W.F., SILVA, A.G.A., SOUZA, F.E.S., CHAVES, M.S., GOMES, M.P. 2018. Rio Grande do Norte. In: MUEHE, D. (Org.). *Panorama da erosão costeira no Brasil*. 1ed. Brasília: v. 1, p. 289-326.
- YUE, H., LIU, Y. 2019. Variations in the lake area, water level, and water volume of Hongjiannao Lake during 1986-2018 based on Landsat and ASTER GDEM data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191:606.

¹Recebido 11 de outubro de 2024
Aceito 12 de julho de 2025