

ANÁLISE E MAPEAMENTO DA DEGRADAÇÃO COSTEIRA DO LITORAL DE MACEIÓ – ALAGOAS, BRASIL

Maiane Rodrigues do Nascimento¹, Henrique Ravi Rocha de Carvalho Almeida², Djane Fonseca da Silva²

RESUMO: O presente trabalho pretendeu analisar processos erosivos que o litoral do município de Maceió no estado de Alagoas sofreu ao longo da série temporal de 1991 a 2021. Tais processos erosivos submetem a zona costeira a riscos e susceptibilidade a vulnerabilidade. Para a determinação da dinâmica posicional da linha de costa do litoral de Maceió foi adotado a ferramenta gratuita de código aberto, denominada *System From Space Imagery Engine* - CASSIE. Os dados quantitativos adquiridos referem-se à ocorrência de processos erosivos que foram refinados para organização dos resultados em tabelas. Foi utilizado o software livre Qgis versão 3.22 *Białowieża* para elaboração dos mapas, representando a área de estudo. O litoral de Maceió foi dividido em 5 setores para melhor análise. O setor 1 inicia-se do final do bairro Ipioca até ao limite final da faixa litorânea do município de Maceió, onde está situada a estação da CEMADEN, enquanto o setor 2 inicia-se no bairro Cruz das Almas. No caso dos setores como o 3, 4 e 5 o critério para o enquadramento dessas áreas, foi considerado o aspecto de distribuição espacial das grandes praias de Maceió. Os resultados mostraram que nos 5 setores foram encontradas situações classificadas pela ferramenta CASSIE como áreas erodidas, áreas acrescidas e áreas estáveis. Face aos resultados supracitados, foi recomendada a adoção de um plano de manejo vinculado a medidas mitigadoras, que exerçam ações efetivas no quadro da vulnerabilidade do litoral de Maceió. O planejamento adequado voltado para o litoral propiciará a contenção e prevenção dos impactos ambientais a que se encontra suscetível.

Palavras chaves: Erosão, CASSIE, Litoral, Vulnerabilidade.

ABSTRACT: *The present work intends to analyse the erosive processes that the coast of the municipality of Maceió in the state of Alagoas suffered throughout the time series from 1991 to 2021. Such erosive processes subject the coastal area to risks and susceptibility to exposure. To determine the positional dynamics of the Maceió coastline, a free open source tool called System From Space Imagery Engine - CASSIE was used. The quantitative data acquired refers to the occurrence of erosive processes that were refined to organize the results into tables. The free software Qgis version 3.22 Białowieża was used to create the maps, representing the study area. The Maceió coastline was divided into 5 sectors for better analysis. Sector 1 starts from the end of the Ipioca neighborhood to the final limit of the coastal strip of the municipality of Maceió, where the CEMADEN station is located, while sector 2 starts in the Cruz das Almas neighborhood. In the case of sectors such as 3, 4 and 5, the criterion for classifying these areas was considered the spatial distribution aspect of the large beaches of Maceió. The results showed that in the 5 sectors situations were found classified by the CASSIE tool as eroded areas, accreted areas and stable areas. In view of the aforementioned results, it was recommended the adoption of a management plan linked to mitigating measures, which takes effective actions within the framework of the vulnerability of the coast of Maceió. Proper planning aimed at the coast will help contain and prevent environmental impacts to which it is susceptible.*

Keywords: Erosion, CASSIE, Coastline, Vulnerability.

1 Corresponding author: maianerodrigues707@gmail.com

2 Universidade Federal de Alagoas

1. INTRODUÇÃO

A zona costeira é um ambiente de intensa dinâmica natural. É dominada por vários agentes modeladores, tais como ventos, ondas, marés, correntes de deriva litorânea, variações do nível médio da água do mar e obstáculos que retêm sedimentos. É um ambiente ainda parcialmente conhecido pelo homem. O valor ambiental, a sua elevada dinâmica morfológica e sedimentar, responsável pelo amortecimento da energia e a importância socioeconômica que as praias arenosas apresentam, tem motivado diversas pesquisas em busca de um melhor conhecimento, utilização racional e preservação destes ambientes (Quinamo, 2013).

As praias têm o potencial de serem um dos primeiros ambientes a sofrerem as consequências das mudanças climáticas, tais como a combinação da elevação do nível da água do mar com eventos climáticos extremos mais frequentes e rigorosos. As iniciativas de gestão das zonas costeiras não correspondem ao crescente uso, aos desafios eminentes das mudanças climáticas, à necessidade de acesso livre por todos nem à necessidade de conservação da biodiversidade e da livre ação da dinâmica costeira (Scherer, 2013).

A região costeira do Brasil possui distintas particularidades evidenciando assim ecossistemas diversificados, esse aspecto que influencia diretamente em sua estrutura dinâmica, e que por sua vez são classificadas de acordo com a atuação de agentes dinâmicos em sua geomorfologia, aliados também a outros fatores como características meteorológicas e também a oceanografia própria de cada região, condicionada a vulnerabilidade de cada região irá apresentar diferentes tipos de vulnerabilidade (Muehe *et al.*, 2010).

Sousa *et al.* (2023) destacam que a erosão costeira, dada a abrangência de impactos decorrentes e que afeta a maior parte das atividades praticadas na comunidade, é elencada como um problema ambiental, principalmente durante os eventos de alta energia (ondas e marés de tempestade).

Visto que a amplitude das marés é um elemento modelador da linha de costa, em função das velocidades de correntes a ela associadas. Estas correntes de marés são significativas para o transporte sedimentar costeiro. A maior parte do litoral brasileiro, do estado de Alagoas ao Rio Grande do Sul é do tipo micro marés, ou seja, apresenta amplitudes de marés inferiores a 2 metros no (Saes *et al.*, 2018).

Estudos recentes de Silva *et al.* (2021) evidenciam que a região do litoral alagoano vem sofrendo processos erosivos na sua linha de costa provenientes da atuação das mudanças climáticas, do aumento do nível médio da água do mar que impacta de

maneira negativa na progradação das praias fazendo com que o índice de vulnerabilidade na região devido este fator em especial seja alarmante, pois o processo de erosão propicia o recuo da linha de costa.

Pereira *et al.* (2024) destaca a necessidade de monitoramento frequente bem como a aplicação de avaliações periódicas para acompanhamento de mudanças na vulnerabilidade à erosão costeira ao longo do tempo. Dessa forma permite que as estratégias de adaptação e gestão sejam ajustadas em conformidade com o que seja necessário, garantindo que estejam alinhadas com a evolução das condições ambientais e climáticas.

Por isso, torna-se relevante avaliar os riscos da potencial vulnerabilidade da linha de costa de Maceió, pois sendo um ponto turístico de destaque no país, são cruciais estudos voltados para zona costeira na cidade que visem uma atuação de gestão e mitigação de tais riscos.

Face a esta premissa, o presente trabalho teve como objetivo realizar a análise da degradação das nas feições praias na linha de costa do litoral de Maceió, indicando possíveis pontos/ locais de riscos e níveis de vulnerabilidade ocasionados por processos de erosão/progradação por meio de ferramentas como o sensoriamento remoto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A cidade de Maceió é a capital do estado de Alagoas está localizada no litoral do nordeste brasileiro entre as latitudes 9° 45'Sul e longitude 35° 42' Oeste, (Figura 1), Maceió possui uma área total de 512,8 km² e uma população de cerca de 1.031.597 habitantes, uma geografia com características diversificadas, influenciada pela presença do Oceano Atlântico e também pela presença de várias formações lagunares (IBGE, 2022).

O litoral alagoano possui aproximadamente 230 km de linha de costa e está localizado na região nordeste do Brasil, entre as latitudes 8°8'12" S e 10°29'12" S. As praias em Alagoas são amplamente utilizadas pela população como áreas de lazer, com banhos de sol e mar, passeios pela areia e pesca esportiva. Estas atividades devem ser ordenadas para que todos possam usufruir os muitos quilômetros de praias que o Estado possui, como os passeios motorizados (bugres, motocicletas e outros veículos automotivos), saída e chegada de embarcações (barcos, lanchas, jangadas, bananas-boat, jet-skis) e de ultraleves (Correia e Sovierzski, 2005).

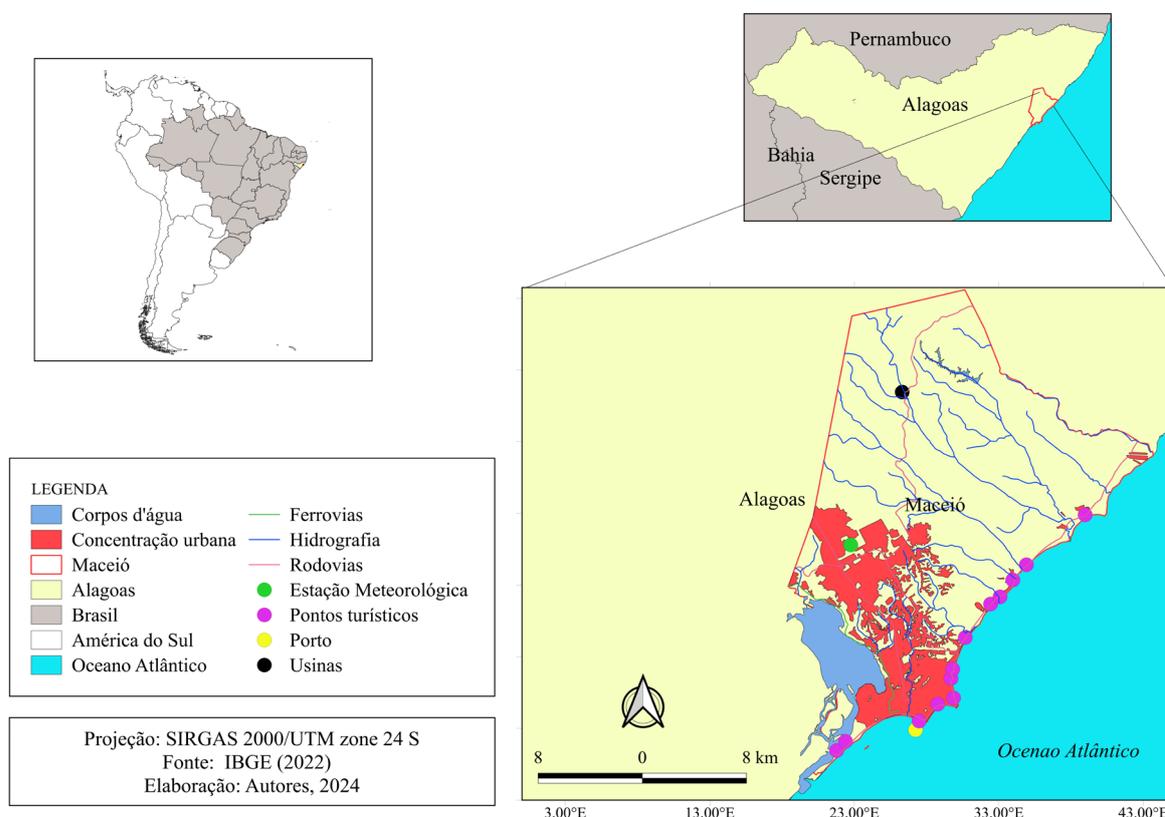


Figura 1. Localização da área de estudo, litoral de Maceió –AL.

A área litoral de Maceió foi dividida neste estudo em 5 setores para melhor interpretação e análise. O setor 1 tem como ponto inicial o bairro Ipioca, onde está situada a estação do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), assim como o setor 2, o bairro Cruz das Almas. Para os restantes setores 3, 4 e 5 o enquadramento usado foi para melhorar a distribuição espacial das grandes praias de Maceió nestes pontos.

2.2 Análise posicional da linha de costa

Para a determinação da dinâmica posicional da linha de costa do litoral do município de Maceió foi adotada a ferramenta gratuita de código aberto, denominada de *Coastal Analyst System from Space Imagery Engine - CASSIE*. Essa ferramenta pode ser aplicada a qualquer região costeira onde exista uma fronteira entre a água e a terra (Almeida *et al.*, 2021).

A escolha por esta ferramenta deve-se ao fato de que a mesma utiliza as imagens de satélite Landsat e Sentinel-2, disponíveis gratuitamente no *Google Earth Engine (GEE)*, e implementa uma detecção automática da linha costeira usando o *Normalized*

Difference Water Index (NDWI) junto com o algoritmo de segmentação de imagem Otsu, em que os resultados são compostos por dados e tabelas obtidos automaticamente através de análise estatística das informações extraídas em cada imagem de satélite, de forma semelhante à ferramenta *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*, da USGS.

O CASSIE funciona por meio de detecção automática, por aplicação de um algoritmo que realiza a detecção da linha de costa nas margens pré-processadas, utilizando o Índice de Diferença Normalizada (NDWI) que é aplicado em cada imagem selecionada para a análise através da seguinte equação.

$$NDWI = \frac{NIR - VERDE}{NIR + VERDE} \tag{1}$$

Em que NIR e VERDE apresentam a refletância SR do pixel na faixa do infravermelho próximo e na faixa verde, respectivamente. Quando o resultado NDWI da imagem tem um histograma bimodal claro (as duas classes, terra e água, são bem distinguidas na imagem), o corpo de água e a terra

são classificados, usando um Otsu de duas classes que é o algoritmo de limiarização. Embora quando o histograma do NDWI da imagem apresenta três picos, como por exemplo em ambientes estuarinos, onde as características intertidais (normalmente compostas por sedimentos de areia lamacenta ou fina com alto teor de água) criam um pico entre a terra e a água, as duas classes Otsu Limiar produzem uma classificação fraca de terra / água (Almeida *et al.*, 2021).

Quando o sistema de modelagem CASSIE finaliza todos os cálculos estatísticos, os resultados serão adicionados a um mapa final, onde a linha de base, as linhas costeiras e os transectos podem ser visualizados sobre uma imagem de satélite de alta resolução ou mapa de base do Google Map (para escolher o tipo de mapa de base duas opções estarão disponíveis no canto superior esquerdo do mapa final). Os transectos são coloridos de acordo com a classificação dos resultados do LRR, para facilitar uma avaliação qualitativa

preliminar da variabilidade espacial das tendências da linha costeira. O usuário pode realizar uma consulta a todo o transecto, individualmente, que abrirá automaticamente um gráfico de dispersão da série temporal das posições da linha costeira (distância à linha de base) usadas na análise estatística, juntamente com um breve relatório dos resultados calculados para o transecto selecionado. Um relatório final contendo todos os resultados estatísticos, em forma de tabela, também é adicionado automaticamente ao mapa (Almeida *et al.*, 2021).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises consideraram entre 33 a 208 transectos que variaram por setor, sendo estes contabilizados segundo a situação em que foi encontrado o aspecto espacial das praias do litoral de Maceió (Tabela 1).

Tabela 1. Setorização e distribuição espacial das taxas de recuo no litoral de Maceió em m/ano.

Setores e divisões	Status da área	Quantidades dos focos com status	r ⁽²⁾	LRR ⁽³⁾	EPR ⁽⁶⁾
Setor 1- Bairro Ipioca até Cruz das Almas	- Criticamente Erodida	1	0,722	-10,338	-11,552
	- Erodida	8	0,305	-0,630	-3,060
	- Acrescida	157	0,322	11,543	0,856
	- Estável	42	0,053	0,053	-3,127
Setor 2- Bairro Cruz das Almas	- Erodida	1	0,111	-0,543	-0,657
	- Acrescida	4	0,102	0,723	8,288
	- Estável	36	0,045	0,001	0,539
Setor 3- Região da praia Pajuçara	- Criticamente Erodida	1	0,071	-20,683	-59,610
	- Acrescida	17	0,166	17,723	8,148
	- Estável	15	0,053	0,138	0,006
Setor 4- Região Ponta da Barra	- Criticamente Erodida	11	0,365	-48,025	-45,189
	- Erodida	16	0,299	-0,715	-3,278
	- Acrescida	49	0,109	6,143	-5,677
	- Estável	29	0,015	0,059	-13,133
Setor 5- Lagoa Mundaú	- Criticamente Erodida	32	0,141	-34,683	-22,668
	- Erodida	9	0,042	-0,673	-24,104
	- Acrescida	44	0,276	17,411	17,115
	- Estável	37	0,029	0,023	4,467

TVE⁽¹⁾ = Taxa de Variabilidade Espacial; ⁽²⁾ r = Coeficiente de correlação; ⁽³⁾ LRR = Taxa de regressão linear; ⁽⁴⁾ SCE = Envelope de mudança da linha costeira; ⁽⁵⁾ NSM = Movimento da linha de costa; ⁽⁶⁾ EPR = taxa do ponto de terminação. Fonte: autores (2024).

3.1 Análise bairro Litorâneo Ipioca - Setor 1

Na interpretação dos resultados os valores negativos correspondem aos recuos em direção a costa classificados como erosões, e até mesmo erosões em um nível mais severo, e os valores com sinal positivo implicam nos avanços em direção ao mar i.e., acreção (Marino e Freire, 2013; Garcia *et al.*, 2022).

Os resultados médios do EPR para a área criticamente erodida indicam a evolução do processo de acréscimo da praia ao longo da série, Araujo *et al.* (2009). Em relação a taxa de variação pelo EPR, demonstram resultados mais altos em relação ao LRR, situação também identificada em Santos *et al.* (2021) para trechos de linhas de costa em Sergipe.

O coeficiente de correlação da linha de costa mais antiga e a mais recente apresentaram alta e moderada correlação nas áreas criticamente erodidas, erodidas e acrescidas, exceto nas áreas estáveis com ausência de correlação (Tabela 1).

Avaliando a situação em alguns trechos específicos dentro do

setor 1 (Figura 2) identificam-se áreas com recuo como no caso do ponto A, e também uma extensa área em processo de acréscimo da praia, indicativo do processo constante da progradação da costa ao longo dos anos que originou a linha de costa de 2021. Ao analisar divisões de trechos da linha costeira de ambientes litorâneos no Ceará, Farias e Maia (2010) identificou-se o recuo da praia e descobriram processos erosivos também classificados como críticos. No ponto B são observados alguns trechos estáveis, erodidos e acrescidos, conforme a linha de costa de 1991 foi transgredida pela de 2021, mostrando assim o nítido avanço da linha de costa. No caso do ponto C, verificaram-se áreas erodidas e criticamente erodidas, sendo que as linhas afastadas demonstram ainda mais a evolução do quadro crítico, isso porque a linha de costa de 2021 avança expressivamente para mais perto da costa indicando que processos mais intensos atuaram para corroborar para essa evolução da vulnerabilidade costeira.

Ao avaliar a vulnerabilidade costeira de Baía da Traição na

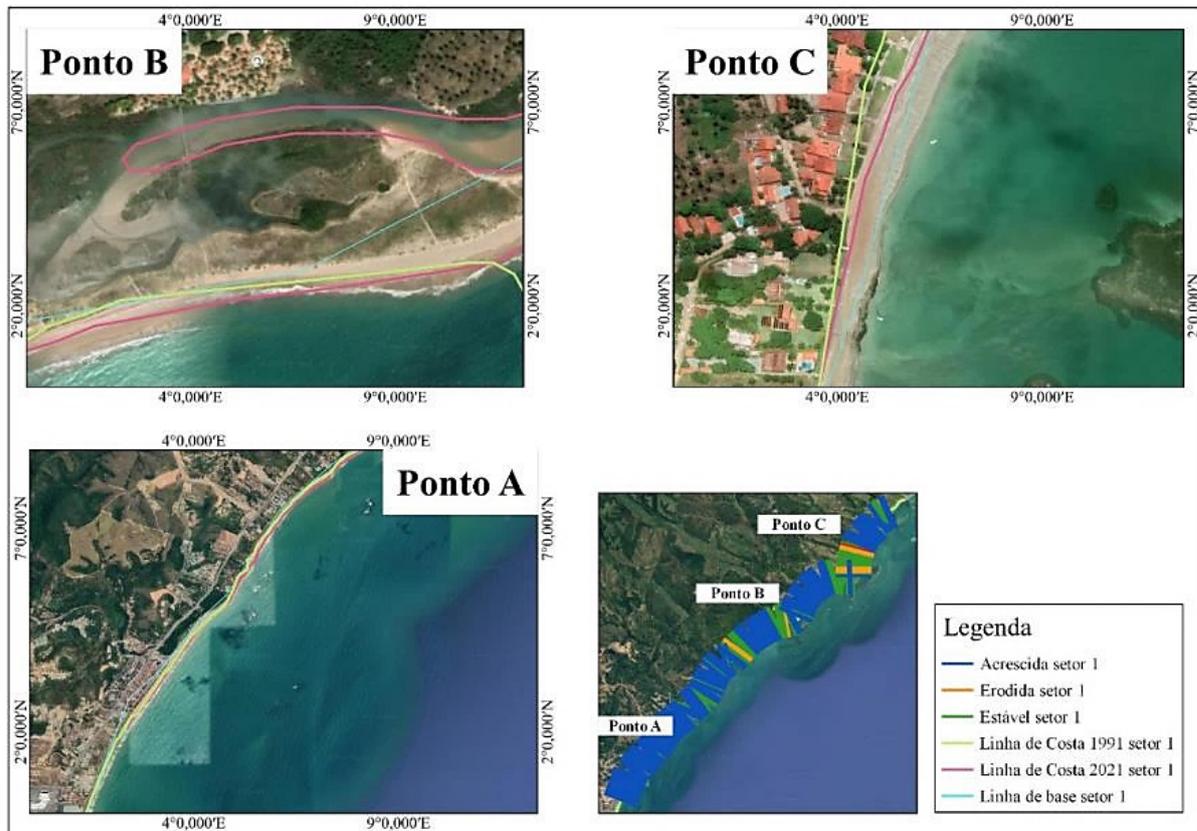


Figura 2. Evolução da linha de costa em trechos vulneráveis do setor 1.

Paraíba, Araujo (2023) destaca que o avanço da linha de costa em direção ao continente (i.e., recuo) em algumas praias do município, refere-se ao encurtamento da largura da praia que está diretamente atrelado às consequências de perda de valor paisagístico, perda no valor imobiliário, perdas para o turismo, perdas de espaços de lazer para a comunidade local, perdas para os serviços e comércio, além dos riscos à biodiversidade e as possibilidades de alto investimento, tanto de origem pública como de origem particular, na tentativa de parar ou reduzir a erosão no local.

3.2 Análise bairro litorâneo Cruz das Almas - setor 2

O setor 2 possui a maioria de seus transectos estáveis, alguns trechos em acreção, e um transecto com classificação de área erodida. Os valores médios de LRR (Tabela 1) para a área erodida demonstraram que o litoral vem gradativamente sofrendo acreção possivelmente pelas influências constantes da elevação do nível médio da água do mar e/ou das variáveis meteorológicas, indicado assim a constante modificação das praias do litoral de Maceió. Santos e Bonetti (2018) verificaram

que tal acréscimo está ligado ao clima de ondas que promovem o processo de transporte sedimentar constante. A área estável quase não sofreu nenhuma alteração. Ao comparar os dois métodos verificou-se valores mais elevados de EPR.

Considerando as duas linhas de costa da série histórica tem-se que os coeficientes de correlação de cada classificação demonstraram em todos os status ausência de correlação seus valores muito baixos, mesmo que tenham sido positivos (Tabela 1).

Santos *et al.* (2021) verificaram que a dinâmica em ambientes costeiros ao longo de 3 décadas permite analisar e detectar como ocorre o comportamento de acreção, quando se considera toda a série temporal. No contexto ambiental Scher *et al.* (2023) enfatizam que a falta de proteção ambiental acarreta desgastes e alterações nas características físicas locais, resultando em consequências muitas vezes irreversíveis.

O ponto A apresentado na Figura 3 corresponde a área erodida, em que a comparação da linha de costa de 1991, que está mais próxima do mar e a linha mais recente que está mais

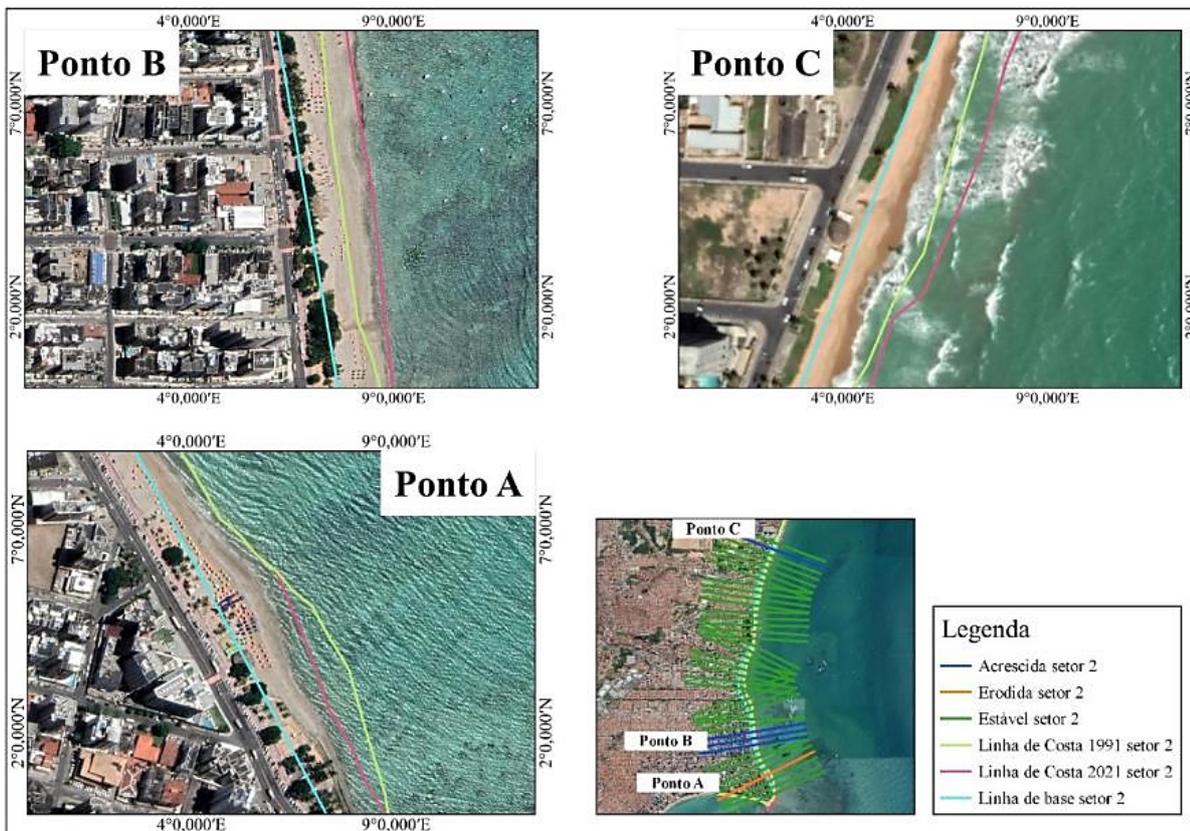


Figura 3. Evolução da linha de costa em trechos vulneráveis do setor 2.

próxima da praia, ilustra o movimento de transgressão de uma linha para outra, ocorrendo erosão. No ponto B a linha de costa de 1991 encontra-se próxima da mais recente (2021) evidenciando a progradação, ou seja, ocorrência de acresção na praia conforme os anos se passaram. No ponto C pode-se observar o início de um setor com transectos estáveis e entre eles uma área em acresção.

Almeida (2021) ao realizar uma análise para uma série de 20 anos também identificou a ocorrência de movimentos de linha de costa semelhantes para a região litoral do Delta do Rio Paraíba do Sul, que resultaram em acréscimos e erosões nas praias.

3.3 Análise Região da Praia de Pajuçara - Setor 3

O setor 3 apresenta a maioria de seus trechos como áreas em acresção, revelando suscetibilidade ao quadro evolutivo de sua progradação, mas também apresenta uma área criticamente

erodida. Baía *et al.* (2021) ao analisarem a taxa de variação em praias estuarinas de macromaré na Amazônia oriental também identificaram em muitos trechos a presença de áreas acrescidas como as que foram encontradas no litoral de Maceió.

A diferença da taxa de variação para a área estável mostrou-se mais elevada pelo método LRR do que pelo EPR.

Novak e Lamour (2021) demonstraram que as linhas de costa em avanço ou em equilíbrio sugerem que a praia não é afetada pelos efeitos da erosão costeira. Em contrapartida as linhas de costa que apresentaram recuo demonstram que existe deficiência sedimentar e a erosão já se encontra em estado crítico, pondo em risco o ambiente costeiro seja público e/ou privado.

Quanto à correlação das linhas de costa de 1991 e 2021, os valores calculados mostraram ausência de correlação, sendo relativamente muito baixos (Tabela 1).

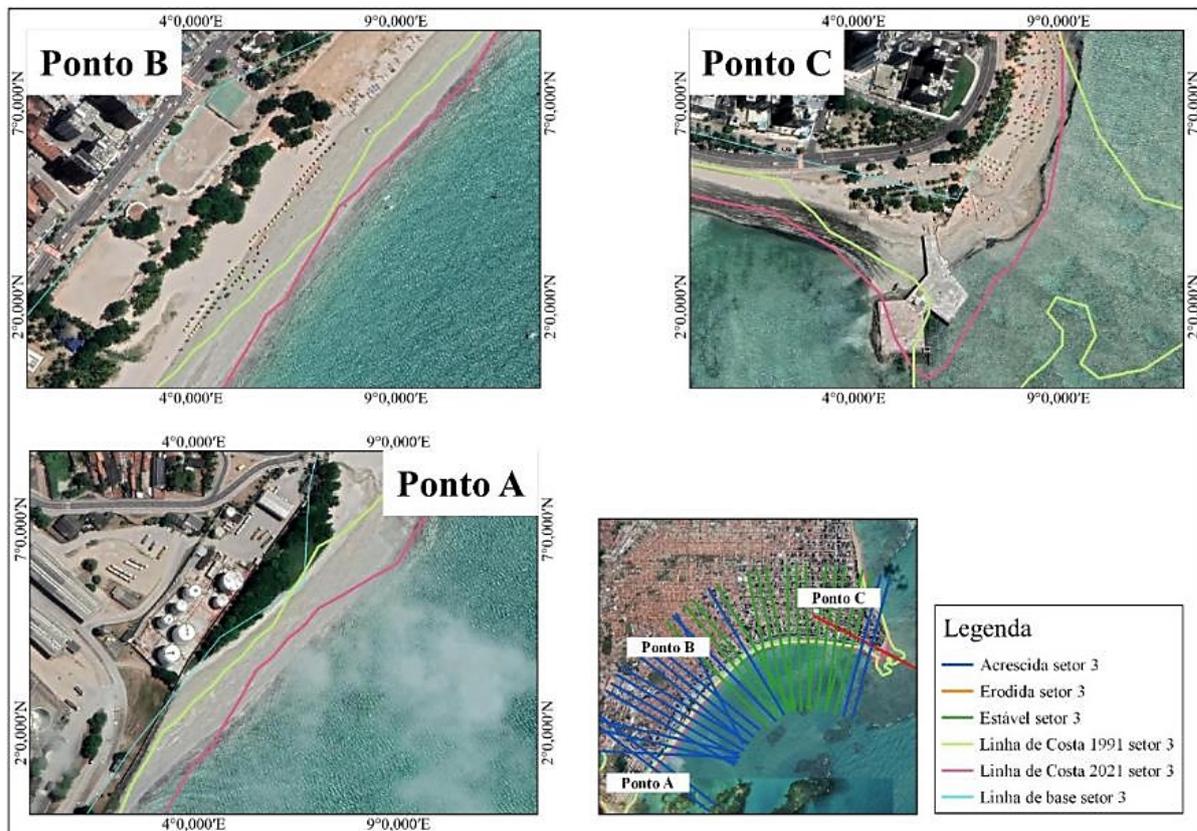


Figura 4. Evolução da linha de costa em trechos vulneráveis do setor 3.

Na análise dos processos encontrados em alguns trechos específicos (Figura 4) verificou-se que no ponto A, o status de acréscimo mostra a transgressão da linha de costa mais recente em uma distância significativa para a mais antiga, corroborando par o processo de progradação nesse ponto da praia. Matos *et al.* (2022) indicam que a variabilidade espacial e temporal das linhas de costa locais estão ligadas à heterogeneidade dos aspectos geomorfológicos e sedimentológicos costeiros que possuem uma conexão com a diversidade de ações antropogênicas que originam alterações com grande relevância na morfologia da orla costeira.

No ponto B verifica-se a mesma situação, sendo evidente a transgressão e que, a maioria dos processos encontrados no setor no qual o ponto B localiza-se sofreram o processo de acreção. No ponto C é evidente a ocorrência de áreas criticamente erodidas.

Souza (2023) ressalta que essa região apresenta geoindicadores que denotam estágios de avançados de erosão, como resposta grau de destruição estruturas de contenção e marcas erosivas fixadas na localidade. Ainda destaca nesse cenário a necessidade de planejamento, ordenamento, monitoramento e fiscalização das atividades que sejam implantadas na faixa praial da Cidade.

3.4 Análise Região de Ponta da Barra – Setor 4

No setor 4, com 184 transectos (Figura 6), verifica-se a ocorrência de processos que originaram áreas criticamente erodidas, erodidas, acrescidas e estáveis. A existência de áreas críticas em alguns pontos demonstra uma vulnerabilidade elevada, podendo gerar riscos à área costeira do litoral naquele ponto, assim como a já erodida. O quadro erosivo ocorre por meio da dinâmica intensiva do transporte de sedimentos promovido pela ação intensa das ondas (Lopes *et al.*, 2021). Em relação às áreas em acréscimo que também apresentam um longo trecho neste setor, entende-se que existe um quadro de vulnerabilidade em processos erosivos severos encontrados no setor 4.

Os valores médios do setor 4 (Figura 6), por aplicação do método LRR (Tabela 1), revelaram que essas áreas em constante mudança podem evoluir para situações mais severas notadas em alguns trechos. Os valores de área erodida e estável apresentaram médias mais altas no EPR do que no LRR, o que normalmente não ocorreu em alguns dos outros setores analisados (Tabela 1).

Quanto ao coeficiente Pearson de correlação (Tabela 1), os resultados relacionados com as linhas de costa de 1991 e 2021

apresentaram valores positivos de correlação, variando entre fraca (0,10) a moderada (0,36). As áreas erodidas mostraram ausência de correlação, assim como as áreas acrescidas e estáveis.

De acordo com o que foi evidenciado no ponto A (Figura 5) no setor 4 foram demonstrados processos, quer de erosão, quer de acreção, principalmente a partir do atual posicionamento da linha de costa mais recente, observam-se simultaneamente evidências de erosão crítica juntamente com áreas acrescidas na superfície costeira. No ponto B pode observar-se uma extensão de área acrescida juntas, e o afastamento da linha de costa de 1991, comparativamente com a de 2021. Já no ponto C, por se tratar de uma área portuária foram identificadas áreas erodidas, devido a uma limitada faixa de linha costeira demarcada. Mesmo assim foram identificados 4 transectos com situação de área erodida.

Ao analisar trechos distintos da linha costeira de Beberibe, no estado do Ceará, para uma série temporal considerável, Teixeira *et al.* (2021) detectaram resultados semelhantes aos encontrados para os pontos A, B e C no setor 5.

Tendo em consideração a série temporal analisada e a frequência dos eventos climáticos nas a zonas costeiras, devem-se aplicar ações mitigadoras, visto que a área agravada tende a desenvolver-se à medida que os anos vão passando. A preocupação mediante as modificações oriundas das mudanças climáticas norteia cenários que impactarão diretamente no desenvolvimento dos processos erosivos.

Face ao atual cenário de mudanças climáticas, com o aumento do nível médio da água do mar e uma maior frequência de eventos climáticos extremos, a dinâmica costeira tem sofrido alterações, principalmente na movimentação e balanço dos sedimentos, ou essa relação entre a erosão e a deposição nas linhas de costa. A erosão costeira aparece como uma questão de alta relevância em virtude da ocupação antrópica que aconteceu ao longo dos séculos na orla marítima, sobre sistemas geomorfológicos como campos de dunas, praias arenosas, estuários e deltas (Weiner *et al.*, 2021).

3.5 Análise Lagoa Mundaú – Setor 5

O setor 5 corresponde à área da lagoa (Figura 7) e apresenta diversos trechos com áreas criticamente erodidas, erodidas, acrescidas bem como estáveis. O setor 5 foi um dos setores que apresentou mais transectos com estabilidade, ou seja, áreas com ocorrência de processos erosivos ou mudanças significativas. Vieira *et al.* (2023) endossam que a geomorfologia

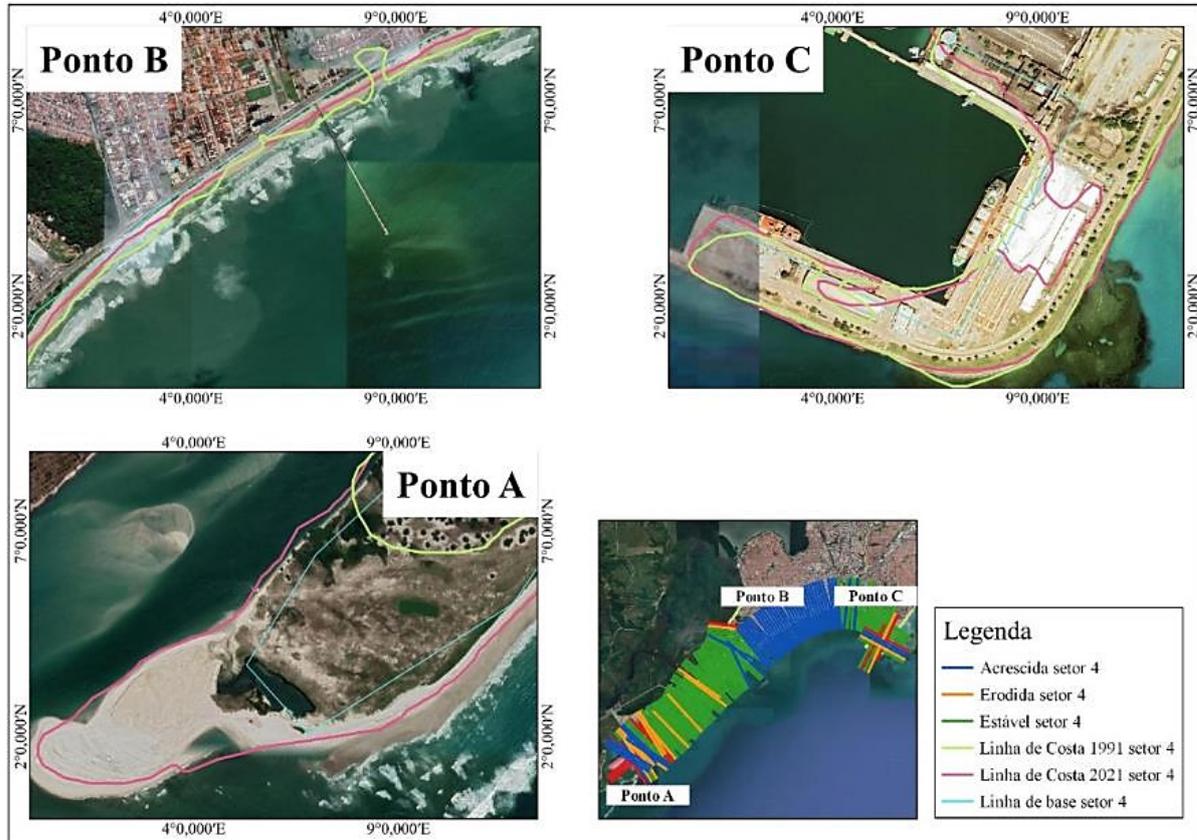


Figura 5. Evolução da linha de costa em trechos vulneráveis do setor 4.

costeira permite a análise dos riscos, independente da escala espaço-temporal ou da natureza do processo, visto que esses riscos podem ser naturais, sociais e tecnológicos e em escalas que são ordinárias ou rotineiras, até ao risco potencial ou futuro.

Os problemas relacionados com a erosão na área da Lagoa de Mundaú do litoral de Maceió, devem-se à única entrada oceânica que muda de posição dinamicamente, resultando assim em modificações na sua estrutura (Luz *et al.*, 2020).

Aplicando o método EPR os valores para a criticamente erodida são inferiores ao LRR, porém a área erodida é bem superior em comparação ao método anterior (LRR). A proximidade de valores das taxas de recuo dos dois métodos deve-se ao fato de o processo erosivo observado ao longo do setor ter ocorrido de forma homogênea (Moreira *et al.*, 2020). O coeficiente de correlação das linhas de costas de 1991 e 2021, em ambos os status de situação, apresentaram ausência de correlação (< 0,3), conforme os seus resultados médios (Tabela 1).

Silva *et al.* (2023) verificaram que no estudo de caso ao qual realizaram na Praia de Pipa no Rio Grande do Norte, além da erosão costeira que foi intensificada nas últimas décadas, e evidente retração continuada da linha de costa, aspectos como a urbanização desordenada na orla marítima, permissiva ao desmatamento de ecossistemas costeiros frágeis, a instalação de edificações nas proximidades das bordas de falésias, infraestrutura e equipamentos de sistemas de drenagens que promovem o lançamento inadequado de águas pluviais e/ou esgotos diretamente nas faces expostas dos taludes e praias arenosas, potencializaram a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa na praia de Pipa/RN.

Observa-se que no setor 5 (Figura 6) que o ponto A possui transectos com áreas estáveis, situados na área da lagoa, sem alterações significativas. Em B verifica-se que muitos transectos apresentam áreas criticamente erodidas, mesmo que na lagoa não tenha sido detectado nenhuma linha de costa definida pelo CASSIE. A análise desse trecho serviu também para a detecção

de processos ligados a erosões ou vulnerabilidade em áreas costeiras, como é o caso da lagoa Mundaú situada na região litorânea de Maceió.

No ponto C (Figura 7) foram observadas também mais áreas em estado de erosão crítica. Isso revela os riscos que não só a área de praia está sujeita, mas também áreas adjacentes como lagoas com ligação litorânea.

Scudelari *et al.* (2020) verificaram que os processos erosivos impulsionam o quadro de vulnerabilidade na embocadura lagunar na lagoa de Guaraíras no estado do Rio Grande do Norte e, ao longo dos anos, também foram observados processos severos de erosão, sendo que a margem à direita da embocadura apresentou uma maior dinâmica com períodos erosivos, deposicionais e um pouco de estabilidade comparado com outra margem.

Lagoa de Mundaú também apresenta recuos e evidência de áreas com estabilidade em boa parte da região observada. Com a presença de cobertura vegetal há menor susceptibilidade do

solo à erosão, visto que na variável uso e cobertura do solo, estão refletidas as mudanças rápidas ocorridas no contexto físico de uma dada região (Luz *et al.*, 2021), sendo a retirada da cobertura vegetal original uma das principais problemáticas. Esta acarreta desequilíbrio ambiental, pela facilitação, por exemplo, do transporte de sedimento pela força do vento (Pereira *et al.*, 2024).

A região da lagoa de Mundaú apresenta características vegetais, que podem ser associadas a áreas com um maior índice de estabilidade, salvaguardada pela cobertura natural, e o distanciamento da dinâmica direta das correntes de marés mais intensas que adentram a região da lagoa no setor 5.

3.6 Avaliação e Mitigação dos Impactos Ambientais

Da análise da situação do uso e ocupação do litoral de Maceió (Tabela 2), tem-se uma visão dos impactos ambientais que cada setor sofreu e vem sofrendo, isto devido não somente aos processos antrópicos, mas também aos fenômenos naturais provenientes de agentes modeladores de ambientes

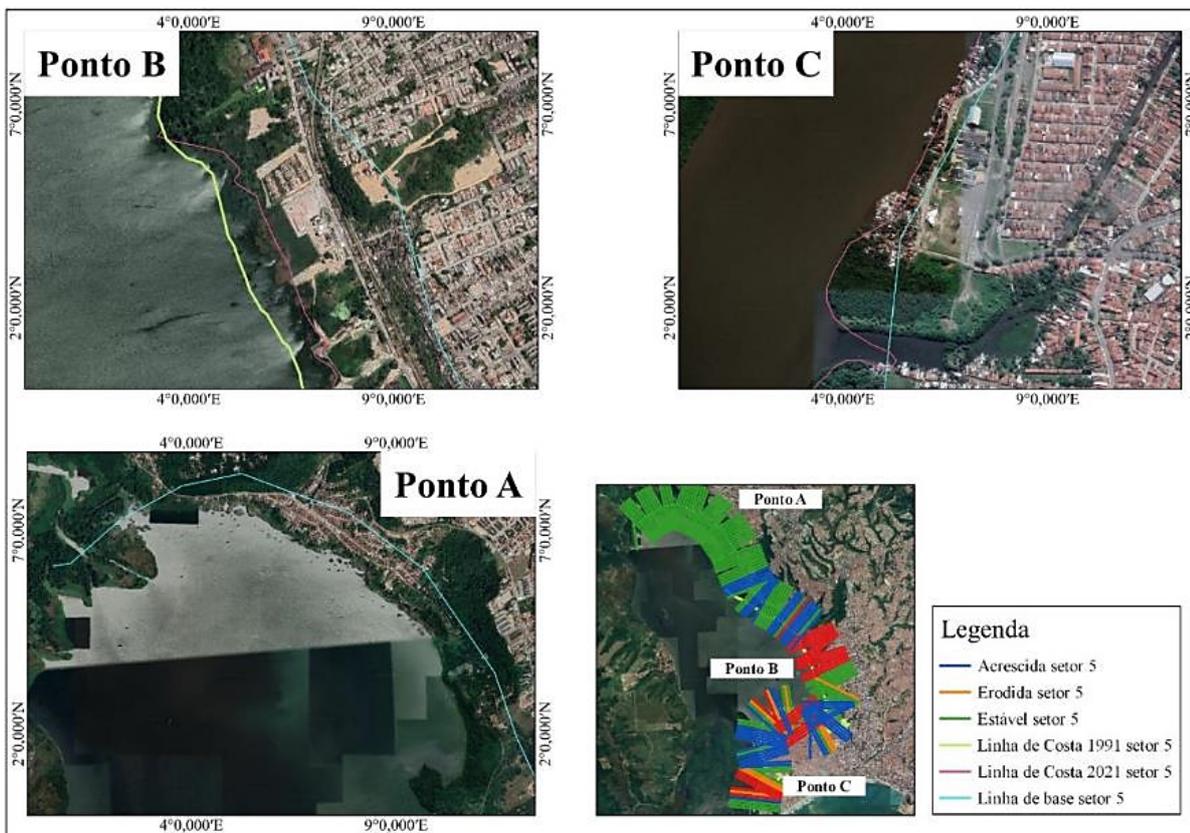


Figura 6. Evolução da linha de costa em trechos vulneráveis do setor 5.

costeiros como o mar, os ventos, etc. Apresentam-se também recomendações de ações e medidas mitigadoras que visam a manutenção e gestão do local afetado pelos processos erosivos e seu agravamento local.

Nesse contexto, a aplicação de um plano de manejo torna-se uma das principais demandas para os impactos encontrados nas regiões erodidas. Um plano de manejo com medida mitigadoras implementado com iniciativa pública e com auxílio

da população, permite que ações de educação ambiental atinjam resultados promissores, já que em parceria com a sociedade promovem a conservação de ambientes naturais (Da Silva, 2009). Por outro lado, atividades sustentáveis em zonas turísticas merecem apoio e atenção da sociedade, do poder público, e do meio acadêmico, a fim de favorecer ações que embasem soluções para problemas atuais e futuros nesses ambientes.

Tabela 2. Divisão do litoral de Maceió, usos, impactos ambientais e medidas mitigatórias.

Setores e divisões	Uso da área	Impactos ambientais	Medida mitigadoras
Setor 1- Bairro Ipioca até Cruz das Almas	Vegetação, praias com amplo espaço entre os manguezais com conjuntos residenciais e comerciais, lazer e atividade de pesca, elevada atuação antrópica.	Ocorrência de deposição de sedimentos e assoreamento devido à erosão, e área com erosão mais severa, e acréscimo das praias, com modificação da paisagem, bem como exposição de barreiras ineficientes.	Organização e planejamento do espaço biofísico, urbano e turístico, manejo e educação ambiental. Projetos de manutenção das estruturas já instaladas, e construção de muros de proteção, diques, gabiões, esporões e outras técnicas de contenção e gerenciamento costeiro adequado para cada área vulnerável.
Setor 2- Bairro Cruz das Almas	Vegetação, praias com amplo espaço entre os manguezais com conjuntos residenciais e comerciais, lazer e atividade de pesca, elevada frequência de atividades antrópicas.	Ocorrência de deposição de sedimentos e assoreamento devido à erosão, e acréscimo das praias na área da costa, verifica-se poucas modificações da paisagem natural costeira.	Organização e planejamento do espaço biofísico, urbano e turístico, manejo e educação ambiental. Projetos como construção de paredões, e bem como o ordenamento do litoral, para que seja possível estabelecer faixa de proteção destinada a absorver o recuo da linha de costa/erosão costeira. Deve ser ainda considerada a avaliação de cenários de atuação em determinados trechos costeiros, moderadamente a remoção ou o recuo de construções na linha de costa versus a sua proteção por meio do gerenciamento costeiro adequado para cada área vulnerável.
Setor 3- Região da praia Pajuçara	Vegetação, praias com amplo espaço entre os manguezais com conjuntos residenciais e comerciais, lazer e atividade de pesca, o setor apresenta área com elevada frequência turística.	Ocorrência de deposição de sedimentos e assoreamento devido a área com erosão mais severa, e acréscimo das praias, com modificação da paisagem.	Organização e planejamento do espaço biofísico, urbano e turístico, manejo e educação ambiental. Projetos como construção de paredões, esporões e quebra de mares, neste setor recomenda-se medidas que visem a necessidade baseadas no reordenamento do litoral bem como estabelecer as condições naturais dos ecossistemas que mitigam a erosão costeira. Dessa forma recomenda-se a remoção de construções na linha de costa, e posteriormente a recuperação de dunas, isso pode evitar que a erosão costeira se agrave em determinada região e gerenciamento costeiro adequado para cada área vulnerável
Setor 4- Região Ponta da Barra	Vegetação, praias com amplo espaço entre os manguezais com conjuntos residenciais e comercial, lazer e atividade de pesca.	Ocorrência de deposição de sedimentos e assoreamento devido a erosão, e área com erosão mais severa, e acréscimo das praias, barreiras de contenção ineficazes, estrutura do calçadão com danos e modificação da paisagem neste setor.	Organização e planejamento do espaço biofísico, urbano e turístico, manejo e educação ambiental. Implementação de estruturas constituídas por blocos rochosos ou concreto armado, que visam refletir, direcionar ou dissipar a energia das ondas. As estruturas devem ser paredões, esporões e quebra de mares, e gerenciamento costeiro adequado para cada área vulnerável.
Setor 5- Laguna Mundaú	Área da Laguna com elevada dinâmica natural do mar, presença de vegetação, com interação direta com as praias e amplo espaço entre os manguezais com conjuntos residenciais e comerciais, lazer e atividade de pesca	Ocorrência de deposição de sedimentos e assoreamento devido a erosão, e área com erosão mais severa, e acréscimo das praias, com modificação da paisagem natural.	Organização e planejamento do espaço biofísico, urbano e turístico, manejo e educação ambiental. Realocação/ retirada de estruturas, retirada de pontos de drenagem da praia, recuperação da vegetação de pós-praia e permacultura aplicada a linha de costa - living shoreline techniques, bem como a efetivação do gerenciamento costeiro adequado para cada área vulnerável.

No que se refere a projetos de contenção e proteção contra o assoreamento acarretado pelo mar, Maia *et al.*, (2020) referem a alguns métodos que podem ser empregados, que funcionariam para trechos mais afetados de zonas costeiras com processos erosivos. A implantação de vegetação de proteção, pode ser uma das soluções já que em alguns desses pontos pode absorver a energia que impacta diretamente na estrutura da praia.

Ao avaliar a situação de cada setor percebeu-se que cada um possui ocupações semelhantes, assim como também diagnósticos do quadro erosivo, no entanto, cada setor merece um estudo in loco de quais medidas mitigadoras devem ser aplicadas. De realçar ainda que, o plano de manejo deve conter ações que visem o entendimento de cada setor baseado em estudos e ferramentas que propiciem a efetividade e melhoria da erosão costeira no litoral de Maceió.

Silva Junior *et al.* (2020) referem-se que a aplicação de alguma intervenção estrutural deve ter em consideração todos os fatores para o seu dimensionamento, assim como a viabilidade, contemplando as leis que regem as zonas costeiras, bem como os tipos de projetos a serem empregados. Para que assim, haja concordância com a realização de estruturas que atendam a demanda atribuída a erosão em zonas costeiras.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da ferramenta CASSIE foi possível detectar, quantificar e qualificar os processos erosivos no litoral de Maceió, assim como avaliar o potencial de vulnerabilidade em cada setor da área de estudo, verificando a ocorrência de processos erosivos em quase toda a área costeira. Áreas com status de situação mais críticos como o setor 4, localizado na praia da Ponta da barra, conta com 11 transectos em estado crítico, assim como o setor 5, onde se encontra a lagoa de Mundaú, com 32 transectos em situação. Em relação a esses setores, podem ser caracterizados como os que possuem os maiores níveis de vulnerabilidade, e ao mesmo tempo com transectos estáveis.

Com base nos resultados supracitados, recomenda-se a adoção de um plano de manejo veiculado de medida mitigadoras, que exerçam ações efetivas no quadro de vulnerabilidade do litoral de Maceió, de forma a conter e prevenir os impactos ambientais que o litoral enfrenta.

CONTRIBUIÇÕES

Autor 1: Caracterização Ambiental da Área de Estudo, Elaboração do trabalho, Levantamento dos Dados, Processamento de Softwares SIGS e Redação do Manuscrito;

Autor 2: Levantamento, Revisão do Processamento dos Dados e Revisão do Artigo;

Autor 3: Caracterização Ambiental da Área de Estudo, Levantamento, Revisão do Processamento dos Dados e Revisão do Artigo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio do Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT) e à Universidade Federal de Alagoas (UFAL) assim como o apoio financeiro e bolsa de mestrado concedida ao autor principal deste artigo pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) em colaboração com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, K. C. (2021). *Mapeamento da linha de costa do delta do rio Paraíba do Sul entre 1984 e 2020 através do Google Earth Engine*. 2021. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- Almeida, L. P., De Oliveira, I. E., Lyra, R., Dazzi, R. L. S., Martins, V. G. Fontoura Klein, A. H. (2021). Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE): Shoreline management module. *Environmental Modelling & Software*, v. 140, p. 105033. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105033>
- Araujo, R. S., Silva, G. D., Freitas, D., Klein, A. H. F. (2009). Georreferenciamento de fotografias aéreas e análise da variação da linha de costa. *Métodos en teledetección aplicada a la prevención de riesgos naturales en el litoral*, p. 123-138.
- Araujo, D. S. D. (2023). *Vulnerabilidade à erosão costeira no município de Baía da Traição-Paraíba, Brasil*. Dissertação (Mestrado em Geografia) Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Paraíba.
- Baía, L. B., Ranieri, L. A., Rosário, R. P. (2021). Análise multitemporal da variação da linha de costa em praias estuarinas do Nordeste do Pará. *Geosciences= Geociências*, v. 40, n. 1, p. 231-244.
- Da Silva, D. F. (2009). *Análise de aspectos climatológicos, agroecômicos, ambientais e de seus efeitos sobre a bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL e PE)*. 2009. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

- Farias, E. G. G., Maia, L. P. (2010). Uso de técnicas de geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do Estado do Ceará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 10, n. 4, p. 521-544.
- Garcia, P. D., Mendes, M. G., Klein-Gunnewiek, Átila F., Gireli, T. Z., Venancio, K. K. (2022). Análise da evolução da linha de costa a partir de imagens de satélite. *Concilium*, v. 22, n. 3, p. 637-649. DOI: <https://doi.org/10.53660/CLM-249-250>
- Ibge. (2021). Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/cidades-estados/al/maceio.html>>. Acesso em: 05 de dezembro de 2021.
- Lopes, D. N., Duarte, C. R., Da Silva, M. T., Grigio, A. M., Freires, E. V., Dos Santos, L. S. A. (2021). Evolução da linha de costa no município de São Gonçalo do Amarante-CE no período de 1984 a 2020. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 05, p. 3067-3077.
- Luz, T. E. B., Pinheiro, R. M. K., Matos, M. D. F. A., Amaro, V. E., Scudelari, A. C. (2020). Alterações morfológicas na embocadura do complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba, Al/Brasil. *Anais do XIX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*.
- Maia, G. G. De O., Fonseca, M. R. De P. Neto, L. De C. F., Fernandes, L. B., Lima T. V. (2020). A Engenharia Ambiental no estudo da erosão de praias associados aos impactos das construções na zona costeira no Estado do Ceará, Brasil. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 3, p. 14002-14010. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-318>.
- Marino, M. T. R. D., Freire, G. S. S. (2013). Análise da evolução da linha de costa entre as Praias do Futuro e Porto das Dunas, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), estado do Ceará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 13, n. 1, p. 113-129.
- Matos, M. D. 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*, v. 23, n. 1, p. 1028. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v23i1.1953>.
- Moreira, T. F., Da Guia Albuquerque, M., De Almeida Espinoza, J. M., De Paula, D. P., Alves, D. C. L., Barros, E. L., Bendô, A. R. R; Conceição, T. F. (2020). Estudo do comportamento da linha de costa na praia do Icaraí (Caucaia, Ceará), a partir dos métodos digital shoreline analysis system e do polígono de mudança. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 07, p. 3395-3411.
- Muehe D. (2010). Brazilian Coastal Vulnerability to Climate Change. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5(2): 173-183.
- Novak, L. P; Lamour, M. R. (2021). Avaliação do risco à erosão costeira em praias urbanizadas do Paraná. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 22, n. 1. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v22i1.1661>.
- Pereira, A. B., Soares, J. P. M., Purificação, T. F., Schacht, G. L., & Almeida Junior, M. V. C. (2024). Avaliação geoambiental e vulnerabilidade à erosão costeira em entre rios, Bahia. *Revista Geonorte*, 15(50). <https://doi.org/10.21170/geonorte.2024.V.15.N.50.281.302>
- Quinamo, L. A. (2013). *Caracterização sedimentológica e aspectos geoambientais das praias do litoral Sul de Pernambuco*. Recife, 2013. 92 f. Dissertação (mestrado) - UFPE, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-graduação em Geociências.
- Saes, R. V. S. T. (2018). Princípios de oceanografia / Renan Vandrê da Silva Toscano Saes ... [et al.]. - Teresina: EDUFPI. 164 p. ISBN: 978-85-509-0288-3
- Santos, E. C., Bonetti, J. (2018). Análise da taxa de variação da linha de costa da Enseada de Tijucas (SC) em diferentes escalas temporais como indicadora de suscetibilidade costeira. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 9, n. 2.
- Santos, J. P. S, Andrade, A. C. S, Nascimento, P. S. R., Ramos, L. P. (2021). Erosão costeira e faixas de recuo em praias arenosas do Sul de Sergipe, Brasil. *Geociências*, v. 40, n. 04, p. 1047-1061. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i04.15561>
- Santos, K. A. L.; Neves, K. M., Santos, W. A; Vieira. I. L; Almeida, A. Q. (2021). Variação da linha de costa no litoral central de Sergipe entre os anos de 1988 a 2019. *Anais do XIII Encontro De Recursos Hídricos em Sergipe. Aracaju-Sergipe*.
- Silva, J. L. R., Amaro, V. E., Scudelari, A. C. de Santana Gomes Pinheiro, L. R. (2023). Mapa de Risco à Erosão Costeira e Movimentos Gravitacionais de Massa no Litoral Oriental do Nordeste do Brasil: Estudo de Caso na Praia de Pipa/RN. *Revista Brasileira De Geomorfologia*, 24(2). <https://doi.org/10.20502/rbg.v24i2.2281>
- Scher, A. B. S., Silva, S. O. B., Abreu, V. S. (2023). Impacto da erosão costeira nas atividades turísticas no bairro São Domingos - Ilhéus (BA): Uma análise da percepção dos comerciantes locais. *Cadernos Macambira*, 8 (especial3), 289-309. <https://doi.org/10.59033/cm.v8iespecial3.1042>
- Scherer, M. (2013). Gestão de praias no Brasil: subsídios para uma reflexão. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 13, n. 1, p. 3-13.
- Scudelari, A. C.; Rosado, S. B.; De Matos, M. D. F. A., Amaro, V. E. (2020). III-005-melhoria da qualidade da água tratada e aumento da capacidade de etas através da escolha adequada de coagulantes e auxiliares, em águas com alcalinidade alta (estudo de caso). *Anais do XIX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*.
- Sousa, H. V. C. M., Moura, F. J. M. de, Souza, A. C. D. (2023). Proposições de gestão ambiental na zona costeira de Icaraí de Amontada (CE), Nordeste, Brasil. *Revista Do Departamento De Geografia*, 43, e189549. <https://doi.org/10.11606/elISSN.2236-2878.rdg.2023.189549>.
- Souza, L. T. (2023). *Análise da erosão costeira e estruturas de proteção nas praias urbanas do litoral sul de Maceió* - AL. 2023. 23 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Geografia) - Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

Weiner, D. M. (2021). *Análise da dinâmica costeira da foz do Rio Punaú, município de Rio do Fogo/RN, com o apoio de geotecnologias*. 2021. 91f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Silva Junior, O. M., Santos, L. S., Rodrigues, M. Panorama Dos Riscos Costeiros No Estado Do Amapá: Conhecer Para Agir. In: *Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano*. São Paulo, pp. 454-472

Silva, D. V., Mata-Lima, H., Martins, M. C. B. S., Araújo, M. C. B., Kern, P., Silva, M. C. G., Freitas, A. C., Oliveira, A. K., Uliano, B. R., Cristiano, S. C., Gatto, D. B., Almeida, H. R. R. C. A., Freitas, M. C., Aires, M., Ganguilhet, G., Carvalho, M. C., Costa, C. R., Martins, M. C. B. S., Silva, M. C. G., Lamparelli, C. C., Minello, M., Freitas, F. S., Pinheiro, M. S. S., Scelza, G. C., Cristiano, S. C., Martins, F. M. C.P.F., Kuroshima, K. N., Abessa, D. M. S., Santos, A. (2022). Gestão ambiental e sustentabilidade em áreas costeiras e marinhas: conceitos e práticas

- volume II. *INVIDES- Instituto Virtual Para O Desenvolvimento Sustentável*.

Teixeira, C. P. B., Souto, M. V. S., Pinheiro, L. R. D. S. G., De Matos, M. D. F. A., Gomes, D. D. M. (2021). Análise da evolução costeira no município de Beberibe, estado do Ceará, entre os anos de 1979 a 2019. *Geosciences = Geociências*, v. 40, n. 04, p. 1005-1031. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i04.15874>.

Vieira, A. F. F., Melo, J. H. S. de., Silva, O. G. Da, Silva, W. F. da., Lira, D. R. De. (2023). Identificação do risco geomorfológico de erosão costeira em praias do Litoral Leste da Ilha de Itamaracá PE. *Revista Contexto Geográfico*, 9(18), 41-56. <https://doi.org/10.28998/contegeo.9i.18.16837>

Weiner, D. M., Amaro, V. E., De Carvalho, I. Q., Nascimento A., P. V. (2021). Geotecnologias aplicadas na análise da dinâmica costeira na desembocadura do Rio Punaú-RN, Nordeste do Brasil. *REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA*, v. 1, n. 15, p. 21-41. DOI: DOI: 1022411/rede2021.1501.02.