

MONITORAMENTO DA EROSÃO COSTEIRA NO LITORAL DO RIO GRANDE DO NORTE ATRAVÉS DA FERRAMENTA CASSIE: O CASO DA PONTA DO SANTO CRISTO – TOUROS/RN

Cíntia Brito

Analista Ambiental no Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente - IDEMA
Natal, Rio Grande do Norte, Brasil

oc.cintiabrito@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5828-3400>

Hayane Montenegro de Aquino Carmo

Técnica de Campo no Projeto Cetáceos da Costa Branca - PCCB/UERN

Natal, Rio Grande do Norte, Brasil

montenegrohayane@gmail.com

Rosa Maria Pinheiro de Oliveira

Subcoordenadora de Gerenciamento Costeiro - SUGERCO/IDEMA

Natal, Rio Grande do Norte, Brasil

rmpoliveira2@gmail.com

Recebido:07/2025

Avaliado:10/25

Publicado:10/25

RESUMO

A Zona Costeira (ZC) corresponde ao espaço geográfico de interação ar-mar-terra, caracterizado por uma diversidade de ecossistemas sob influência de dinâmicas naturais e antrópicas. Intervenções humanas, por vezes inadequadas, impedem que os ambientes exerçam serviços ecossistêmicos importantes na proteção costeira. No Rio Grande do Norte, a ZC abrange 29 municípios e cerca de 410 km de litoral. Estudos indicam que a variação da linha de costa no litoral oriental do estado apresenta altos índices de erosão costeira (até -2,76 m/ano) diferindo do litoral setentrional, sobretudo, na ocupação dos espaços. Este estudo analisa o processo erosivo na Ponta do Santo Cristo – Touros/RN e áreas adjacentes, entre 2012 e 2024, por meio de abordagem qualitativa (registros fotográficos), e quantitativa (ferramenta CASSIE), evidenciando os impactos ocasionados. Em pouco mais de três anos de monitoramento de campo, observou-se a perda parcial de estruturas instaladas, e recuos da linha de costa variando entre -5 m/ano e -25 m/ano (2016-2024). Diante de um contexto de mudanças climáticas, elevação do nível do mar e expansão urbana desordenada, é urgente a necessidade de refletir sobre estratégias que conciliem conservação ambiental e uso sustentável dos territórios costeiros.

Palavras-chave: Zona costeira; Uso e ocupação solo; Planejamento territorial

MONITORING COASTAL EROSION ON THE COAST OF RIO GRANDE DO NORTE USING THE CASSIE TOOL: THE CASE OF PONTA DO SANTO CRISTO – TOUROS/RN

ABSTRACT

The Coastal Zone (CZ) corresponds to the geographic space of air-sea-land interaction, characterized by a diversity of ecosystems influenced by natural and anthropogenic dynamics. Human interventions, sometimes inadequate, prevent these environments from providing important ecosystem services for coastal protection. In Rio Grande do Norte, the CZ encompasses 29 municipalities and approximately 410 km of coastline. Studies indicate that the coastline variation on the eastern coast of the state presents high rates of coastal erosion (up to -2.76 m/year), differing from that of the northern coast, particularly in land use. This study analyzes the erosion process at Ponta do Santo Cristo – Touros, Rio Grande do Norte, and adjacent areas, between 2012 and 2024, using a qualitative (photographic records) and quantitative (CASSIE tool) approach, highlighting the impacts caused. In just over three years of field monitoring, partial loss of existing structures and shoreline retreat ranging from -5 m/year to -25 m/year (2016-2024) were observed. In the context of climate change, sea level rise, and uncontrolled urban expansion, there is an urgent need to reflect on strategies that reconcile environmental conservation and sustainable use of coastal territories.

Keywords: Coastal zone; Land use and occupation; Territorial planning

MONITOREO DE LA EROSIÓN COSTERA EN LA COSTA DE RIO GRANDE DO NORTE MEDIANTE LA HERRAMIENTA CASSIE: EL CASO DE PONTA DO SANTO CRISTO – TOUROS/RN

RESUMEN

La Zona Costera (ZC) corresponde al espacio geográfico de interacción aire-mar-tierra, caracterizado por una diversidad de ecosistemas influenciados por dinámicas naturales y antropogénicas. Las intervenciones humanas, a veces inadecuadas, impiden que estos entornos brinden importantes servicios ecosistémicos para la protección costera. En Rio Grande do Norte, la ZC abarca 29 municipios y aproximadamente 410 km de costa. Estudios indican que la variación de la línea costera en la costa este del estado presenta altas tasas de erosión costera (hasta -2,76 m/año), que difieren de las de la costa norte, particularmente en el uso del suelo. Este estudio analiza el proceso de erosión en Ponta do Santo Cristo – Touros, Rio Grande do Norte y áreas adyacentes, entre 2012 y 2024, utilizando un enfoque cualitativo (registros fotográficos) y cuantitativo (herramienta CASSIE), destacando los impactos causados. En poco más de tres años de monitoreo de campo, se observó la pérdida parcial de estructuras existentes y un retroceso de la línea costera que osciló entre -5 m/año y -25 m/año (2016-2024). En el contexto del cambio climático, el aumento del nivel del mar y la expansión urbana descontrolada, urge reflexionar sobre estrategias que concilien la conservación del medio ambiente y el uso sostenible de los territorios costeros.

Palabras Clave: Zona costera; Uso y ocupación del suelo; Planificación territorial

SURVEILLANCE DE L'ÉROSION CÔTIÈRE SUR LA CÔTE DU RIO GRANDE DO NORTE À L'AIDE DE L'OUTIL CASSIE: LE CAS DE PONTA DO SANTO CRISTO – TOUROS/RN

RÉSUMÉ

La zone côtière (ZC) correspond à l'espace géographique d'interaction air-mer-terre, caractérisé par une diversité d'écosystèmes influencés par des dynamiques naturelles et anthropiques. Les interventions humaines, parfois inadéquates, empêchent ces environnements de fournir d'importants services écosystémiques pour la protection du littoral. Dans le Rio Grande do Norte, la ZC englobe 29 municipalités et environ 410 km de côtes. Des études indiquent que la variation du trait de côte sur la côte est de l'État présente des taux élevés d'érosion côtière (jusqu'à -2,76 m/an), différents de ceux de la côte nord, notamment en termes d'occupation du sol. Cette étude analyse le processus d'érosion à Ponta do Santo Cristo – Touros, dans le Rio Grande do Norte, et dans les zones adjacentes, entre 2012 et 2024, à l'aide d'une approche qualitative (relevés photographiques) et quantitative (outil CASSIE), mettant en évidence les impacts causés. En un peu plus de trois ans de suivi sur le terrain, une perte partielle des structures existantes et un recul du trait de côte allant de -5 m/an à -25 m/an (2016-2024) ont été observés. Dans le contexte du changement climatique, de l'élévation du niveau de la mer et de l'expansion urbaine incontrôlée, il est urgent de réfléchir à des stratégies qui concilient la conservation de l'environnement et l'utilisation durable des territoires côtiers.

Mots-clés: Zone côtière; Occupation et utilisation du sol; Aménagement du territoire

INTRODUÇÃO

Composta por uma variedade de ecossistemas, a Zona Costeira (ZC) sofre influência de dinâmicas naturais, que ocorrem tanto na porção continental quanto na porção marinha, geradas a partir de diferentes forçantes oceanográficas como ondas, marés, ventos e tempestades. Além disso, esta área também está exposta continuamente a ações antrópicas, relacionadas ao uso e ocupação, por vezes desordenada, que atuam potencializando os efeitos negativos das dinâmicas naturais e impedem que os ambientes naturais exerçam serviços ecossistêmicos fundamentais como a proteção costeira. Tais serviços operam na manutenção da estabilidade da linha de costa de forma dinâmica, através do transporte de sedimentos longitudinal (*longshore*) e transversal (sentido *onshore-offshore* ou oposto), reduzindo os efeitos negativos advindos da progressão marinha, que age não só sobre áreas naturais, mas também sobre áreas urbanizadas afetando bens, patrimônio e a vida.

Diversas são as definições para este espaço costeiro e cada país adapta o seu sistema e a sua definição de acordo com seus objetivos na abordagem do tema (Ferreira *et al*, 2023). No Brasil, a ZC é definida como “espaço geográfico de interação entre ar, mar e terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e uma faixa terrestre”, segundo o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC (Brasil, 1988). O Rio Grande

do Norte (RN) tem uma característica peculiar por apresentar duas regiões litorâneas completamente distintas, e por consequência feições geomorfológicas e ambientes singulares.

O estado possui um trecho litorâneo com orientação Norte-Sul e outro com orientação Leste-Oeste. Com base nesta característica, o estado foi subdividido em dois setores costeiros denominados Litoral Oriental, ou Leste, e Litoral Setentrional, ou Norte (Rio Grande do Norte, 1996). Composta por 29 municípios, dos quais 23 são contíguos ao mar, a ZC do RN possui uma extensão litorânea de aproximadamente 410 km (Ministério do Meio Ambiente, 2021). Esta zona compreende os municípios defrontantes com o mar e acrescidos, que não possuem praia, mas mantém relação com o mar pela presença de estuários importantes ou estão em região metropolitana, por exemplo.

Estudos demonstram que a variação da linha de costa ao longo do litoral oriental do RN possui elevados índices de erosão costeira, da ordem de -2,76 m/ano (Matos, 2022). Esta realidade não difere muito da observada no litoral setentrional do RN, em outros estados ao longo da costa brasileira ou de praias arenosas ao redor do mundo (Luijendijk *et al.*, 2018). A diferença fundamental nos dois trechos do litoral do estado está justamente no uso e ocupação dos espaços e alterações no ambiente natural. Enquanto o litoral oriental apresenta maior grau de adensamento urbano ao longo da costa leste do estado, abrangendo a zona metropolitana de Natal e municípios com elevada pressão imobiliária e turística como Tibau do Sul, por exemplo, o litoral setentrional possui locais em que a porção do pós-praia e áreas continentais adjacentes ainda não foram ocupadas/modificadas com tamanha intensidade.

O processo erosivo instalado nos municípios de Touros e São Miguel do Gostoso, litoral Setentrional, é uma realidade semelhante à observada em outras regiões litorâneas a muitos anos, ocorrendo em 70% das praias arenosas ao redor do mundo (Bird, 2008), em diferentes escalas temporais e espaciais. Uma das características que difere a Ponta de Santo Cristo das demais praias arenosas do estado tem sido a intensidade com que esta área vem perdendo sedimento e extensão de praia, inegavelmente, ao longo dos últimos 10 anos.

A necessidade de agir de forma preventiva, sob o Princípio da Precaução consagrado na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92), e o cenário atual de emergência climática nos mostra que utilizar soluções baseadas na natureza é fundamental neste contexto. As soluções baseadas na natureza referem-se à adoção de um conjunto de medidas e estratégias que visem à proteção, conservação, restauração, gestão e utilização de forma sustentável dos ecossistemas em geral para enfrentar os desafios climáticos, ambientais, sociais e econômicos de forma eficaz, adaptativa e resiliente (Cohen-Shacham *et al.*, 2016; *United Nations Environment Programme*, 2022).

Uma das estratégias em zonas de urbanização não consolidada, como é o caso de alguns trechos do município de Touros, se baseia no afastamento ou não ocupação das áreas adjacentes à praia para que o ambiente natural possa exercer seu papel ecossistêmico na proteção da linha de costa. Neste sentido é indicado o estabelecimento de recuos mínimos para instalação de estruturas rígidas dos empreendimentos, até que se possa determinar a condição local (erosiva, estável ou progradante). Condição esta que será estabelecida com base nas taxas de variação da linha de costa observadas, balanço sedimentar e outras características locais, como presença de ambientes naturais que atuem na proteção costeira (dunas frontais, restinga, etc.), aporte/perda de sedimentos, padrão de ondas, tipo de praia e arrebentação, entre outros.

Mudanças nas condições oceanográficas como regimes de ondas, ventos, correntes, além da disponibilidade do material formador das praias resultam em alterações na linha de costa, na hidrodinâmica e no regime deposicional (Wright & Short, 1984) modificando o perfil de praia. A mudança nas condições a que determinada praia está submetida, do regime de vento, ondas e correntes, nível do mar, tem como efeito um ajuste morfodinâmico natural de todo o ambiente.

Sendo assim, o perfil praiial irá apresentar uma nova conformação com declividade mais acentuada, recuo da berma para áreas mais internas ao continente e perda ou recuo da duna frontal, em caso de ambiente erosivo, por exemplo.

O efeito *buffer* de ambientes costeiros preservados pode ser percebido de forma clara através do monitoramento de empreendimentos que foram instalados em área próxima à Ponta do Santo Cristo – Touros/RN, e em pouco mais de 06 anos perderam, e seguem perdendo, parte das estruturas instaladas. Em contraste, as áreas adjacentes se ajustam de acordo com a retirada ou aporte sedimentar natural ao longo dos ciclos meteoceanográficos de maré, estações do ano, entre outros, atenuando os efeitos negativos do processo erosivo, ainda que intenso.

A fim de compreender e auxiliar na tomada de decisão, por parte do órgão ambiental estadual e dos entes municipais responsáveis pela gestão da Orla, considerando o contexto de processo erosivo este estudo apresenta: as variações no perfil de praia em frente a um empreendimento instalado na área de estudo (Condomínio Monte Alegre), como base para o monitoramento qualitativo, seguido por análise multitemporal realizada através de imagens de satélite e uso da ferramenta CASSIE - *Coastal Analyst System from Space Imagery Engine* (Almeida *et al*, 2021).

MATODOLOGIA

O artigo apresenta análise qualitativa e quantitativa de variação da linha de costa e monitoramento do processo erosivo instalado na região da Ponta do Santo Cristo, e áreas adjacentes, do município de Touros/RN. O estudo se baseou na análise multitemporal por imagens de satélite (2016-2024), realizada através da ferramenta CASSIE, além do imageamento por drone e acompanhamento fotográfico realizado ao longo das vistorias de campo (2012-2024) realizadas pela equipe técnica do Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (IDEMA), autarquia ambiental do Rio Grande do Norte.

Monitoramento de campo

A análise qualitativa, por registros fotográficos, realizada pela equipe técnica da Subcoordenadoria de Gerenciamento Costeiro (SUGERCO/IDEMA) ocorreu ao longo de vistorias durante o processo de licenciamento ambiental do empreendimento “Condomínio Monte Alegre”. As primeiras imagens datam de 2012, no momento do início da instalação do empreendimento, e 2016, com parte do empreendimento já instalado. Os dois momentos são utilizados como referência para o “tempo zero” na análise qualitativa uma vez que as imagens foram obtidas apenas para identificar o estágio da instalação da obra e não tinham o objetivo de monitorar a área. A partir de 2021 os indícios de erosão costeira acelerada acenderam um alerta e o monitoramento de campo passou a ser realizado com base em vistorias recorrentes nos anos seguintes com registros fotográficos utilizando marcadores fixos da própria estrutura do empreendimento para acompanhar a evolução do processo.

Análise multitemporal

Além do monitoramento qualitativo, foi realizada uma análise preliminar da variação da linha de costa utilizando imagens de satélite, através da ferramenta CASSIE. Foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2 (resolução espacial: 10m), com melhores condições de maré, cobertura de nuvens e ondulação disponíveis, para determinar a linha de interface mar-terra

(linha d'água) e sua intersecção com cada um dos 106 transectos estabelecidos para área de estudo.

A ferramenta delimita a “linha d'água” para cada uma das imagens selecionadas e posteriormente calcula diversos parâmetros estatísticos para estimar da variação de linha de costa resultando em índices como taxa de regressão linear (*linear regression rate* - LRR) e taxa de ponto de terminação (*end point rate* - EPR), por exemplo. A EPR expressa o movimento entre a linha de costa mais antiga e mais recente ao longo do tempo decorrido. O cálculo do EPR é de simples aplicação, mas desconsidera o que ocorreu entre as datas utilizadas, podendo camuflar algumas tendências de erosão ou acreção ocorridas nesse período, portanto não foi utilizado na análise. A LRR, por outro lado, inclui todos os dados obtidos através das imagens e a taxa é calculada através de regressão linear, ou seja, a função que descreve com melhor ajuste a nuvem de pontos do gráfico que correlaciona a data de cada linha à distância desta a linha de base, sendo assim o presente estudo a LRR como parâmetro para inferir sobre a taxa de variação da linha de costa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foi realizada a análise qualitativa das alterações morfodinâmicas no perfil de praia adjacente ao Condomínio Monte Alegre com base em imagens obtidas nas vistorias da equipe técnica do IDEMA. Marcadores fixos, como estruturas do empreendimento, árvores, etc, foram utilizados para permitir a visualização do comportamento morfodinâmico deste ambiente. A evolução do processo erosivo (Figura 1) permite observar a elevada perda de sedimentos na porção da praia em frente ao empreendimento, com recuo acelerado e notório da linha de costa entre os anos de 2012 e 2023. A presença de duna frontal (2012), resquíio de vegetação características e dunas em menor extensão (2016) e posterior ausência deste ambiente deposicional marcam a perda gradativa de sedimento.



Figura 1 - Observação da presença de duna frontal (2012), algum resquício de vegetação características deste ambiente (2016) e perda gradativa da duna frontal ao longo dos anos (2021-2023). A seta vermelha representa a posição do marcador fixo, muro, utilizado como referência na análise e Figura 3.

Fonte: SUGERCO/IDEMA

Como é possível observar na Figura 1, o perfil foi alterado consideravelmente ao longo dos anos (2012-2023), marcado pelo desaparecimento da duna frontal, recuo da berma e presença de escarpa pronunciada. A modificação no ambiente praial ocorre acoplando variações horizontais e verticais, de forma não linear no decorrer do tempo, e a intensidade do processo pode ser observada através da perda elevada de sedimentos e de extensão da praia ao mesmo tempo em que o empreendimento perde parte das estruturas instaladas (Figura 2).

A título de comparação podemos observar as imagens da Figura 1 e Figura 2 tomando como referência um dos vértices da área limite do empreendimento (muro indicado pelas setas vermelhas), utilizado como marcador fixo, e a perda de uma das árvores que havia em frente ao empreendimento e foi removida pela ação do mar em agosto de 2023 (indicado pelas setas azuis).



Figura 2 – Observação dos marcadores utilizados para avaliar a alteração do perfil de praia ao longo do tempo através de imagens. As setas vermelhas representam o marcador fixo (muro) utilizado como referência na Figura 1 e as setas azuis indicam os indícios da perda de material sedimentar junto à árvore.

Fonte: SUGERCO/IDEMA.

As vistorias realizadas e registros fotográficos permitiram observar as oscilações e morfodinâmica natural do ambiente, a perda de estruturas do empreendimento, os efeitos adversos causados pela instalação de um muro/aterro com o uso de pedras/blocos na tentativa de reduzir o impacto das ondas sobre o imóvel mais expostos à ação marinha no Condomínio Monte Alegre. A instalação, em 2024, do muro de arrimo na tentativa de proteger um dos imóveis, possivelmente agravou a situação no imóvel vizinho e áreas adjacentes, como demonstra a Figura 3.



Figura 3 – Observação das alterações no perfil e condições da praia após a instalação de muro/aterro em um dos imóveis do Condomínio Monte Alegre, em um curto intervalo de tempo.

Fonte: SUGERCO/IDEMA.

A presença de estruturas rígidas paralelas à linha de costa pode gerar a reflexão de ondas e intensificar o processo erosivo, além de provocar agravamento dos efeitos em áreas adjacentes. As pedras ou blocos soltos instalados permitem que a energia seja absorvida sendo apenas parte dela refletida, mas o mau dimensionamento destes blocos pode fazer com que percam a efetividade ou torná-los prejudiciais. A ação contínua da reflexão de ondas sobre uma estrutura rígida paralela à costa provoca a perda de sedimentos, por consequência o rebaixamento do nível da praia (Bird, 2008), em ambientes em que não há reposição suficiente para manter em equilíbrio o perfil de praia, como demonstra a Figura 4.

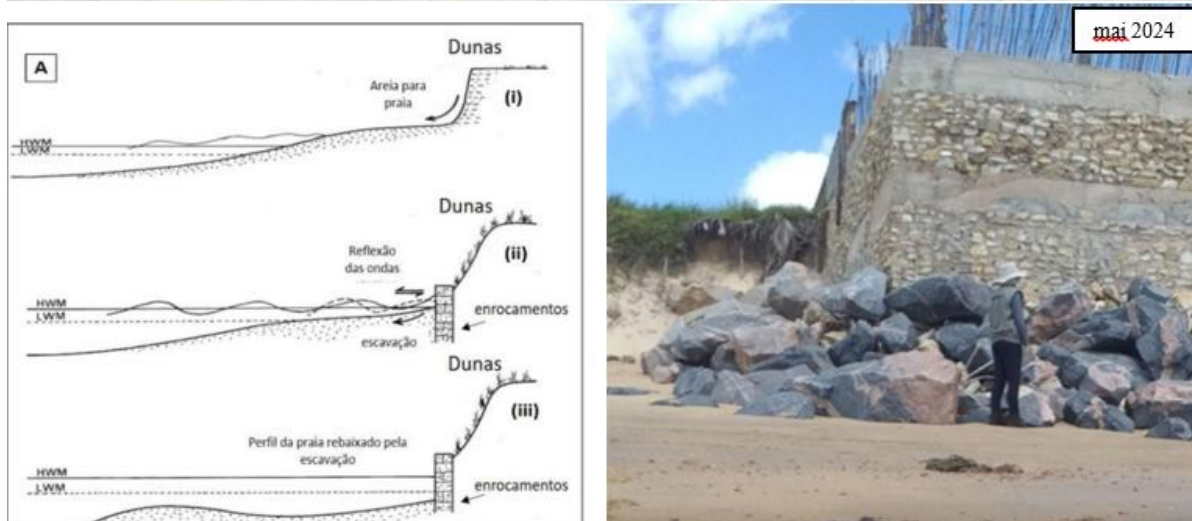


Figura 4 – A) Desenho esquemático da evolução de uma praia: (i) Dunas como estoques de sedimentos para a praia, (ii) Estabilização da linha de costa em recuo com enrocamento/muro de contenção e (iii) Rebaixamento do nível da praia. Fotografias demonstrando o efeito do rebaixamento do perfil de praia apresentado no desenho esquemático visto no local através do comparativo das imagens de janeiro de 2024 e maio de 2024.

Fonte: SUGERCO/IDEMA

A análise numérica apresenta, de forma geral, as linhas de costa delimitadas através da ferramenta CASSIE para os anos de 2016 a 2024, delimitadas com base em imagens de satélite (*Sentinel 2*) selecionadas com melhores condições de cobertura de nuvem, maré e qualidade do imageamento. A Figura 5 apresenta uma visualização sucinta do resultado gerado pela ferramenta CASSIE, em que a variação da linha de costa ao longo do tempo pode ser observada através de linhas de cores distintas em anos representativos. Esse método permite observar de forma clara e comparativa a mudança na linha de costa ao longo dos anos e como o processo não é linear e o comportamento varia ao longo do trecho. Nitidamente temos a leste uma área com variação menor ao longo dos anos (linhas mais próximas entre si) e outra área a oeste com variação maior (linhas mais espaçadas). Além da análise visual deste produto, através das linhas de costa obtidas a partir das imagens de satélite, a ferramenta entrega dados para cada um dos transectos e análises estatísticas, de regressão linear, que serão apresentados posteriormente.

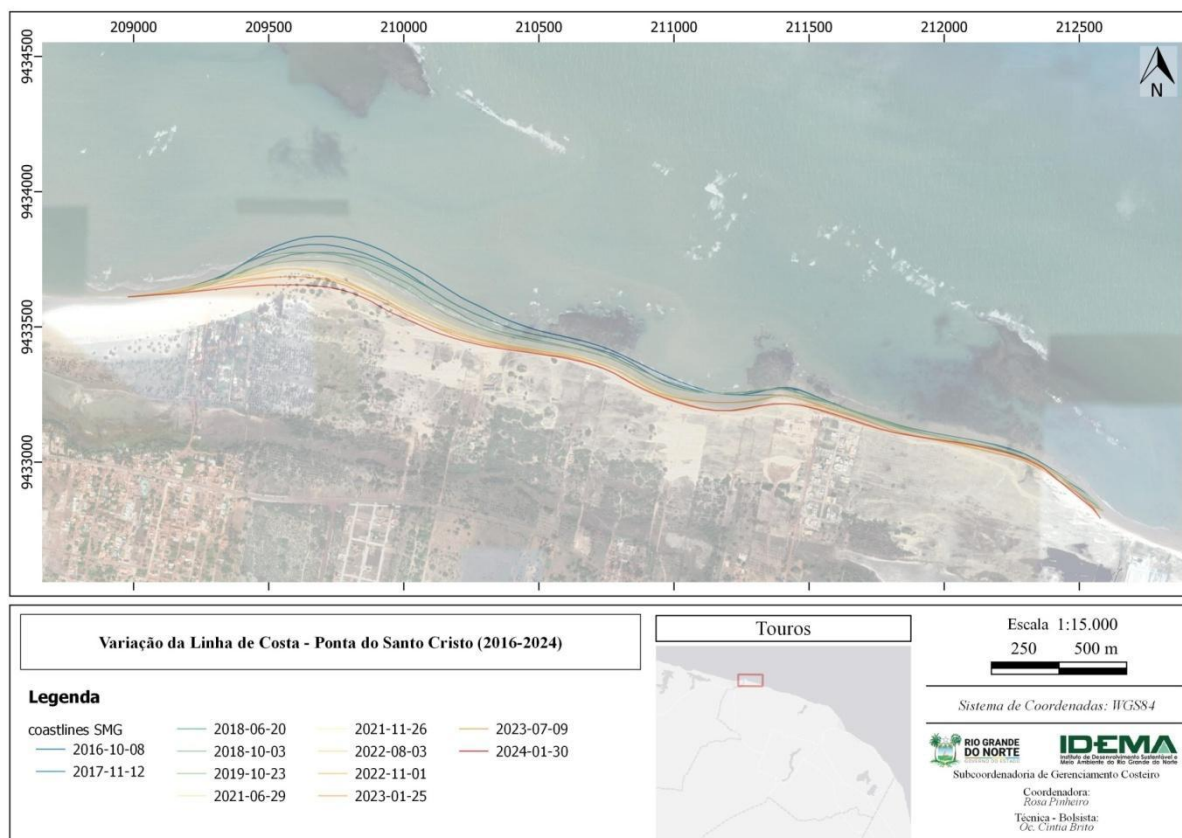


Figura 5 – Análise da Variação da Linha de Costa – Ponta de Santo Cristo (2016-2024) – elaborada utilizando a ferramenta CASSIE.

De forma geral, podemos observar que a área possui tendência erosiva ao longo de toda extensão analisada, com taxas de variação da linha de costa (LRR) indo de 5m/ano de recuo, nas extremidades da área analisada ($R^2 = 0,80$), a 25m/ano de recuo na área mais intensa (Ponta de Santo Cristo). Os números apresentam uma tendência erosiva importante a ser considerada na gestão e uso destes espaços, demonstrando ser fundamental a realização de um diagnóstico robusto, com estudos que combinem diferentes ferramentas, a fim de permitir que os cenários futuros sejam estimados auxiliando na tomada de decisão de forma responsável.

Ano a ano o processo erosivo pode ser agravado por condições ou fenômenos meteorológico-oceanográficos específicos, não incluídos nesta análise preliminar, como elevação do nível do mar, modificações no regime de ventos, ondas, tempestades ou mesmo alterações resultantes de ações antrópicas. Sendo assim, é importante ressaltar que, não é oportuno inferir sobre uma possível estabilidade ou redução na tendência erosiva para os próximos anos com base nos dados obtidos, uma vez que a área analisada apresentou índices elevados de variação na linha de costa e tendência erosiva ao longo de todo trecho, como reforçam os dados a seguir.

Uma vez que a área possui regiões com valores bastante distintos, o trecho analisado foi subdividido em dois e selecionados transectos específicos para detalhamento numérico, de forma representativa, a fim de melhor observar a taxa de variação da linha de costa em cada trecho. A Figura 6 apresenta o mapa do trecho que compreende os transectos 1 a 60 e gráficos de regressão linear do ponto com maior taxa de variação no trecho (ponto 48 LRR= -10,81 m/ano) e ponto central do Condomínio Monte Alegre (ponto 23 LRR= -4,36 m/ano), empreendimento apresentado na análise qualitativa.

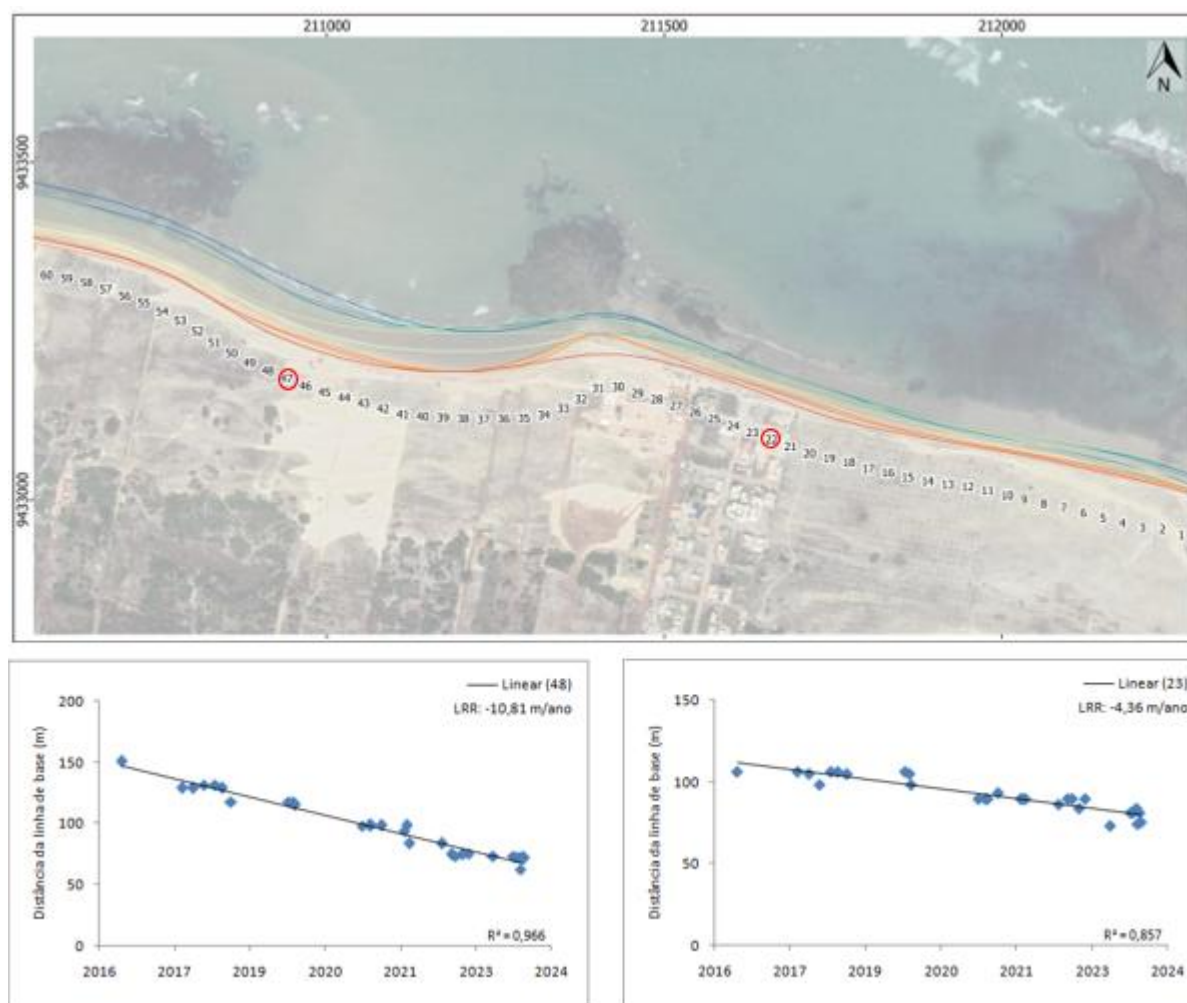


Figura 6 – Posição de cada um dos transectos (pontos de 01 a 60) gerados pela ferramenta CASSIE para determinar os parâmetros estatísticos utilizados na análise da variação da linha de costa (LRR).

A análise numérica corrobora com as informações apresentadas na análise qualitativa, e mais do que isso, demonstra que mesmo a zona com menor taxa de erosão ao longo da área (Condomínio Monte Alegre) já apresenta uma condição de risco importante a ser considerada. Neste caso, o empreendimento foi instalado enquanto ainda havia um ambiente aparentemente protegido por faixa extensa de praia e presença de dunas, mas que não foram o bastante para garantir o ajuste natural do ambiente e exercer o papel na proteção costeira e das estruturas instaladas. Isso reforça a importância de levar em conta uma análise multitemporal, de diagnóstico, e modelagem preditiva, em se tratando de ambiente de elevada morfodinâmica, com oscilações naturais esperadas, como as praias arenosas em estágio refletivo. Além da importância e necessidade de um prognóstico robusto, considerando fatores como as mudanças climáticas, elevação do nível do mar, e demais alterações nas forçantes oceanográficas que podem interferir potencializando os efeitos adversos da ação marinha de erosão/inundação.

A Figura 7 apresenta o mapa do trecho que compreende os transectos 57 a 106 e gráficos de regressão linear do ponto com maior taxa de variação da linha de costa ao longo da área analisada (ponto 87; LRR= -25,23 m/ano) e ponto central para um empreendimento em processo de licenciamento, Condomínio Velas de Santo Cristo (ponto 74; LRR= -19,18m/ano).

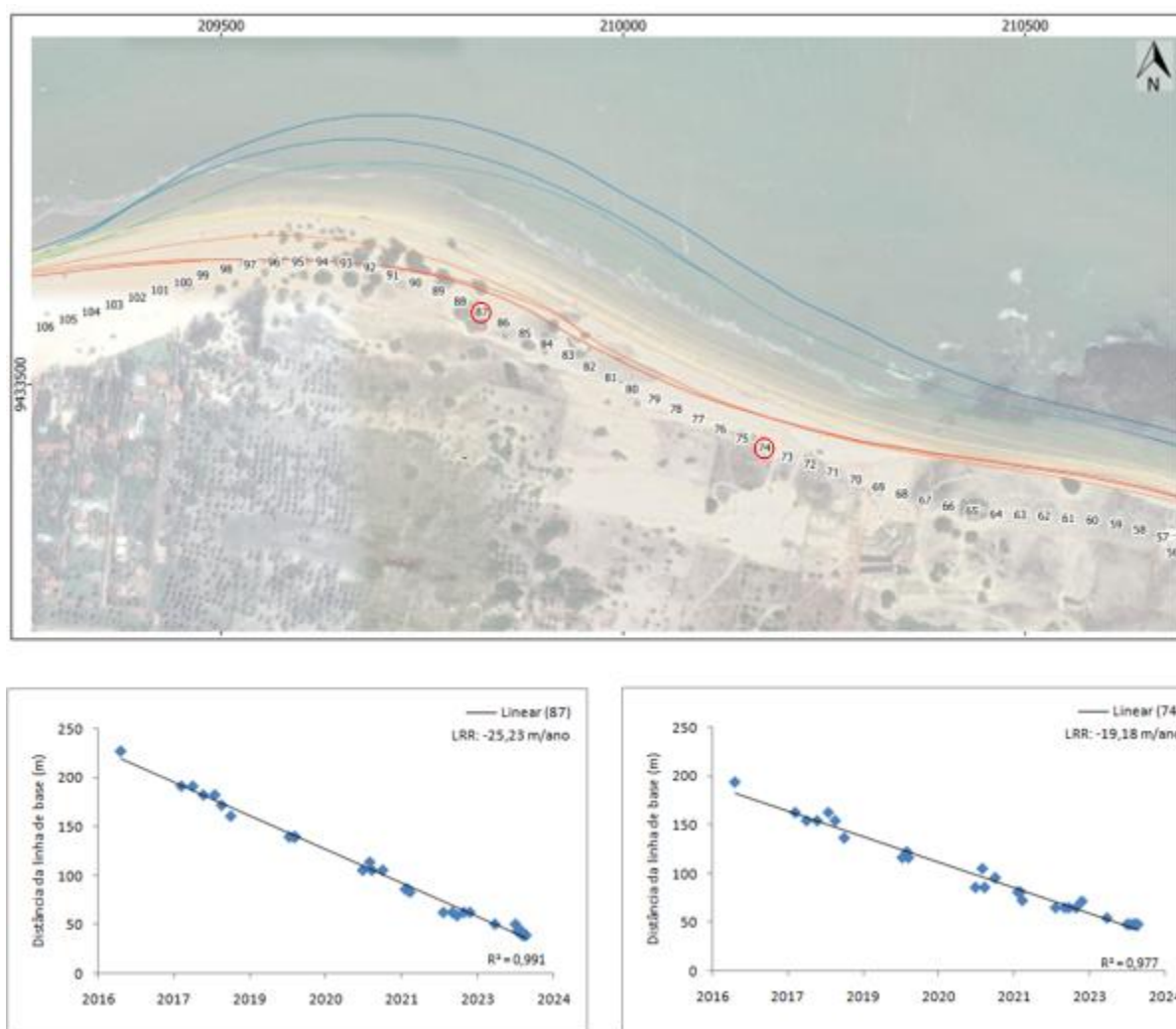


Figura 7 – Posição de cada um transectos (pontos de 57 a 106) gerados pela ferramenta CASSIE para determinar os parâmetros estatísticos utilizados na análise da variação da linha de costa.

Uma vez que o contexto de áreas com processo erosivo acentuado está longe de ser uma particularidade deste trecho do litoral do Rio Grande do Norte, seria oportuno buscar informações para embasar a determinação de limites mínimos de recuo e zonas de proteção costeira fundamentais para embasar os processos de licenciamento que incidem em áreas próximas a praia. Muehe (2001) salienta ainda que “a definição da largura da faixa de proteção é um processo dinâmico, variável no tempo, devendo ser modificável e se fundamentar na aquisição de conhecimento através da pesquisa geológica, geomorfológica e oceanográfica acrescida de monitoramento topográfico contínuo de pontos criteriosamente selecionados do litoral”. Sendo assim, este estudo apresenta, de maneira preliminar, resultados obtidos através de geotecnologias, e ferramentas acessíveis como o CASSIE, possibilitando analisar numericamente a tendência erosiva/estável/progradante de uma praia mesmo que os indícios ainda não tenham sido observados em campo. O alerta é fundamental para áreas críticas, que necessitam de análises complementares e atenção especial aos locais alvo de licenciamento ambiental para instalação de estruturas rígidas incidentes em zonas praia e pós-praia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em conta as mudanças climáticas, elevação do nível do mar e demais alterações globais que afetam diretamente as zonas costeiras, em um cenário realista, os efeitos erosivos atuais podem vir a ser agravados com as condições futuras do ambiente costeiro e marinho. Historicamente, o crescimento das cidades ocupa espaços cada vez mais próximos ao mar, incluindo porções de praia, movido por especulação imobiliária e/ou turística. Sendo assim, a gestão responsável destes espaços é fundamental, permitindo equilibrar a manutenção dos ambientes costeiros naturais (dunas, restingas entre outros), e seu serviço ecossistêmico primordial na proteção costeira, com usos que não venham a concorrer com este equilíbrio dinâmico. Fica, portanto, a indagação de como equilibrar a manutenção dos ambientes costeiros naturais, a fim de garantir seu serviço ecossistêmico primordial na proteção da linha de costa, e o avanço do uso desses espaços.

A fim de compreender melhor o processo erosivo na Zona Costeira do Rio Grande do Norte, com base em observações e estudos como este, ressaltamos que é de suma importância a execução das ações incluídas no Plano de Monitoramento Ambiental elaborado e emitido pelo IDEMA em dezembro de 2021, cuja proposta determina:

O estabelecimento de um Programa Estadual para a Conservação da Linha de Costa tem por objetivo prover dados confiáveis, em escala regional, a serem utilizados para auxiliar na compreensão, delimitação e acompanhamento sistemático do posicionamento da linha da costa e a que processos está relacionado, possibilitando atuar na previsão de possíveis alterações futuras e nas alternativas de mitigação e adaptação aos efeitos adversos de dinâmicas que provoquem erosão costeira e regressão da linha de costa, em ambientes que se mostrem sensíveis a esses fenômenos. (IDEMA, 2021).

Por fim, reforçamos a necessidade de que seja estabelecido um recuo mínimo para novos empreendimentos, permanecendo esta área livre de ocupação até que seja realizado monitoramento e análise preditiva, prognóstico, determinando a taxa de variação da linha de costa no local. Estes dados permitem que o ordenamento e uso e ocupação dos espaços ocorra com menor prejuízo ambiental e material, sem efeito adverso nas áreas adjacentes e/ou agravamento do processo erosivo instalado.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. P., OLIVEIRA, I. E., RUDIMAR, R. L., DAZZI, L. S., MARTINS V. G., KLEIN A. H. F. (2021). **Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE): Shoreline management module**, Environmental Modelling & Software.
- BIRD, E. C. F. (2008). **Coastal Geomorphology: An introduction**. 2nd edition. Chinchester. Wiley and Sons. 436 pp.
- BRASIL. **Lei no 7661, de 16 de maio de 1988**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/17661.htm. Acesso em: 08 de maio de 2025.
- RIO GRANDE DO NORTE. **Lei no 6.950, de 20 de agosto de 1996**. Disponível em: <http://www.adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC000000000207219.PDF>. Acesso em: 08 de maio de 2025.
- COHEN-SHACHAM et al., E. (2016). **Nature-based Solutions to address global societal challenges**. Gland, Switzerland: IUCN. 2016, p.114

FERREIRA, Joyce Clara Vieira *et al.* **Estudo das linhas de costa (lc) de praias do litoral setentrional e oriental do Rio Grande do Norte: São Cristóvão, Ponta de Mel e Cacimbinha – RN.** In: Anais do V Simpósio Brasileiro de Geologia e Geofísica Marinha. Anais. São Paulo (SP) USP / UNESP, 2023. Disponível em: [https://www.even3.com.br/anais/vsbggm/696923-estudo-das-linhas-de-costa-\(lc\)-de-praias-do-litoral-setentrional-e-oriental-do-rio-grande-do-norte--sao-cristova/](https://www.even3.com.br/anais/vsbggm/696923-estudo-das-linhas-de-costa-(lc)-de-praias-do-litoral-setentrional-e-oriental-do-rio-grande-do-norte--sao-cristova/). Acesso em: 09/05/2025

LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. **The state of the World's Beaches.** Scientific Reports, v. 8, p.1 –11, 2018. DOI: 10.1038/s41598-018-24630-6

MATOS, M. de F. A. de, Amaro, V. E., Scudelari, A. C., & Rosado, S. B. (2022). **Estimativas das alterações de longo prazo na linha de praia do Litoral Oriental do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil.** Revista Brasileira De Geomorfologia, 23(1).

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Portaria MMA nº 34, de 2 de fevereiro de 2021.** Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2021/02/PORTARIA-MMA-No-34-DE-2-DE-FEVEREIRO-DE-2021-PORTARIA-MMA-No-34-DE-2-DE-FEVEREIRO-DE-2021-DOU-Imprensa-Nacional.pdf>

MUEHE, D. (2001). **Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites de orla costeira para fins de gerenciamento.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 1, n. 2, p. 35-44.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (2022). **Nature-based Solutions: Opportunities and Challenges for Scaling Up**, Nairobi. 2022, p.40.