



## Fatores que ameaçam a floresta de mangue no município de Galinhos, Rio Grande do Norte, utilizando sensoriamento remoto: uma análise multitemporal (1984-2022)

Louize Nascimento<sup>1</sup>, Antônio Jeovah de Andrade Meireles<sup>2</sup>, Rodrigo Guimarães de Carvalho<sup>3</sup>, Jônata Fernandes de Oliveira<sup>4</sup>, Adilson Matheus Borges Machado<sup>5</sup>, Rogério Taygra Vasconcelos Fernandes<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará-UFC, Campus do Pici, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Avenida Mister Hull, s/n, Pici, Fortaleza, Ceará, Brasil. CEP 60455-760. E-mail: louizenscmt@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-6083-8417>). <sup>2</sup> UFC, Campus do Pici, Departamento de Geografia. Avenida Mister Hull, s/n, Pici, Fortaleza, Ceará, Brasil. CEP: 60455-760. E-mail: meireles@ufc.br (<https://orcid.org/0000-0003-0464-2863>). <sup>3</sup> Universidade do Estado do Rio Grande do Norte-UERN, Campus Central, Departamento de Gestão Ambiental. Rua Professor Antônio Campos, s/n, Costa e Silva, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. CEP: 59600-000. E-mail: rodrigocarvalho@uern.br (<https://orcid.org/0000-0001-9556-3874>). <sup>4</sup> Instituto Federal do Rio Grande do Norte-IFRN, Campus Mossoró, Departamento de Ensino. Rua Raimundo Firmino de Oliveira, n. 400, Conjunto Ulrick Graff, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. CEP: 59628-330. E-mail: jonnata.oliveira@ifrn.edu.br (<https://orcid.org/0000-0001-7325-435X>). <sup>5</sup> Universidade Federal do Maranhão-UFMA, Campus Pinheiro, Centro de Ciências Humanas, Naturais, Saúde e Tecnologia. Rua Nelma Mito, Km 10, s/n, Enseada, Pinheiro, Maranhão, Brasil. CEP: 65200-000. E-mail: adilson.borges@ufma.br (<https://orcid.org/0000-0002-4838-6913>). <sup>6</sup> Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA, Campus Central, Departamento de Ciências Animais. Avenida Francisco Mota, n. 572, Costa e Silva, Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. CEP: 59.625-900. E-mail: rogerio.taygra@ufersa.edu.br (<https://orcid.org/0000-0002-2901-3986>).

Artigo recebido em 31/05/2024 e aceito em 04/11/2024

### RESUMO

O presente estudo investigou as mudanças de cobertura e uso da terra no ecossistema de manguezais em Galinhos, Rio Grande do Norte, Brasil, ao longo de 38 anos (1984-2022), focando nos fatores que ameaçam sua conservação. A pesquisa justifica-se pela importância ecológica dos manguezais, que oferecem serviços como proteção contra erosão, sequestro de carbono e suporte à biodiversidade, além de serem vitais para as comunidades locais. O objetivo foi mapear e identificar as pressões antropogênicas, particularmente a expansão da salinicultura e carcinicultura, que influenciam negativamente o manguezal. A metodologia utilizou sensoriamento remoto, incluindo análise multitemporal com imagens de satélite Landsat 5 e Landsat 9, para observar a dinâmica de classes de uso e cobertura da terra dentro de uma área de estudo de 340,77 km<sup>2</sup>, com foco específico nos ecossistemas de manguezal. O processo envolveu a classificação supervisionada das imagens, com validação de campo e aplicação de índices de precisão. Em 1984, a área de mangue era de 20,86 km<sup>2</sup> (29,48%), enquanto a salinicultura ocupava 7,43 km<sup>2</sup> (10,50%). Em 2022, esses números mostraram uma redução dos manguezais para 11,31 km<sup>2</sup> (15,55%), aumento da salinicultura para 27,49 km<sup>2</sup> (37,79%) e surgimento da carcinicultura, ocupando 3,12 km<sup>2</sup> (4,28%). Os resultados indicam que a expansão da salinicultura e carcinicultura foram os principais motores da degradação do manguezal, associando-se a mudanças na hidrodinâmica e no equilíbrio do ecossistema.

Palavras-chave: mudanças climáticas, salinicultura, carcinicultura, conservação, geoprocessamento.

## Factors Threatening the Mangrove Forest in the Municipality of Galinhos, Rio Grande do Norte, Using Remote Sensing: A Multitemporal Analysis (1984-2022)

### ABSTRACT

This study investigated land cover and use changes in the mangrove ecosystem of Galinhos, Rio Grande do Norte, Brazil, over 38 years (1984–2022), focusing on factors threatening its conservation. The research is justified by the ecological importance of mangroves, which provide services such as erosion protection, carbon sequestration, and biodiversity support, and are vital to local communities. The objective was to map and identify anthropogenic pressures, particularly the expansion of salt production and shrimp farming, that negatively impact the mangrove ecosystem. The methodology employed remote sensing, including multitemporal analysis with Landsat 5 and Landsat 9 satellite images, to observe the dynamics of land use and land cover classes within a study area of 340.77 km<sup>2</sup>, with a specific focus on mangrove ecosystems. The process involved supervised image classification, with field validation and accuracy index application. In 1984, the mangrove forest area covered 20.86 km<sup>2</sup> (29.48%), while salt production occupied 7.43 km<sup>2</sup> (10.50%). By 2022, these numbers showed a reduction in mangrove area to 11.31 km<sup>2</sup> (15.55%), an increase in salt production to 27.49 km<sup>2</sup> (37.79%), and the emergence of shrimp farming, occupying 3.12 km<sup>2</sup> (4.28%). The results indicate that the expansion of salt production and shrimp farming were the primary drivers of mangrove degradation, associated with changes in hydrodynamics and ecosystem balance.

Keywords: climate change, salt production, shrimp farming, conservation, geoprocessing.

## Introdução

A diversidade da paisagem costeira sempre despertou interesse devido à sua complexidade geológica, riqueza biológica e ocupação humana ao longo dos séculos (Barbosa e Valladares, 2022). No entanto, o crescimento populacional e as atividades humanas, como a aquicultura e a expansão urbana e industrial, têm causado impactos severos nessas áreas sensíveis (Passos et al., 2021; Dágola et al., 2022). Essas transformações promovem a conversão de áreas naturais em zonas de cultivo e produção, perturbando a dinâmica dos ecossistemas costeiros (Ahmed e Turchini, 2021; Silva e Pierri, 2022). Nesse contexto, os manguezais, ecossistemas vulneráveis e sensíveis, são impactados diretamente, especialmente em regiões de intensa atividade econômica e expansão urbana, como evidenciado em estudos recentes (Bernardino et al., 2021). Esses impactos evidenciam a necessidade urgente de adotar medidas de conservação e restauração para preservar esses ambientes cruciais para a biodiversidade costeira e o bem-estar das comunidades locais (Ahmed et al., 2022).

O manguezal, que integra a Mata Atlântica, é reconhecido como um dos ecossistemas mais importantes e ameaçados do litoral brasileiro, contribuindo significativamente para a biodiversidade marinha e a estabilidade costeira (Li et al., 2022). No entanto, há uma contradição entre a importância ecológica dos manguezais e a crescente degradação a que estão submetidos, impulsionada pela expansão de atividades econômicas intensivas (Deprá; Evans; Gaglianone, 2022). Embora sua relevância seja amplamente reconhecida, a degradação dos manguezais continua a crescer, tornando-o um dos ecossistemas mais ameaçados globalmente (Ottoni et al., 2021). Desde os primórdios da colonização brasileira, esses ecossistemas enfrentam exploração intensiva, o que reforça a urgência de ações eficazes de conservação e recuperação. Pesquisas recentes, como as de Lacerda et al. (2021), sugerem a intensificação de esforços para proteger esses habitats e conscientizar a população sobre sua importância para o equilíbrio ambiental e econômico das regiões costeiras brasileiras.

Além de abrigarem espécies essenciais para a biodiversidade, os manguezais exercem papéis ecológicos fundamentais na provisão de

serviços ecossistêmicos (Nascimento et al., 2022), como a prevenção da erosão costeira e a retenção de sedimentos, ajudando a proteger as regiões costeiras contra eventos de erosão (Medeiros et al., 2023). Ainda assim, o avanço da carcinicultura e da salinicultura expõe esses ecossistemas a uma pressão crescente.

A degradação dos manguezais não apenas afeta a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, mas também compromete o modo de vida das comunidades tradicionais, incluindo pescadores e marisqueiras, que dependem desses ecossistemas para sua subsistência e segurança alimentar. Essa situação leva à questão central: como equilibrar o desenvolvimento econômico com a conservação de ecossistemas críticos?

As florestas de mangue oferecem uma ampla gama de benefícios, tanto tangíveis quanto intangíveis, para as comunidades locais. Entre esses benefícios estão ambientes mais seguros, produtos florestais, como madeira e frutos do mar, além de uma variada oferta de recursos naturais (Magarotto e Costa, 2021). Apesar disso, esses habitats continuam a ser ameaçados. No Nordeste do Brasil, a carcinicultura (Fernandes et al., 2018) e a salinicultura, em especial, expandem-se em áreas de manguezais devido à alta produtividade biológica e à disponibilidade de água. A salinicultura, ao lançar efluentes nos canais estuarinos, promove a salinização do solo e degrada ainda mais os ecossistemas terrestres e a qualidade da água (Fernandes et al., 2022).

Considerando a importância dos serviços ecossistêmicos dos manguezais e a intensificação das ameaças antropogênicas, a degradação dessas áreas remanescentes representa uma preocupação global significativa. No município de Galinhos, no Rio Grande do Norte, essa problemática se acentua, uma vez que a exploração econômica é priorizada em detrimento da conservação ambiental, destacando a insuficiência de políticas eficazes de proteção. Diante desse cenário, este estudo parte da hipótese de que as atividades humanas, especialmente a salinicultura e a carcinicultura, constituem os principais fatores de degradação dos manguezais em Galinhos, e que essa degradação pode ser identificada e quantificada ao longo das décadas por meio de técnicas de análise multitemporal utilizando sensoriamento remoto e geoprocessamento.

A área de estudo foca na floresta de mangue do município de Galinhos, localizado no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. Galinhos

pertence à mesorregião Central Potiguar e à microrregião de Macau, abrangendo uma área de 340,769 km<sup>2</sup> (IBGE, 2021). O acesso principal ao município se dá pelas rodovias BR-406, RN-402 e RN-221, com a cidade situada aproximadamente a 160 km da capital do estado, Natal. O município faz fronteira ao norte com o Oceano Atlântico, a

Oeste com Guararé, ao sul com Jandaíra e a Leste com Caiçara do Norte, conforme mostrado na Figura 1. Esta localização geográfica inclui interfaces importantes com o oceano, municípios vizinhos e rodovias que cruzam a região, cobrindo a área da floresta de mangue.

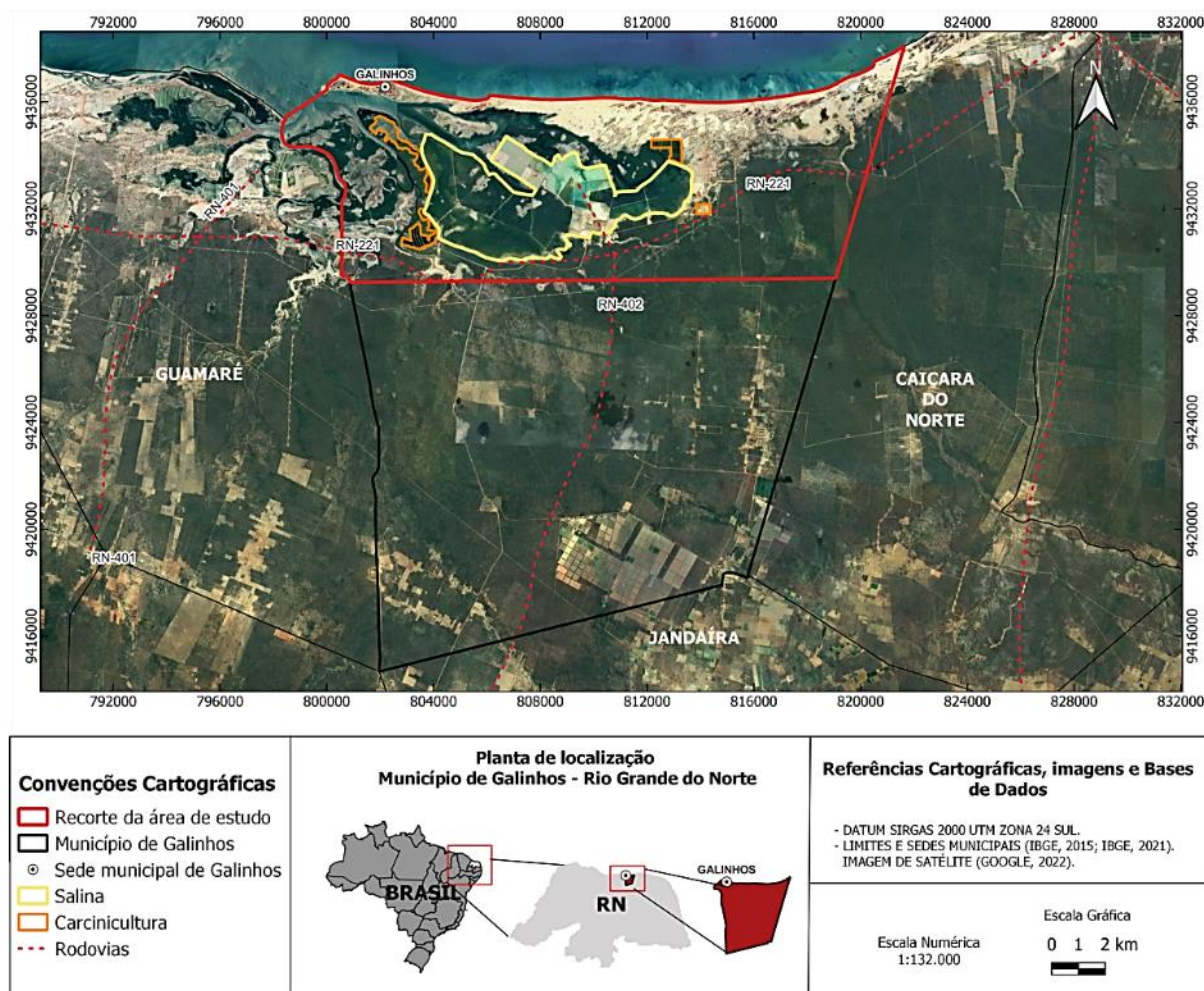


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo no município de Galinhos, Rio Grande do Norte, Brasil.

A população de Galinhos é estimada em aproximadamente 2.100 habitantes (IBGE, 2022). A paisagem costeira é diversificada e inclui campos de dunas, praias, recifes, manguezais, estuários, lagoas, lagunas, apicuns e restingas (Silva et al., 2020). O manguezal de Galinhos, com uma extensão de 11,31 km<sup>2</sup>, é particularmente significativo do ponto de vista ecológico, pois abriga uma diversidade de fauna e flora adaptadas ao ambiente costeiro. Além disso, este ecossistema possui grande valor econômico, já que suporta atividades como a produção de sal e a carcinicultura, que são fundamentais para a economia local (Costa et al., 2020).

A instalação da Salina Amarra Negra em 1970 marcou o início da exploração salineira em Galinhos, que se expandiu significativamente na década de 1980 com a criação da Salina Diamante Branco (Oliveira e Diniz, 2015). A atividade de carcinicultura iniciou-se em 1980 com a instalação de viveiros de camarões pela empresa Camarus Aquacultura do Nordeste Ltda., retomando a produção no final dos anos 1990 devido ao aumento dos investimentos na área (Costa Neto, 2012). Esses investimentos impulsionaram o desenvolvimento econômico local, mas também trouxeram desafios, especialmente no que se refere aos impactos ambientais.

Dados como densidade populacional, estrutura demográfica, índices de desenvolvimento humano e condições socioeconômicas das comunidades locais são relevantes para compreender o impacto dessas atividades industriais nos manguezais de Galinhos. Tanto a indústria salineira quanto a carcinicultura foram cruciais para o crescimento econômico do município, mas geram preocupações significativas em relação aos possíveis impactos ambientais, especialmente no ecossistema de mangue (Fernandes et al., 2020). Esses impactos incluem a alteração da qualidade da água, a perda de biodiversidade e a modificação do uso do solo, que afetam diretamente a integridade do manguezal e dos serviços ecossistêmicos que ele proporciona à comunidade local e ao ambiente costeiro mais amplo (Arifanti et al., 2022; Sunkur et al., 2023).

#### Seleção de artigos científicos relevantes no *Semantic Scholar*

Para embasar a introdução e a discussão deste estudo, foi realizada uma busca detalhada por artigos científicos no *Semantic Scholar*, uma plataforma acadêmica amplamente reconhecida que utiliza inteligência artificial para facilitar o acesso a uma vasta coleção de artigos científicos, conferências e patentes em diversas disciplinas (Kinney et al., 2023). Essa plataforma, por meio de algoritmos avançados de busca e indexação semântica, auxilia pesquisadores a localizar estudos relevantes em suas áreas de interesse, contribuindo para uma revisão literária robusta (Leiter et al., 2024).

Foi utilizada uma *string* específica de pesquisa, que abrangeu termos relacionados ao manguezal de Galinhos e suas questões ambientais e de conservação. A *string* de pesquisa adotada foi: ("*mangrove*" OR "*mangrove ecosystem*") AND ("*Galinhos*" OR "*Rio Grande do Norte*") AND ("*environmental impact*" OR "*conservation*" OR "*sustainable management*"), e também foram incluídos termos em língua portuguesa, conforme segue: ("manguezal" OR "ecossistema manguezal") AND ("Galinhos" OR "Rio Grande do Norte") AND ("impacto ambiental" OR "conservação" OR "gestão sustentável").

Essa *string* foi desenvolvida para recuperar estudos que explorassem o manguezal de Galinhos, focando em impactos ambientais, estratégias de conservação e práticas de gestão sustentável. A seleção dos artigos relevantes foi realizada com base na análise dos títulos, resumos e palavras-chave, garantindo a inclusão de

trabalhos que contribuem de maneira significativa para os objetivos e o escopo desta pesquisa.

#### Procedimentos metodológicos

Entre os dias 11 e 15 de julho de 2022, foram realizadas cinco inspeções de campo que abrangeram áreas urbanas, faixas de praia, dunas, planícies de maré e áreas de floresta de mangue impactadas por salinas e carcinicultura. A exploração dos canais de maré foi feita por meio de trilha marítima utilizando um barco. Durante a pesquisa de campo, foram obtidas informações sobre uso e cobertura da terra, mapeamento e validação de dados de satélite. Foram coletados 100 pontos de amostragem com o receptor GPS Garmin® eTrex 30, complementando os pontos aleatórios para avaliar a acurácia do mapa de 2022.

Para a caracterização do uso e cobertura da terra, foram utilizadas duas imagens de satélite: Landsat 5 TM, bandas 3, 4 e 5, órbita-ponto 215-064, resolução espacial de 30 metros, obtida em 17/06/1984, e Landsat 9, bandas 6, 5 e 4, órbita-ponto 215-064, obtida em 29/08/2022, também com resolução espacial de 30 metros. Essas imagens estão disponíveis no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos – USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). A análise de séries temporais de imagens de satélite é fundamental para fornecer informações sobre a dinâmica costeira, identificando áreas propensas à erosão e alterações em áreas de manguezais, além de ser um instrumento essencial para a gestão integrada e proteção dos ecossistemas costeiros (Jong et al., 2021).

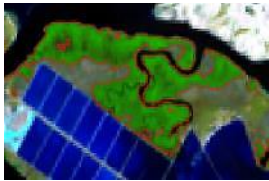

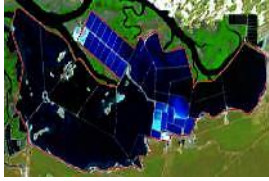





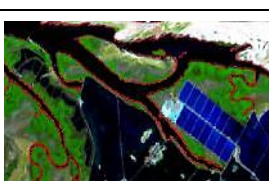





As etapas de geração do mapa de uso e cobertura da terra foram realizadas utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG), processando as imagens no *software* QGIS 3.22.5 LTR. Foi aplicado o método de classificação supervisionada por máxima verossimilhança (MAXVER) com o *plugin* *Semi-Automatic Classification* (SCP). Este *plugin* fornece ferramentas para a análise de imagens de satélite e uma interface de usuário que automatiza e facilita as fases de classificação da cobertura da terra, desde a obtenção das imagens de sensoriamento remoto até o pré-processamento, processamento e pós-processamento (Congedo, 2021).





Em conjunto com o SCP, foi utilizada a metodologia de “interpretação de imagens” através de chaves de identificação, conforme Panizza e Fonseca (2011). Esse método auxilia na identificação dos usos e cobertura da terra da área de estudo, minimizando equívocos com outros alvos terrestres. No total, foram determinadas nove

classes através do SCP, que são: Floresta de Mangue, Salinicultura, Carcinicultura, Planície de Maré sem Mangue, Canais de Maré, Vegetação de

Caatinga, Praia e Dunas, Área Urbana e Solo Exposto, conforme a chave de interpretação da área de estudo da imagem Landsat 8 (Quadro 1).

Quadro 1. Chave de interpretação da área de estudo da Imagem Landsat 8, em Galinhos, Rio Grande do Norte.

Identificação Tipológica (IT)	Amostra Imagem Landsat 8	Campo	Descrição
1. Floresta de Mangue			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tonalidade e coloração: verde escuro;</li> <li>- Textura: rugosa;</li> <li>- Forma: irregular (formação de bosque de mangue);</li> <li>- Vegetação densa.</li> </ul>
2. Salinicultura			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tonalidade e coloração: azul claro e escuro;</li> <li>- Textura: rugosa;</li> <li>- Forma: geométrica, com tanques de estrutura maior que a da Carcinicultura.</li> </ul>
3. Carcinicultura		 Fonte: Rocha (2019)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tonalidade e coloração: tons de azul escuro;</li> <li>- Textura: rugosa;</li> <li>- Forma: geométricas, com tanques retangulares com estrutura menor que a da salina.</li> </ul>
4. Planície de Maré sem mangue (Apicum)			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tonalidade e coloração: verde claro;</li> <li>- Textura: lisa;</li> <li>- Forma: irregular com solo desnudo e úmido;</li> <li>- Presença de vegetação herbácea.</li> </ul>
5. Canais de maré			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tonalidade e coloração: azul escuro;</li> <li>- Textura: lisa e forma irregular;</li> <li>- Forma: estuários/canais de maré.</li> </ul>
6. Vegetação de Caatinga			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tonalidade e coloração: verde claro;</li> <li>- Textura: rugosa;</li> <li>- Vegetação nativa da região.</li> </ul>
7. Praia e Dunas			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tonalidade e coloração: Branco e bege;</li> <li>- Textura: rugosa;</li> <li>- Forma: Irregular;</li> <li>- Presença de praia: zona de encontro entre o mar e a terra, com sedimentos arenosos e vegetação de restinga;</li> <li>- Presença de dunas fixas (com vegetação), semifixas (com pouca vegetação) e móveis (sem vegetação).</li> </ul>

8. Área Urbana			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tonalidade e coloração: magenta (rosa);</li> <li>- Textura: suavemente rugosa;</li> <li>- Forma: regular (com ruas com paralelepípedo e estradas de terra).</li> </ul>
9. Solo Exposto			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tonalidade e coloração: mageta (rosa);</li> <li>- Textura: suavemente rugosa;</li> <li>- Forma: irregular (solo desprovido de cobertura vegetal localizado próximo à salina, carcinicultura, área urbana e em alguns pontos na vegetação de Caatinga).</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em Panizza e Fonseca (2011).

A exatidão das classificações foi verificada por meio da matriz de erros com os pontos coletados em campo, o que subsidiou a aplicação dos índices de Exatidão Global e Índice Kappa. O índice Kappa é uma ferramenta estatística essencial para avaliar a precisão da classificação, proporcionando uma medida objetiva de compatibilidade entre observações e mapeamento (Fitzgerald e Lees, 1994). A Exatidão Global foi calculada dividindo-se a soma da diagonal principal da matriz de erros pelo número total de amostras coletadas (Congalton, 1991), conforme a Equação 1:

$$EG = \frac{\sum_{i=1}^c x_{ii}}{n}$$

Eq. 1:

onde EG representa a Exatidão Global,  $x_{ii}$  é o número de acertos para cada classe na matriz de erros, e  $n$  é o número total de observações.

O índice Kappa, usado na avaliação dos elementos da matriz de erros, foi calculado através da Equação 2. Na equação,  $K$  representa o resultado do índice Kappa;  $x_{ii}$  é o número de observações na linha  $i$  e coluna  $i$ ;  $x_{i+}$  é a soma da linha  $i$ ;  $x_{+i}$  é a soma da coluna  $i$ ; e  $N$  é o número total de observações entre a realidade espacial e o mapeamento (Congalton, 1991). Esse índice, utilizado para avaliar a acurácia e qualidade do mapeamento, foi calculado e interpretado conforme os critérios de Landis e Kock (1977), conforme apresentado na Tabela 1.

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^c x_{ii} - \sum_{i=1}^c (x_{i+} x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^c (x_{i+} x_{+i})}$$

Eq. 2

Tabela 1. Qualidade da classificação associada aos valores do Índice Kappa.

Índice Kappa	Qualidade
0,0	Péssima
0,01 – 0,20	Ruim
0,21 – 0,40	Razoável
0,41 – 0,60	Boa
0,61 – 0,80	Muito Boa
0,81 – 1,00	Excelente

Fonte: Adaptado de Landis e Kock (1977).

O índice Kappa foi calculado utilizando o *plugin* AcATaMa (<https://plugins.qgis.org/plugins/AcATaMa/>) do *software* QGIS, que fornece valores de Kappa para cada classe, matriz de confusão, precisão geral e acurácia. O AcATaMa oferece ferramentas para avaliação da precisão de mapas temáticos e foi desenvolvido pelo Grupo da Floresta e Sistema de Monitoramento de Carbono para validação de mapas (Llano, 2019).

O *plugin* guia o usuário por etapas que incluem desenho amostral, classificação da amostra, cálculo da matriz de confusão e estatísticas de precisão (Castillo-Santiago et al., 2022). Para os testes de acurácia, foram utilizados dados de amostragem das imagens Landsat, com 397 pontos aleatórios para 1984 e 394 pontos para 2022, seguindo a proporção baseada na área e usando o erro padrão geral esperado de 0,005.

### Resultados e discussão

Fatores que ameaçaram a floresta de mangue no município de Galinhos, Rio Grande do Norte

No município de Galinhos, Rio Grande do Norte, Brasil, foram identificadas nove diferentes classes de uso e cobertura da terra através de trabalhos de campo e classificação supervisionada de imagens de satélite Landsat 5 e Landsat 9. As classes identificadas incluem: Floresta de Mangue, Salinicultura, Carcinicultura, Planície de Maré sem

Mangue (Apicum), Canais de Maré, Vegetação de Caatinga, Praia e Dunas, Área Urbana e Solo Exposto. A distribuição dessas classes nos anos de 1984 e 2022 é apresentada na Tabela 2.

Em 1984, a classe de salina (IT 2) abrangia 7,43 km<sup>2</sup> (10,4%), a floresta de mangue (IT 1) 20,86 km<sup>2</sup> (29,4%), a planície de maré sem mangue (IT 4) 32,50 km<sup>2</sup> (45,9%) e os canais de maré (IT 5) 14,14 km<sup>2</sup> (19,9%), sem presença de carcinicultura. Em 2022, a área de salinas (IT 2) foi ampliada para 27,49 km<sup>2</sup> (37,7%). Por outro lado, as áreas de floresta de mangue, planície de maré sem mangue e canais de maré tiveram um decréscimo: 11,31 km<sup>2</sup> (15,5%), 17,58 km<sup>2</sup> (24,1%) e 12,09 km<sup>2</sup> (16,6%), respectivamente. A implantação de carcinicultura correspondeu a uma área de 3,12 km<sup>2</sup> (4,2%).

Esses dados refletem uma mudança significativa no uso da terra e na cobertura vegetal, mostrando a intensificação das atividades de salinicultura e carcinicultura. Estudos recentes reforçam esses impactos: Bernardino et al. (2021) destacam que a expansão da carcinicultura em áreas de manguezal causa a perda de biodiversidade e afeta o armazenamento de carbono, contribuindo para emissões de gases de efeito estufa. Gomes et al. (2021) observam que a conversão de manguezais para atividades produtivas, como a aquicultura, reduz a capacidade de retenção de carbono e expõe esses ecossistemas a impactos diretos, como a salinização do solo e a diminuição da qualidade da água.

**Tabela 2.** Classes de uso e cobertura da terra que ocorrem na área de estudo no município de Galinhos, Rio Grande do Norte, Brasil, entre os anos de 1984 e 2022.

Classes	1984		2022	
	Área (km <sup>2</sup> )	Percentual (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Percentual (%)
IT 1 - Floresta de mangue	20,86	29,48	11,31	15,55
IT 2 - Salina	7,43	10,49	27,49	37,79
IT 3 - Carcinicultura	0	0	3,12	4,29
IT 4 - Planície de maré sem mangue	32,50	45,92	17,58	24,17
IT 5 - Canais de maré	14,14	19,98	12,09	16,63
IT 6 - Vegetação de Caatinga	50,56	71,44	44,32	60,92
IT 7 - Praia e dunas	14,34	20,26	21,03	28,91
IT 8 - Área urbana	0,18	0,256	3,822	5,254
IT 9 - Solo exposto	1,28	1,80	0,522	0,718
<b>Total</b>	<b>141,29</b>	<b>100%</b>	<b>137,47</b>	<b>100%</b>

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A Figura 2 destaca uma área de manguezal degradada em decorrência da atividade salinicultura, proporcionando uma clara visualização da deterioração ambiental ocorrida na localidade do município de Galinhos, situado no estado do Rio Grande do Norte. Este processo de degradação é consistente com os achados de Lacerda et al. (2021), que analisaram os efeitos de longo prazo da carcinicultura no Nordeste do

Brasil, apontando para uma perda significativa de serviços ecossistêmicos, como a regulação do microclima e a proteção contra erosão costeira. Esse processo pode comprometer a capacidade dos manguezais de atuarem como sumidouros de carbono, resultando em perdas de longo prazo no armazenamento de carbono e contribuindo para emissões de CO<sub>2</sub> que intensificam as mudanças climáticas (Mitra e Sikder, 2023).



Figura 2. Extinção de setores de manguezal pela indústria salineira em Galinhos, Rio Grande do Norte, Brasil.

A Figura 3 mostra o mapa da evolução das atividades de carcinicultura e salinicultura, juntamente com a delimitação da área de estudo com as nove classes definidas. As salinas e os viveiros de camarão estão localizados no componente morfológico definido como delta da maré e próximos às áreas de florestas de mangue. A degradação de 9,55 km<sup>2</sup> de manguezais no período analisado (1984 a 2022) devido à implantação de salinas e fazendas de camarão foi observada em campo. Foi constatada a eliminação da floresta de mangue dentro das salinas, o que

pode levar ao aumento da erosão costeira (Das, 2020).

O impacto dos novos tanques ficou evidente, com a degradação da floresta de mangue afetando o desenvolvimento de várias espécies típicas do manguezal, bem como espécies que utilizam o manguezal como berçário (Treviño e Murillo-Sandoval, 2021). O incremento das mudanças no uso e cobertura da terra, principalmente para implantar as salinas e a carcinicultura, alterou os canais de maré, reduzindo a área de 16,62 km<sup>2</sup> em 1984 para 14,14 km<sup>2</sup> em 2022 (Figura 3). Isso diminuiu o fluxo de água

marinha devido ao soterramento para implantação dos tanques, provocando impactos negativos no ecossistema manguezal e alterando a hidrodinâmica estuarina.

O avanço de material terrígeno sobre a floresta de mangue provocou o aterramento do solo lamoso e úmido, descaracterizando o ecossistema

com o material dos taludes dos diques, alterando o solo natural de manguezal (Fernandes et al., 2018). Esse processo pode comprometer a função dos manguezais como sumidouros de carbono, resultando em perdas de armazenamento de longo prazo e contribuindo para as mudanças climáticas (Adame et al., 2021).

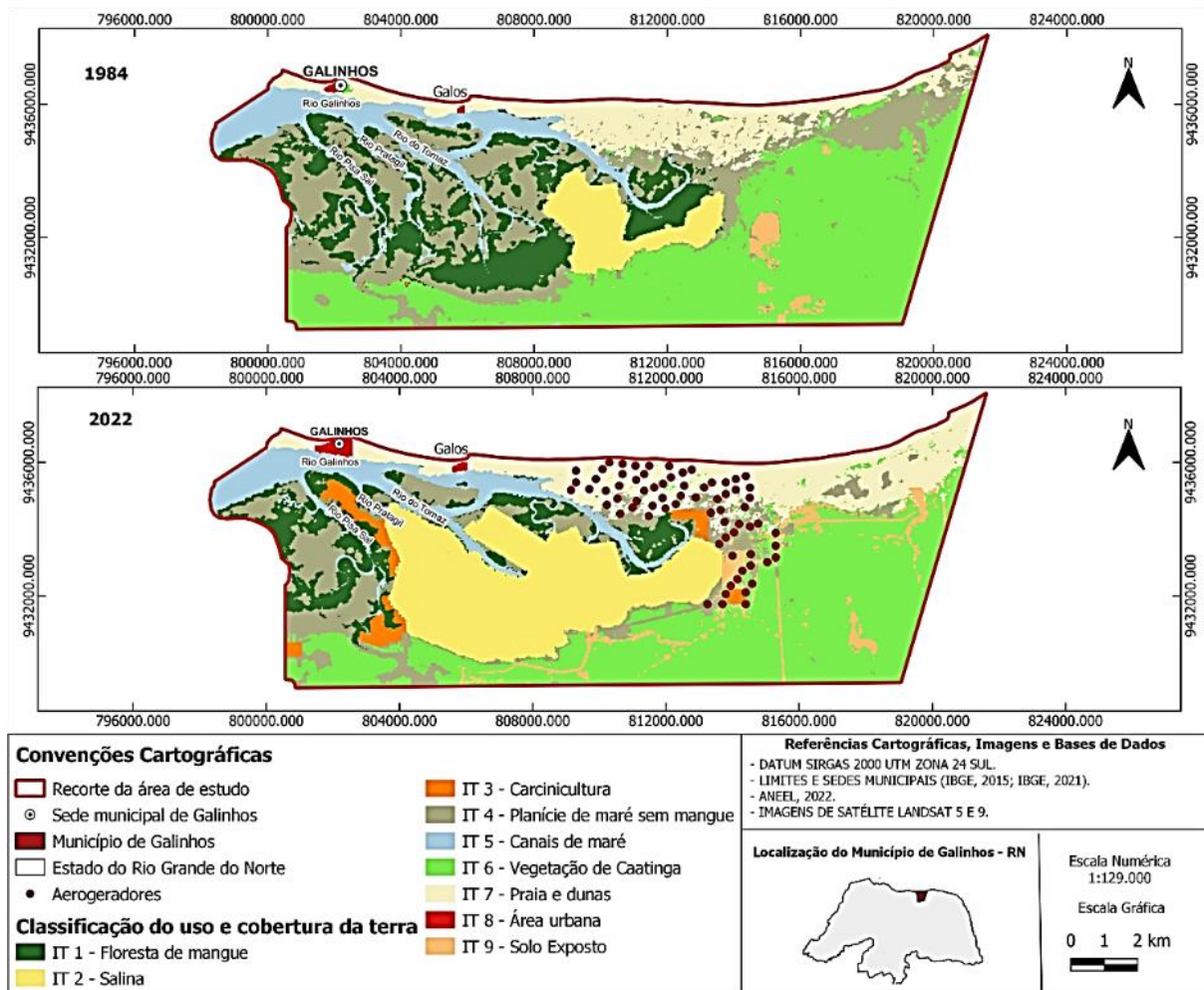


Figura 3. Evolução das atividades de carcinicultura e salinicultura no município de Galinhos, Rio Grande do Norte, Brasil.

Estudos recentes reforçam que as atividades de carcinicultura têm impactos profundos nos recursos naturais e nos serviços ecossistêmicos dos manguezais, especialmente na disponibilidade de água doce e na qualidade da água, além de afetarem negativamente a biodiversidade, os habitats de peixes e crustáceos e a pesca artesanal (Soleimani-Sardo e Khanjani, 2023). No Nordeste do Brasil, a atividade de salinicultura tem sido associada à degradação da qualidade da água e à modificação dos ecossistemas costeiros, o que afeta a diversidade

biológica e a subsistência das comunidades locais (Pelage et al., 2019).

Maia et al. (2019) apontam que os manguezais cearenses enfrentam problemas semelhantes, como desmatamento e acúmulo de resíduos sólidos, que influenciam diretamente a distribuição espacial e o desenvolvimento das espécies. Esses impactos corroboram os achados deste estudo, indicando que a intensificação da carcinicultura e salinicultura pode reduzir drasticamente a biodiversidade e a qualidade de vida das comunidades locais (Lima et al., 2023).

Validação do mapeamento temático

Para validar estatisticamente os resultados do mapeamento temático realizado com as imagens do Landsat 5 (1984) e Landsat 9 (2022), utilizou-se a matriz de erros e o índice Kappa para avaliar a acurácia da classificação supervisionada, garantindo uma maior aproximação entre a classificação temática (uso e cobertura da terra) e a realidade espacial da área de estudo (Figura 4). A validação por meio de técnicas de geoprocessamento é essencial em áreas sensíveis, como manguezais, pois assegura dados confiáveis para políticas públicas e planejamento territorial (Medeiros et al., 2023).

A Figura 4 apresenta pontos aleatórios selecionados para a validação do mapeamento temático das imagens de satélite Landsat 5 (1984) e Landsat 9 (2022), utilizando composições RGB543 e RGB654, respectivamente. A análise de

acurácia, baseada na matriz de erros e no índice Kappa, indicou uma elevada precisão das classificações supervisionadas, com um coeficiente Kappa de 0,9 para ambos os anos e uma exatidão global superior a 98%. A distribuição dos pontos aleatórios válida a consistência e confiabilidade dos dados obtidos, assegurando que as alterações detectadas nas classes de uso e cobertura da terra são representativas e precisas. Esses resultados são cruciais para a elaboração de políticas públicas e estratégias de conservação ambiental na região.

Estudos recentes destacam a importância de métodos de validação robustos, como o índice Kappa, para assegurar precisão em mapeamentos de longo prazo e mitigar erros comuns em classificações supervisionadas (Ottoni et al., 2021). Essa metodologia contribui para fortalecer a confiabilidade dos dados mapeados e sua aplicabilidade na conservação dos manguezais.

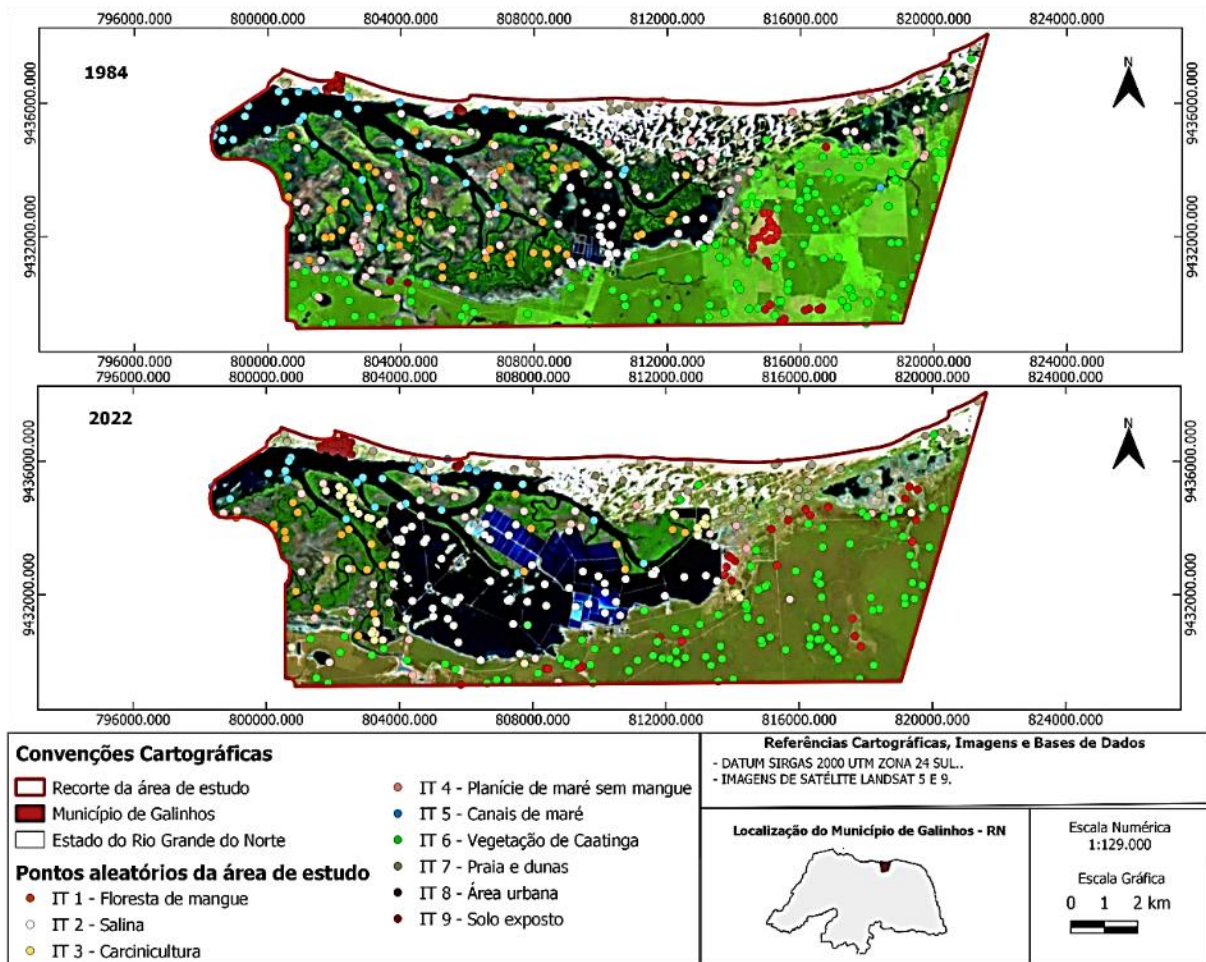


Figura 4. Pontos aleatórios da imagem Landsat 5 (1984), composição RGB543 e pontos aleatórios da imagem Landsat 9 (2022), composição RGB654. Município de Galinhos, Rio Grande do Norte, Brasil.

A análise da matriz de erros revelou padrões claros na classificação realizada para o ano de 1984. Destaca-se uma correspondência notável

entre as classes Salina, Praia e Dunas, Área Urbana e Solo Exposto, o que confirma a precisão da classificação nessas categorias. Entretanto, foram

identificados ambiguidades e equívocos em algumas atribuições de classe. Por exemplo, a classe Vegetação de Caatinga foi erroneamente associada tanto à Planície de Maré sem Mangue quanto à Praia e Dunas, sugerindo uma sobreposição de características que requer

refinamento na diferenciação. Da mesma forma, a classe Floresta de Mangue apresentou confusão com a Planície de Maré sem Mangue, evidenciando a complexidade na distinção entre esses tipos de cobertura de terra (Tabela 3).

**Tabela 3.** Matriz de erros de classificação para o ano de 1984. Legenda: ID: 10 -Vegetação de Caatinga, ID: 18 - Salina, ID: 43 - Floresta de mangue, ID: 52 - Planície de maré sem mangue, ID: 69 - Canais de maré, ID: 73 - Praia e Dunas, ID: 75 - Área urbana, ID: 78 - Solo exposto. ID = Identificação.

Classes	ID: 11	ID: 18	ID: 43	ID: 52	ID: 69	ID: 73	ID: 75	ID: 78	Total	Acurácia usuário
ID: 10	115	0	0	1	1	0	0	0	117	0,98
ID: 18	0	30	0	0	0	0	0	0	30	1,00
ID: 43	0	0	48	0	0	0	0	0	48	1,00
ID: 52	1	0	1	74	0	0	0	0	76	0,97
ID: 69	0	0	0	0	34	0	0	0	34	1,00
ID: 73	1	0	0	0	0	33	0	0	34	0,97
ID: 75	0	0	0	0	0	0	28	0	28	1,00
ID: 78	1	0	0	0	0	0	0	29	30	0,97
<b>Total</b>	118	30	49	75	35	33	28	29	397	
<b>Acurácia produtor</b>	0,98	1,00	0,98	0,99	0,97	1,00	1,00	1,00		

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Essas descobertas ressaltam a importância de ajustes e refinamentos na metodologia de classificação para aprimorar a exatidão e a confiabilidade na identificação das distintas classes de cobertura da terra. Congedo (2021) ressalta que a integração de métodos avançados de classificação supervisionada com o uso de índices robustos, como o índice Kappa, aprimora a precisão e reduz ambiguidades nos mapeamentos temáticos, sendo essencial para a aplicabilidade prática dos dados em políticas de conservação.

A matriz de erros para a classificação de 2022 demonstra uma correspondência precisa entre diversas classes, evidenciando a robustez da metodologia aplicada, com alta acurácia para Salina, Floresta de Mangue, Planície de Maré sem Mangue, Canais de Maré, Praia e Dunas, Área Urbana e Solo Exposto. No entanto, a classe Vegetação de Caatinga apresentou confusões com Salina, Planície de Maré sem Mangue e Solo Exposto, sugerindo características espectrais

semelhantes que dificultam a distinção precisa. Especificamente, a Vegetação de Caatinga foi confundida com Salina e Planície de Maré sem Mangue em 1 caso cada, e com Solo Exposto em 3 casos, possivelmente devido a fatores sazonais ou transições ecológicas naturais.

Além disso, a classe Carcinicultura foi confundida com Solo Exposto em 2 casos, indicando propriedades espectrais similares em áreas de Carcinicultura recém-estabelecidas ou em transição. Essas confusões sugerem áreas críticas para aprimoramento na precisão da classificação, onde a introdução de técnicas adicionais de pré-processamento de dados ou o uso de classificadores mais sofisticados poderia reduzir essas ambiguidades, além de estudos futuros investigarem as condições específicas dessas confusões, permitindo uma compreensão mais profunda das dinâmicas de uso e cobertura da terra na região de Galinhos (Tabela 4).

**Tabela 4.** Matriz de erros de classificação para o ano de 2022. Legenda: ID: 10 -Vegetação de Caatinga, ID: 18 - Salina, ID: 28 - Carcinicultura, ID: 43 - Floresta de mangue, ID: 52 - Planície de maré sem mangue, ID: 69 - Canais de maré, ID: 73 - Praia e Dunas, ID:75 - Área urbana, ID: 78 - Solo exposto. ID = Identificação.

Classes	ID: 10	ID: 18	ID: 28	ID: 43	ID: 52	ID: 69	ID: 73	ID: 75	ID: 78	Total	Acurácia usuário
<b>ID: 10</b>	96	0	0	0	0	0	0	0	0	96	1,00
<b>ID: 18</b>	1	58	0	0	0	0	0	0	0	59	0,98
<b>ID: 28</b>	0	0	40	0	0	0	0	0	0	40	1,00
<b>ID: 43</b>	0	0	0	24	0	0	0	0	0	24	1,00
<b>ID: 52</b>	2	0	0	0	35	0	0	0	0	37	0,95
<b>ID: 69</b>	0	0	0	0	0	26	0	0	0	26	1,00
<b>ID: 73</b>	0	0	0	0	0	0	45	0	0	45	1,00
<b>ID: 75</b>	0	0	0	0	0	0	0	35	0	35	1,00
<b>ID: 78</b>	3	0	2	0	0	0	0	0	27	32	0,84
<b>Total</b>	102	58	42	24	35	26	45	35	27	394	
<b>Acurácia produtor</b>	0,96	1,00	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os valores do coeficiente Kappa, exatidão global e desvio padrão foram listados na Tabela 5. As avaliações de acurácia foram confiáveis, com um coeficiente Kappa (K) de 0,9 para ambas as classificações supervisionadas dos anos de 1984 e 2022. A exatidão global para as classificações foi de 98,4% e 98,5%, respectivamente. O desvio padrão variou entre 0,00600 em 2022 e 0,00675 em

1984, demonstrando forte concordância entre os mapas de referência utilizados e a classificação supervisionada ( $k > 0,8$ ). Estudos recentes confirmam a importância de validações rigorosas para garantir a aplicabilidade dos mapas temáticos na formulação de políticas de conservação e manejo sustentável dos manguezais (Ahmed et al., 2022; Arifanti et al., 2022).

**Tabela 5.** Estatísticas geradas para as classificações de cobertura da terra.

Data	Kappa	Exatidão global (%)	Desvio padrão
1984	0,98	98,45%	0,00675
2022	0,99	98,57%	0,00600

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

### Conclusões

Este estudo teve como objetivo identificar e quantificar os fatores que ameaçam a floresta de mangue no município de Galinhos, Rio Grande do Norte, entre os anos de 1984 e 2022, com foco especial na análise dos impactos das atividades de salinicultura e carcinicultura. Os resultados revelaram uma significativa redução da cobertura de manguezais, atribuída à expansão de salinas e

viveiros de camarão, conforme demonstrado nas análises de imagens de satélite e na classificação temática. A área de manguezal, que correspondia a 29,4% da cobertura de 1984, reduziu-se para 15,5% em 2022, evidenciando um processo de degradação ecológica que ameaça a biodiversidade local e os serviços ecossistêmicos essenciais que os manguezais proporcionam.

A aplicação de geotecnologias permitiu avaliar, com alta precisão, as mudanças na

cobertura do solo, destacando a salinicultura e a carcinicultura como os principais responsáveis pela fragmentação dos manguezais. A precisão alcançada nas classificações supervisionadas, validada pelo índice Kappa, confirma a eficácia da metodologia adotada e destaca a importância de ferramentas geoespaciais para monitorar mudanças de uso e cobertura da terra.

Conclui-se, portanto, que o uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior –

### Referências

- Adame, M. F., Connolly, R. M., Turschwell, M. P., Lovelock, C. E., Fatoyinbo, T., Lagomasino, D., ... Brown, C. J. (2021). Future carbon emissions from global mangrove forest loss. *Global Change Biology*, 27(12), 2856-2866. <https://doi.org/10.1111/gcb.15571>
- Ahmed, N., & Turchini, G. M. (2021). The evolution of the blue-green revolution of rice-fish cultivation for sustainable food production. *Sustainability Science*, 16(4), 1375-1390. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-00924-z>
- Ahmed, S., Sarker, S. K., Friess, D. A., Kamruzzaman, M., Jacobs, M., Islam, M. A., ... & Pretzsch, H. (2022). Salinity reduces site quality and mangrove forest functions. From monitoring to understanding. *Science of the Total Environment*, 853, 158662. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158662>
- Arifanti, V. B., Sidik, F., Mulyanto, B., Susilowati, A., Wahyuni, T., Yuniarti, N., ... & Novita, N. (2022). Challenges and strategies for sustainable mangrove management in Indonesia: A review. *Forests*, 13(5), 695. <https://doi.org/10.3390/f13050695>
- Barbosa, W. C. S., & Valladares, G. S. (2022). Analysis of the landscape and land use changes in the Brazilian northeast, semiarid coast. *Sociedade & Natureza*, 32, 620-632. <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-48038>
- Bernardino, Â., Nóbrega, G. N., & Ferreira, T. O. (2021). Consequences of terminating mangrove's protection in Brazil. *Marine Policy*, 125, 104389. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104389>
- Castillo-Santiago, M. Á., Mondragón-Vázquez, E., & Domínguez-Vera, R. (2022). Sample data for thematic accuracy assessment in QGIS. In G. Álvarez, M. T. Camacho Olmedo, M. Paegelow, & J. F. Mas (Eds.), *Land Use Cover Datasets and Validation Tools*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-90998-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90998-7_6)
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 49(12), 1671-1678. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-b](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-b)
- Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6(64), 3172. <https://doi.org/10.21105/joss.03172>
- Costa Neto, L. X. (2012). Fácies sedimentares dos canais de despesca de uma fazenda de carcinicultura no município de Galinhos/RN, Brasil. In *VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação*. Disponível em: <https://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/view/3137>
- Costa, D. F. D., Oliveira, A. M. de, Souza, A. C. D., Cruz Guedes da, D. R., & Nascimento, D. M. (2020). Serviços ecossistêmicos prestados pelas áreas úmidas do sistema estuarino Galinhos-Guamaré (RN), Nordeste do Brasil. *Revista da ANPEGE*, 16(31), 115-135. <https://doi.org/10.5418/ra2020.v16i29.8585>
- Dágola, P. H. C. B., Pinto, A. E. M., & Moreira, M. A. C. (2022). Empreendimentos na zona

- costeira brasileira: proteção legal e impactos ambientais. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 10(2), 78–94. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7321694>
- Das, S. (2020). Does mangrove plantation reduce coastal erosion? Assessment from the west coast of India. *Regional Environmental Change*, 20(2), 58. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01637-2>
- Deprá, M. S., Evans, D. M., & Gaglianone, M. C. (2022). Pioneer herbaceous plants contribute to the restoration of pollination interactions in restinga habitats in tropical Atlantic Forest. *Restoration Ecology*, 30(4), e13544. <https://doi.org/10.1111/rec.13544>
- Fernandes, R. T. V., Oliveira, J. F. D., Fernandes, R. T. V., Pinto, A. R. M., Nascimento, L., Oliveira, J. C. D. D., & Novaes, J. L. C. (2018). Impacto da carcinicultura no manguezal do rio das Conchas, Porto do Mangue, Rio Grande do Norte. *Sociedade & Natureza*, 30(3), 64-84. <https://doi.org/10.14393/SN-v30n3-2018-4>
- Fernandes, R. T. V., Oliveira, J. F., Pinto, A. R. M., Fernandes, R. T. V., & Novaes, J. L. C. (2022). Ocupação de áreas de preservação permanente pela indústria salineira e potenciais impactos econômicos da recuperação de manguezais. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 13(11), 236-246. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.011.0018>
- Fernandes, R. T. V., Pinto, A. R. M., Oliveira, J. F. D., Novaes, J. L. C. (2020). An evaluation of the economic viability of environmental offsets in the saltworks industry. *Ciência Rural*, 50, e20180985. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180985>
- Fitzgerald, R. W., & Lees, B. G. (1994). Assessing the classification accuracy of multisource remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 47(3), 362-368. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90103-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90103-1)
- Gomes, L. E. O., Sanders, C. J., Nobrega, G. N., Vescovi, L. C., Queiroz, H. M., Kauffman, J. B., Ferreira, T. O., & Bernardino, A. F. (2021). Ecosystem carbon losses following a climate-induced mangrove mortality in Brazil. *Journal of Environmental Management*, 297, 113381. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113381>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). Galinhos. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/galinho/s/panorama>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). Cidades e Estados: Município de Galinhos. Disponível em: <https://ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/galinhos.html>
- Jong, S. M., Shen, Y., de Vries, J., Bijnaar, G., van Maanen, B., Augustinus, P., & Verweij, P. (2021). Mapping mangrove dynamics and colonization patterns at the Suriname coast using historic satellite data and the LandTrendr algorithm. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 97, 102293. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102293>
- Kinney, R., Anastasiades, C., Authur, R., Beltagy, I., Bragg, J., Buraczynski, A., ... & Weld, D. S. (2023). The semantic scholar open data platform. *arXiv preprint arXiv:2301.10140*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.10140>
- Lacerda, L. D., Ward, R. D., Godoy, M. D. P., de Andrade Meireles, A. J., Borges, R., & Ferreira, A. C. (2021). 20-years cumulative impact from shrimp farming on mangroves of Northeast Brazil. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4, 653096. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.653096>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159-174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Leiter, C., Zhang, R., Chen, Y., Belouadi, J., Larionov, D., Fresen, V., & Eger, S. (2024). A meta-analysis after 2.5 months. *Machine Learning with Applications*, 16, 100541. <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2024.100541>
- Li, J., Cui, L., Delgado-Baquerizo, M., Wang, J., Zhu, Y., Wang, R., ... & Singh, B. K. (2022). Fungi drive soil multifunctionality in the coastal salt marsh ecosystem. *Science of The Total Environment*, 818, 151673. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151673>
- Lima, T. B. B., Silva, M. R. F., & Carvalho, R. G. (2023). Pesca artesanal, carcinicultura e manguezal: perspectivas da Lei nº 12.651/2012 e o uso de apicuns e salgados em Canguaretama/RN. *Sociedade & Natureza*, 31, e37481. <https://doi.org/10.1016/j.socnat.2023.03.001>

- <https://doi.org/10.14393/SN-v31n1-2019-37481>
- Llano, X. C. (2019). AcATaMa - QGIS plugin for accuracy assessment of thematic maps, version 19.11.21. Disponível em: <https://plugins.qgis.org/plugins/AcATaMa/>
- Magarotto, M., & Costa, M. (2021). Mangrove Park of Recife: A century of extreme uses and abuses (?). *Regional Studies in Marine Science*, 42, 101654. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101654>
- Maia, R. C., Silva, K. N., Benevides, J. D. A. J., Amorim, V. G., & de Sousa, R. M. (2019). Impactos ambientais em manguezais no Ceará: causas e consequências. *Conexões-Ciência e Tecnologia*, 13(5), 69-77. <https://doi.org/10.21439/conexoes.v13i5.1797>
- Medeiros, I. S., Santos, S., Rebelo, V. A., Almeida, I. C., Veloso, T. M. G., Almeida, N. V., & Borges, J. (2023). Effectiveness of federal protected areas in the preservation of mangrove forests on the coast of the state of Paraíba, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 95(1), e20211079. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202320211079>
- Mitra, R., & Sikder, V. (2023). Impact of brackish water aquaculture and mangrove degradation on global carbon balance: a review. The holistic approach to environment, 13(2), 76-82. <https://doi.org/10.33765/thate.13.2.4>
- Nascimento, D. V., Hadlich, G. M., Mendonça, L. F. F., Lentini, C. A. D., Mascarenhas, R. B., & da Silva Júnior, J. B. (2022). Evolução espacial de apicuns: fatores antrópicos e naturais na Baía de Todos os Santos, costa nordeste do Brasil. *Ra'e Ga*, 53, 116-139. <https://doi.org/10.5380/raega.v53i0.79573>
- Oliveira, H. A., & Diniz, M. T. M. (2015). Análise dimensional dos impactos ambientais da instalação de uma salina em Galinhos-RN. *Revista do CERES*, 1(1), 20-20. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/Revistadoceres/article/view/15078>
- Ottoni, F., Hughes, R., Katz, A., Rangel-Pereira, F., Bragança, P. H. N., Fernandes, R., Palmeira-Nunes, A. R. O., Nunes, J., Santos, R., Piorski, N. M., & Rodrigues-Filho, J. L. (2021). Brazilian mangroves at risk. *Biota Neotropica*, 21, e20201172. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2020-1172>
- Panizza, A. C., & Fonseca, F. P. (2011). Técnicas de interpretação visual de imagens. *Revista da GEOUSP - Espaço e Tempo*, 15(30), 30-43. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2011.74230>
- Passos, T., Penny, D., Sanders, C., de França, E. D., Oliveira, T., Santos, L., & Barcellos, R. (2021). Mangrove carbon and nutrient accumulation shifts driven by rapid development in a tropical estuarine system, northeast Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 166, 112219. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112219>
- Pelage, L., Domalain, G., Lira, A. S., Travassos, P., & Frédou, T. (2019). Coastal land use in Northeast Brazil: mangrove coverage evolution over three decades. *Tropical Conservation Science*, 12, 1940082918822411. <https://doi.org/10.1177/1940082918822411>
- Rocha, D. F. (2019). Análise da vulnerabilidade ambiental do município de Galinhos, RN, Brasil. *Dissertação (Desenvolvimento e Meio Ambiente)* - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/27253>
- Silva, H. J. H., & Pierri, N. (2022). A retomada da carcinicultura no Brasil (2012–2020): flexibilização das normativas e impactos socioambientais. *Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente (DMA)*, 60, 182-205. <https://doi.org/10.5380/dma.v60i0.80348>
- Silva, M. V., Lima, Z. M. C., & Nascimento, M. A. L. do. (2020). Avaliação qualitativa do patrimônio geomorfológico do SPIT de Galinhos, porção norte da zona costeira do Rio Grande do Norte. *Revista de Geociências do Nordeste*, 6(2), 309-318. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2020v6n2ID19834>
- Soleimani-Sardo, M., & Khanjani, M. H. (2023). Utilization of unconventional water resources (UWRS) for aquaculture development in arid and semi-arid regions—a review. *Annals of Animal Science*, 23(1), 11-23. <https://doi.org/10.2478/aoas-2022-0069>
- Sunkur, R., Kantamaneni, K., Bokhoree, C., & Ravan, S. (2023). Mangroves' role in supporting ecosystem-based techniques to reduce disaster risk and adapt to climate change: A review. *Journal of Sea Research*, 196, 102449.

<https://doi.org/10.1016/j.seares.2023.10244>

9

Treviño, M., & Murillo-Sandoval, P. J. (2021).  
Uneven consequences: Gendered impacts of  
shrimp aquaculture development on

mangrove dependent communities. *Ocean &  
Coastal Management*, 210, 105688.

<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105688>